

EFFECTO DE UNA BIOPELÍCULA DE ALGINATO EN LA CONSERVACIÓN DE CEBOLLA LARGA (*Allium fistulosum* L.)

EFFECT OF AN ALGINATE EDIBLE FILM COATING IN THE CONSERVATION OF WELSH ONION (*Allium fistulosum* L.).

Gladys ROZO M.Sc.^{1*} Dolly GÓMEZ M.Sc.¹ Claudia ROZO M.Sc.¹

RESUMEN

Antecedentes: Los empaques plásticos para los alimentos están ocasionando graves problemas ambientales. En Colombia, la cebolla larga tradicionalmente, se empaqueta en costales de fique o de propileno y en bolsas o mallas plásticas. Este sistema de empaque además, origina pérdidas postcosecha en el producto **Objetivo:** Evaluar los efectos de la aplicación de una biopelícula a base de alginato sobre las características fisicoquímicas de la cebolla larga (*Allium fistulosum* L.), con el fin de proponer la sustitución de los empaques plásticos usados en la post-cosecha e incidir en el aumento de los ingresos de los productores de cebolla en Colombia.

Métodos: Las cebollas fueron sometidas a lavado, desinfección y secado a 21°C ± 0,2°C. La aplicación del recubrimiento se hizo a (30°C) sintetizando una matriz multicomponente de alginato de Sodio que varió entre el 2% y 10%, glicerol al 2%, Tween 20 al 1% y ácido ascórbico 10% y fue reticulada con Cloruro de Calcio al 2%. Los parámetros utilizados para evaluar el efecto del recubrimiento fueron: pérdida de peso, tasa respiratoria, dureza, pH y acidez titulable, los resultados se compararon con cebollas empacadas en bolsas plásticas. Se estudiaron las superficies de la cebolla recubierta y de la biopelícula por medio de microscopía electrónica de barrido. Para el análisis estadístico se compararon los siguientes tratamientos: cebollas sin recubrir (control); cebollas recubiertas con matriz de alginato al 2%, cebollas recubiertas con matriz de alginato al 10% y cebollas empacadas en bolsas plásticas, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), con el paquete estadístico R. **Resultados:** El ANOVA mostró diferencias estadísticas (p<0,05) en el peso, pH y acidez titulable, mientras que la

dureza y la tasa respiratoria fueron similares en los tratamientos. En las micrografías se observa que el recubrimiento es completo, homogéneo, regular, sin cristalización ni burbujas de aire. **Conclusiones:** La biopelícula de alginato al 10% mostró un efecto favorable frente a la pérdida de peso, pH y acidez titulable, en comparación con los demás tratamientos, demostrando así, que ésta biopelícula puede mejorar los ingresos de los cultivadores y puede reemplazar a los empaques plásticos.

Palabras clave: *Allium fistulosum* L., alginato, biopelículas, conservación, empaques plásticos.

ABSTRACT

Background: Plastic food packaging causes serious environmental problems. Welsh Onion in Colombia is traditionally packed inside fique or propylene or plastic net bags. **Objective:** Determine the effect of an alginate-based coating biofilm on the physicochemical characteristics of Welsh onion (*Allium fistulosum* L.), in order to provide evidence in favour of the replacement of plastic packaging used in post-harvesting process, and at the same time offer a strategy to increase the income of Colombian onion producers. **Methods:** The onions were subjected to process of washing, disinfection and drying at 21 °C ± 0.2 °C. The coating was applied at (30 °C) with a multicomponent matrix of sodium alginate ranging from 2% to 10%, glycerol (2%), Tween 20 (1%), and ascorbic acid (10%), which was cross-linked with calcium chloride (2%). We used the following parameters to test the effect of the alginate-based biofilm over each onion scape: weight loss, respiratory rate, hardness, titratable acidity and pH. Then we compared properties of both biofilm-coated onions and plastic-packed onions.

¹ Grupo de investigación de Bioprospección y Biotecnología, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: gladys.rozo@utadeo.edu.co

The surface of the onions' skin was estimated, as well as for the biofilm, using electron microscopy. Analysis of variance (ANOVA) was carried out in R software. **Results:** treatments. Coated onions showed statistical variations in weight, PH and titratable acidity. SEM micrographs showed a homogeneous alginate coating film. It was also complete, regular, crystallization free and air bubbles free. **Conclusions:** Our 10% alginate edible biofilm showed a favorable effect over the onion regarding weight loss, pH and titratable acidity, compared to non-coated. making evident that the usage of this film may increase onion producers income and it could gradually replace traditional, environmentally irresponsible plastic packaging.

Keywords: *Allium fistulosum L.*, alginates, edible films, conservation, plastic packaging.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el consumo de plásticos obtenidos de fuentes fósiles está ocasionando graves problemas ambientales, el sector de empaques alimentarios es responsable del uso de estos compuestos en un 50% de sus productos comerciales (1) y por lo tanto, debemos generar alternativas que contribuyan al mejoramiento del desempeño ambiental de éste sector productivo. La cebolla larga (*Allium fistulosum L.*) es la segunda hortaliza de importancia en Colombia (2); sin embargo, se estima que más del 25% de su producción se pierde por inadecuadas labores de post-cosecha (2). Tradicionalmente, la cebolla larga es empacada en costales de fique o de polipropileno y en bolsas o mallas plásticas que cubren el producto total o parcialmente (2). En un esfuerzo por producir materiales respetuosos con el ambiente, los biopolímeros biodegradables se han estudiado como materiales de revestimiento (3). Las biopelículas comestibles reemplazan y/o fortifican las capas naturales de frutas y verduras y previenen pérdidas de humedad al permitir el intercambio selectivo de gases (4). Una película o recubrimiento también puede proporcionar esterilidad a la superficie y evitar la pérdida de otros componentes importantes (4). El alginato es un biomaterial producido por algas pardas (Phaeophyceae, principalmente *Laminaria*) con un alto potencial para formar biopelículas (5). Se han estudiado recubrimientos con biopelículas de polisacáridos, de alginatos, en manzanas (6, 7, 8, 9, 10), papaya (7, 11); duraznos (13), mango (14), piña (15), fresas (16, 17), sandía (18); melón (10, 19) ciruelas, tomates y cerezas

(20), ajo (21), pimientos y carnes (22) y zanahorias (23). Se sabe que la pérdida de peso de la cebolla cabezona (*Allium cepa*) es mayor inmediatamente después de la cosecha, afectando los ingresos de los cultivadores (24).

Sin embargo, a pesar de que Hershko & Nus-sinovitch (25) concluyeron que las biopelículas a base de alginatos extienden la vida útil de la cebolla cabezona (*Allium cepa*) produciendo una película trasparente y aumentando su brillo, lo que potencialmente podría mejorar la posibilidad de venta de dicho producto así como el sabor del producto recubierto, la literatura no se hace referencia a coberturas con biopelículas en cebolla larga (*Allium fistulosum L.*). El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de la aplicación de una biopelícula a base de alginato sobre las características fisicoquímicas de la cebolla larga (*Allium fistulosum L.*), con el fin de brindar evidencias que permitan sustentar la sustitución de los empaques plásticos usados en la post-cosecha, así como mejorar los rendimientos y los ingresos de los cultivadores, lucro que actualmente se queda en los comercializadores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron cebollas largas (*Allium fistulosum L.*), cultivadas en el municipio de Aquitania (Boyacá), 20 horas después de ser cosechadas, llegaron al laboratorio donde se lavaron, desinfectaron con etanol y luego fueron sumergidas en soluciones de matriz de alginato preparadas en concentraciones 2 y 10% (Laboratorio Disproalquímicos S.A.) que contenían Tween 20 al 1% y glicerol al 2% (Laboratorio Chemí); se dejó actuar la mezcla durante 3 minutos, se retiró el exceso de alginato antes de sumergir la cebolla en una solución de cloruro de calcio al 2% (Laboratorio Panreac) que contenía ácido ascórbico al 10% (Laboratorio Mallinckrodt) durante 3 minutos, para inducir una reacción de reticulación espontánea con el alginato. Las cebollas fueron secadas a temperatura ambiente por 24 horas.

La pérdida de peso, tasa respiratoria, dureza, pH y acidez titulable, fueron monitoreados durante 7 días. La tasa respiratoria se determinó por medición directa de CO₂ con un analizador de gases PBI Dansensor CheckPoint., la dureza se midió con un penetrómetro de 0 a 13 Kg serie FT . La acidez titulable se determinó por valoración directa con NaOH 0.1N, y el pH se midió directamente un pH-metro marca Hanna.

Las propiedades de estructura física de la biopelícula se estudiaron mediante Microscopía electrónica de barrido (MEB) con un equipo FEI modelo Quanta 200-r.

El análisis de varianza (ANOVA) se realizó con el paquete estadístico R versión 3.2.1, con el método de comparaciones múltiples y con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0,05$).

RESULTADOS

La figura 1 muestra los gráficos de caja y bigotes de las propiedades fisicoquímicas pérdida de peso (a), pH (b) y acidez titulable (c).

Tabla 1. muestra los resultados estadísticos obtenidos para las características fisicoquímicas de los recubrimientos

Característica Fisicoquímicas	ANOVA P- Value	n
Pérdida de peso	9.87e-08 ***	291
pH	2.7e-07 ***	115
Dureza	0.958	180
Tasa Respiratoria	0.197	168
Acidez titulable	0.000204 ***	180

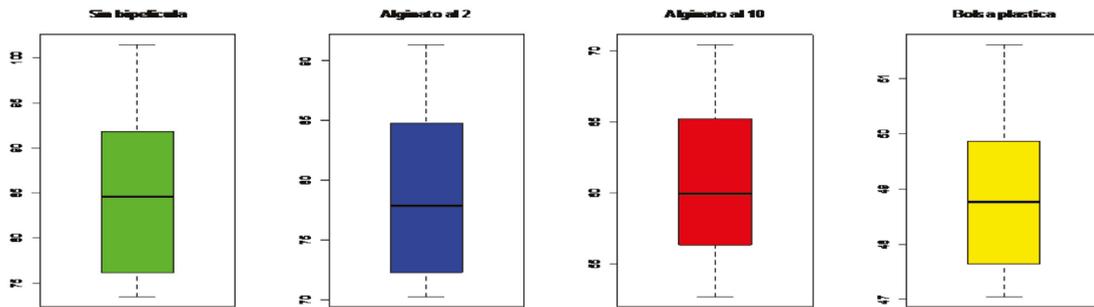


Figura 1. a.

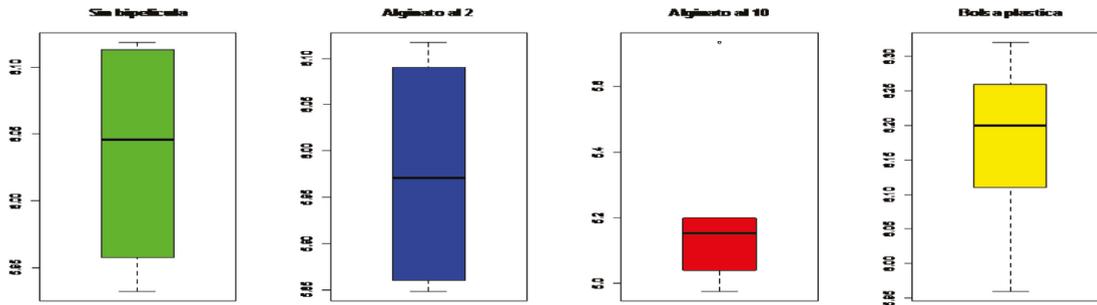


Figura 1. b.

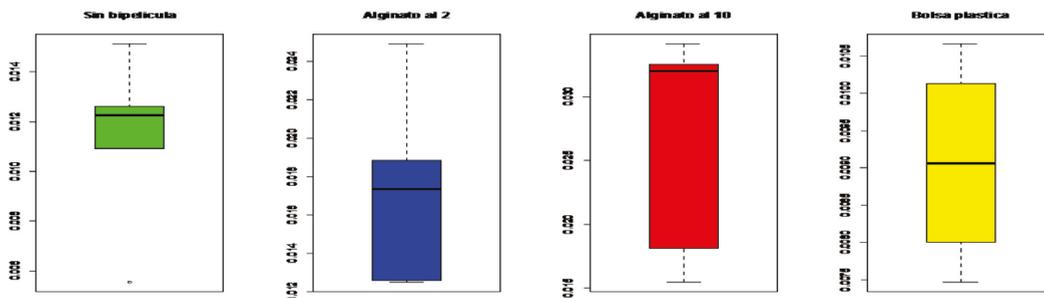


Figura 1. c.

En la figura 2a se observan las células de la cebolla con un aumento de 400x y 200 μ m. Estas células son de forma hexaédrica, alargadas, se ven las paredes celulares, pero no los núcleos de las mismas. En la figura 2b se ve un borde de la cebolla recubierto con la biopelícula con un aumento de 400x y 200 μ m. El recubrimiento es homogéneo, regular, sin cristalización ni burbujas de aire. En ningún punto se ven las células de la cebolla lo que indica que el recubrimiento fue completo.

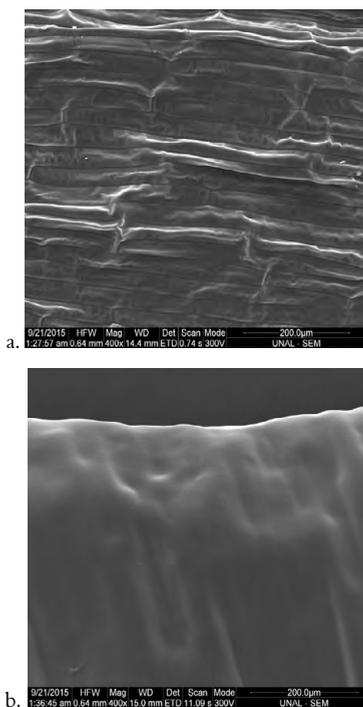


Figura 2. a. Micrografía por MEB de la cebolla larga sin recubrimiento. b. Micrografía por MEB de la cebolla larga con la biopelícula de alginato al 10%

DISCUSIÓN

Los resultados del ANOVA muestran que hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) en cuanto a las variables: pérdida de peso, pH y acidez titulable. La disminución del pH es menor en la cebolla recubierta al 10% ($5,22 \pm 0,26$), la tendencia a la disminución de la acidez, posiblemente es debido a que en el caso de los recubrimientos comestibles, éstos ralentizan la frecuencia respiratoria y retrasan la utilización de los ácidos orgánicos en las reacciones enzimáticas (26) constituyendo una ventaja, ya que una alta actividad metabólica se manifiesta a través de una alta tasa respiratoria, acortando la vida post-cosecha de la cebolla larga (2). La pérdida de peso es menor en las cebollas con alginato al 10% ($60,77g \pm 5,85$) y

en las empacadas en la bolsa plástica ($48,95g \pm 1,53$), comparadas con la película de alginato al 2% lo que significa que la biopelícula al 10% en comparación con la bolsa plástica brinda mejores beneficios al productor pues su cebolla llegará al destino final más fresca y con mejores pesos, incrementando las ganancias económicas. Los resultados de la dureza y la tasa respiratoria no muestran diferencias significativas entre los tratamientos, es decir, que ningún tratamiento tiene ventaja sobre otro en cuanto a estas dos características.

Es interesante observar que las cebollas con alginato al 2% pierden más peso ($79,05 g \pm 7,50$) y su pH ($5,97 \pm 0,10$) disminuye más rápidamente que las que cubiertas con alginato al 10%, siendo mejor para el productor el recubrimiento al 10%.

Los resultados de la microscopía electrónica de barrido permiten demostrar que la cebolla larga sometida a una inmersión de 3 minutos en el alginato al 10% y 3 minutos en Cloruro de Calcio, formará una biopelícula más homogénea, continua, compacta que se adhiere a la superficie externa de la cebolla y se adapta a su forma, con menos irregularidades como burbujas de aire o poros y poca cristalización. La estructura compacta y homogénea es un indicador de la integridad estructural y como consecuencia, las buenas propiedades mecánicas como alta resistencia y elongación al rompimiento (4). Las fotos demuestran que la película no es transparente; según Bierhalz, A. K., da Silva, M. A., & Kieckbusch, T. G. (27), la microestructura regular de la película de alginato ayuda a disminuir la solubilidad al agua de este tipo de biopelículas.

CONCLUSIONES

La biopelícula de alginato al 10% extiende la vida útil de la cebolla larga, y disminuye la pérdida de peso post-cosecha, produciendo coberturas homogéneas, transparentes y compactas, constituyéndose así, en un posible reemplazo a los empaques plásticos y mejorando los rendimientos e ingresos a los cultivadores.

REFERENCIAS

1. Navia R, Villada C. Impacto de la investigación en empaques biodegradables en ciencia, tecnología e innovación. *Biocología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*. 2013;11(2): 173-180.
2. Collazos Andrade F. *Manejo post-cosecha y comercialización de cebolla de rama (Allium fistulosum L.)*. Armenia : SENA, NRI. 1999.
3. Hambleton A, Voilley A, Debeaufort F. Transport parameters for aroma compounds through i-carrageenan and sodium alginate-based edible films. *Food Hydrocolloids*. 2011; 1128-1133.

4. Embuscado M, Huber K. Edible films and coatings for food applications. Nueva York: Springer. 2009; 403 p.
5. Skurtys O. *Food Hydrocolloid Edible Films and Coatings*. New York: Nova Science Publishers. 2010.
6. Olivas G, Mattinson D y Barbosa-Cánovas G. Alginate coatings for preservation of minimally processed 'Gala' apples. *Postharvest Biology And Technology*. 2007; 45:89-96.
7. Falguera V, Quintero J, Jiménez A, Muñoz J, Ibarz A. Review: Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends In Food Science & Technology*. 2011. 22: 292-303.
8. Rojas-Graü M, Tapia M, Rodríguez F, Carmona A, Martín-Belloso O. Alginate and gellan-based edible coatings as carriers of antibrowning agents applied on fresh-cut Fuji apples. *Food Hydrocolloids*. 2007; 21: 118-127.
9. Tapia M, Rojas-Graü M, Carmona A, Rodríguez F, Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O. Use of alginate- and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya. *Food Hydrocolloids*. 2008; 22:1493-1503.
10. Oms-Oliu G, Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O. Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears. *Postharvest Biology And Technology*. 2008;50: 87-94.
11. Maftoonzad N, Ramaswamy H y Marcotte M. Shelf-life extension of peaches through sodium alginate and methylcellulose edible coatings. *International Journal Of Food Science & Technology*. 2008; 43(6): 951-957.
12. Bonilla J, Atarés L, Vargas M, Chiralt A. Edible films and coatings to prevent the detrimental effect of oxygen on food quality: Possibilities and limitations. *Journal Of Food Engineering*, 110 (International Conference on Food Innovation - food Innova 2010). 2012; 208-213.
13. Narsaiah K, Wilson R, Gokul K, Mandge H, Jha S, Bhadwal, S, Vij S. Effect of bacteriocin-incorporated alginate coating on shelf-life of minimally processed papaya (*Carica papaya* L.). *Postharvest Biology And Technology*. 2015; 100:212-218.
14. Robles-Sánchez R, Rojas-Graü M, Odriozola-Serrano I, González-Aguilar G y Martín-Belloso O. Influence of alginate-based edible coating as carrier of antibrowning agents on bioactive compounds and antioxidant activity in fresh-cut Kent mangoes. *LWT – Food Science And Technology*. 2013; 50: 240-246.
15. Azarakhsh N, Osman A, Ghazali H, Tan C, MohdAdzahan N. Lemon grass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple. *Postharvest Biology And Technology*. 2014; 88:1-7.
16. Fan Y, Xu Y, Wang D, Zhang L, Sun J, Sun L, Zhang, B. Effect of alginate coating combined with yeast antagonist on strawberry (*Fragaria × ananassa*) preservation quality. *Postharvest Biology And Technology*. 2009; 53: 84-90.
17. Guerreiro A, Gago C, Miguel M, Antunes M y Faleiro M. The effect of alginate – based edible coatings enriched with essential oils constituents on *Arbutusunedo* L. fresh fruit storage. *Postharvest Biology And Technology*. 2015; 100: 226-233.
18. Sipahi R, Castell-Perez M, Moreira R, Gomes C y Castillo A. Improved multilayered antimicrobial alginate – based edible coating extends the shelflife of fresh-cut watermelon (*Citrullus lanatus*). *LWT – Food Science And Technology*. 2013; 5: 19-15.
19. Raybaudi-Massilia R, Mosqueda-Melgar J y Martín-Belloso O. Edible alginate-based coating as carrier of antimicrobials to improve shelf-life and safety of fresh-cut melon. *International Journal Of Food Microbiology*. 2008; 121:313-327.
20. Valero D, Díaz-Mula H, Zapata P, Guillén F, Martínez-Romero D, Castillo S, Serrano M. Effects of alginate edible coating on preserving fruit quality in four plum cultivars during postharvest storage. *Postharvest Biology And Technology*. 2013; 77: 1-6.
21. Pranoto Y, Salokhe V, Rakshit S. Physical and antibacterial properties of alginate-based edible film incorporated with garlic oil. *Food Research International*, 38(Food of the 21st Century: Safety & Health). 2005; 267-272.
22. Rhim J. Physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films. *LWT – Food Science And Technology*. 2004; 37:323-330.
23. Rojas-Graü M, Oms-Oliu G, Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O. The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: a review. *International Journal Of Food Science & Technology*. 2009; 44(5): 875-889.
24. Brewster, J. L., & Rabinowitch, H. D. Onion and allied crops: Vol. I. Botany, physiology and genetics: CRC press, Boca Raton, FL. 1990; pp. 27-28.
25. Hershko V y Nussinovitch A. Physical properties of alginate-coated onion (*Allium cepa*) skin. *Food Hydrocolloids*. 1998; 12:195-202.
26. Restrepo F, Jorge I and Aristizabal T, Iván D. Conservación de fresa (*fragaria x ananassa duch cv. camarosa*) mediante la aplicación de recubrimientos comestibles de gel mucilaginoso de penca sábila (*aloe barbadensis miller*) y cera de carnaúba. *vitae* [online]. 2010, vol.17, n.3
27. Bierhalz, A. K., da Silva, M. A., & Kieckbusch, T. G. Natamycin release from alginate/pectin films for food packaging applications. *Journal Of Food Engineering*. 2012; 110:18-25.

CAMBIOS EN LA VISCOELASTICIDAD DE PITAHAYA AMARILLA (*Selenicereus megalanthus*) LIOFILIZADA DURANTE EL ALMACENAMIENTO A DIFERENTES TEMPERATURAS

CHANGES IN THE VISCOELASTICITY OF YELLOW PITAHAYA (*Selenicereus megalanthus*) FREEZE DRIED DURING STORAGE TO DIFFERENT TEMPERATURES

GIRALDO-CUARTAS, C.J., PhD.*¹, AYALA-APONTE, A.A., PhD.¹; SERNA-COCK², L., PhD.

RESUMEN

Antecedentes: La pitahaya amarilla posee cualidades nutritivas importantes de gran aceptación. La pitahaya liofilizada se caracteriza por ser muy higroscópica y de textura frágil. Definir un punto crítico de calidad durante el almacenamiento que considere la influencia de las anteriores debilidades, exige entender algunas propiedades físicas de los materiales que la constituyen. El tiempo de relajación y el número de Deborah (N_{De}) son los parámetros obtenidos de las pruebas de relajación más importantes en la caracterización viscoelástica de productos agrícolas. **Objetivos:** Evaluar el efecto de la temperatura de almacenamiento en las características viscoelásticas de pitahaya liofilizada y definir el tiempo en el que se presenta el valor crítico en el N_{De} . **Métodos:** Se liofilizaron rodajas de pulpa de pitahaya amarilla con 40 mm de diámetro y 5 mm de espesor, a 5 Pa y 25°C. Las muestras se empacaron en bolsas de poliamida-poliétileno de baja densidad y posteriormente se almacenaron a 30, 40 y 50°C con 70% HR. Cada semana se realizaron pruebas de relajación (8% de deformación, 600 s de prueba y 200 mm/min de velocidad de compresión). Los datos se ajustaron al modelo de Maxwell de grado dos, para determinar los tiempos de relajación y el N_{De} . Se planteó un diseño completo al azar en dos vías por triplicado. **Resultados:** El aumento de la temperatura presentó un efecto significativo en la disminución del tiempo de relajación y en consecuencia el N_{De} . Todas las muestras mostraron comportamiento de líquido

viscoelástico, comportamiento que se incrementa con el tiempo de almacenamiento. Las condiciones críticas en las propiedades viscoelásticas, representadas por el punto de inflexión en el N_{De} , se presentaron a los 4 y 24 días de almacenamiento a 50 y 40°C respectivamente. **Conclusiones:** Los cambios en el comportamiento viscoelástico, sugiere la presencia de dos fases en la estructura de la pitahaya liofilizada. El almacenamiento a 30°C muestra más estabilidad física.

Palabras claves: Pitahaya, deshidratación, relajación, estabilidad, valor crítico.

ABSTRACT

Background: Yellow pitahaya has nutritional qualities of great acceptance. Pitahaya freeze-dried is highly hygroscopic and to has a fragile texture. To define a critical point of quality during storage, (that considers the influence of the above weaknesses), to understand some physical properties of the constituent materials is necessary. The relaxation time and Deborah number (N_{De}) are determined through the relaxation test. They are the most important parameters in viscoelastic characterization of agricultural product. **Objective:** To evaluate the effect of storage temperature on viscoelastic properties of the freeze-dried pithaya, and to define the time of N_{De} critical value. **Methods:** Yellow pitahaya pulp was sliced to 40 mm of diameter and 5 mm of thickness. The slices were freeze dried using 5 Pa and 25°C. The samples were packed in low density bags of polyamide-polythene, and these

¹ Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

² Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: cajugicu@gmail.com

were stored to 30, 40, 50°C, and 70% HR. Every week, relaxation tests were performed (8% strain, test 600 s and 200 mm / min compression rate). The data were adjusted to the model of Maxwell of degree two. To determinate the relaxation time and N_{De} . A 2-way completely randomized design was used. **Results:** The increase of the temperature presented a significant effect in the diminution of the relaxation time and therefore in the N_{De} . All samples showed a behavior like a viscoelastic liquid which increased with storage time. The critical conditions on the viscoelastic properties were measured in the flexion point of the N_{De} . The flexion point was observed at 4 and 24 days of storage, 50 and 40 °C respectively. **Conclusions:** The changes in the viscoelastic behavior indicate the presence of two phases in the structure of freeze-dried pitahaya. The pitahaya has a highest physical stability when storage temperature 30°C is used.

Keywords: Pitahaya, dehydration, relaxation, stability, critical value.

INTRODUCCIÓN

La pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) es un fruto exótico apetecido por sus características sensoriales y propiedades biofuncionales. Como alternativa de conservación de alimentos están los procesos de liofilización, la pitahaya liofilizada se caracteriza por su alta estabilidad, sin embargo, es muy higroscópica y de textura frágil (1, 2). La importancia que se le otorga a la calidad, exige entender mejor la función de las propiedades de los materiales que constituyen los alimentos (3); por tal razón, un test mecánico permite explicar los cambios en las respectivas microestructuras. El tiempo de relajación y el número de Deborah son los parámetros obtenidos del test de relajación más importantes en la caracterización de productos agrícolas (4, 5, 6), el primero indica la rapidez con la que el material disipa un esfuerzo por una deformación repentina y el segundo, indica cuando una matriz pasa de comportarse como un sólido viscoso a un líquido viscoso, ambos parámetros son afectados por las condiciones de procesamiento y/o almacenamiento (3, 7, 8). Estos parámetros se pueden utilizar como indicadores de estabilidad en estudios de vida útil (9). El objetivo de este trabajo, es evaluar el efecto de la temperatura de almacenamiento en las características viscoelásticas de pitahaya liofilizada y definir el tiempo en el que se presenta el valor crítico en el N_{De} .

MATERIALES Y MÉTODOS

Pitahayas amarillas (*Selenicereus Megalanthus*) en estado de madurez 4, se pelaron y cortaron en rodajas de 40 mm de diámetro y 5 mm de espesor. Las muestras se congelaron a -35 °C y se liofilizaron en un equipo de bandejas (LABCOMCO®), durante 15 h a 5 Pa. y 25°C como temperatura de secado (1, 2). Las muestras se empacaron en bolsas coextruidas de poliamida-polietileno de baja densidad calibre 70, con permeabilidad al vapor de agua de 10.2 cm³/m².día.atm a 38°C. Posteriormente se almacenaron en cámara ambiental a 30, 40, y 50 °C con 70% de humedad relativa. Durante el tiempo de almacenamiento, cada 8 días se tomaron muestras y se realizaron tests de relajación. El test de relajación se llevó a cabo en un texturómetro (SHIMADZU®), dotado de un embolo de 42 mm de diámetro. Las muestras se sometieron a compresión uniaxial hasta una deformación relativa del 8% de su altura inicial, con velocidad de compresión de 200 mm/min. Durante 600 s (t_p) se registraron los valores de la fuerza manteniéndose constante la deformación. Con la información obtenida se determinaron los tiempos de relajación (λ_i) del modelo de Maxwell generalizado a dos términos (Ecuación 1), a través de regresiones no lineales. Se calculó con la ecuación 2 el número de Deborah (N_{De}) en cada tratamiento, para definir el comportamiento reológico según el criterio, $N_{DE} \ll 1$ indica un comportamiento de líquido viscoelástico y valores de $N_{DE} \gg 1$ se comporta como sólido elástico (3, 4, 6). Las regresiones no lineales se desarrollaron con CurveExpert® v. 1.3. Se planteó un DCA con dos vías por triplicado y en su análisis se usó MINITAB® v.13.

$$F(t) = F_e + \beta_1 \exp\left[-\frac{t}{\lambda_1}\right] + \beta_2 \exp\left[-\frac{t}{\lambda_2}\right] \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$N_{DE} = \frac{\lambda_i}{t_p} \quad (\text{Ecuación 2})$$

RESULTADOS

En la figura 1, se muestra el comportamiento del test de relajación en tres muestras de pitahaya amarilla, almacenadas a 30°C y 70% HR, en diferentes días de almacenamiento. La diferencia entre las respectivas curvas, indica que existe un efecto de relajación al incrementarse el tiempo de alma-

cenamiento. Valores equivalentes en las cinéticas de viscosidad, fueron encontrados en papa cocida y zanahoria escaldada (8, 9).

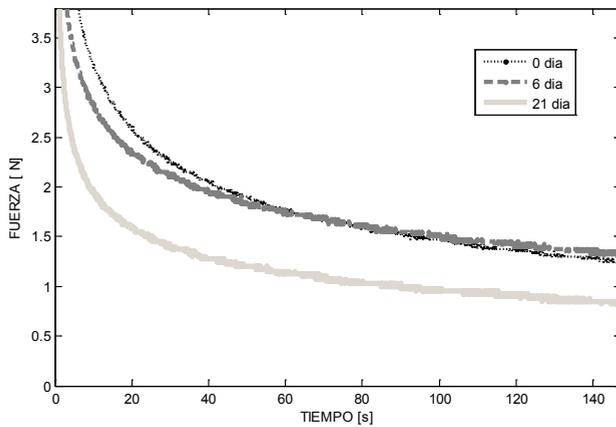


Figura 1. Cambios en la relajación de pitahaya liofilizada durante el almacenamiento a 30°C

La tabla 1, muestra los parámetros de regresión para los casos representados en la figura 1. Desde el punto de vista de regresión, los altos valores de R^2 y los bajos errores estándar (SE) indican que el modelo de Maxwell con dos términos explica y representa los datos experimentales; igual análisis se aplicó a las otras condiciones de almacenamiento (valores no tabulados).

Tabla 1. Parametros de relajacion de la Ecuacion 1 para la pitahaya liofilizada y almacenada a 30°C

Día	β_1 (N)	λ_1 (s)	β_2 (N)	λ_2 (s)	F_e (N)	R^2	SE
0	1,708	175,6	4,125	8,114	0,5541	0,9797	0,1364
6	1,369	149,1	3,017	6,956	0,8454	0,9732	0,1178
21	1,022	138,2	2,705	5,695	0,5015	0,9680	0,1029

Los valores $\lambda_1 \gg \lambda_2$, indican que el primer término exponencial de la ecuación 1 amortigua el esfuerzo aplicado, determinaciones iguales se han presentado en la relajación de lentejas (5), y recopilación de otros trabajos son presentados en la referencia (6). La figura 2, representa los cambios del comportamiento del N_{De} en la pitahaya durante el almacenamiento. Para un $p < 0.05$, el paso de 30°C a una temperatura mayor de almacenamiento presenta significancia en N_{De} (disminución), que de 40 a 50°C. Efectos análogos se han determinado en el escaldado y la rehidratación de cubos de Zanahoria (8) y en la cocción de papa (9).

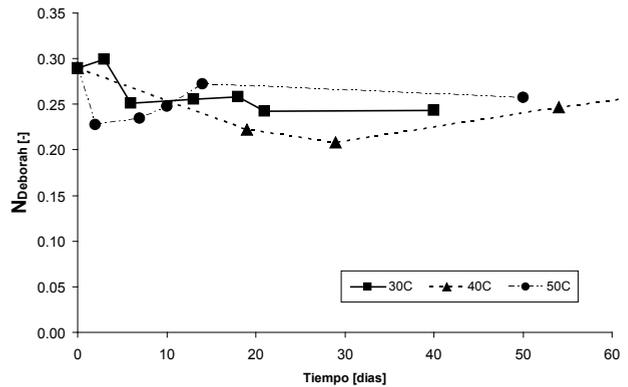


Figura 2. Cambios del $N_{Deborah}$ en pitahaya liofilizada durante el almacenamiento a diferentes temperaturas

Con respecto al tiempo de almacenamiento, se presenta diferencias en N_{De} , a partir del 4 y 24 día comparando con las condiciones iniciales a 40 y 50°C respectivamente. Estas condiciones se visualizan con el punto de inflexión en la figura 2, el cual se desplaza hacia la izquierda por el incremento en la temperatura a menores tiempos. Contrario a lo anterior, la condición de almacenamiento a 30°C, estadísticamente se puede considerar estable.

DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta la figura 1, se puede afirmar que hay un cambio en las características físicas de las muestras de pitahaya liofilizada, la cual cambia de sólido viscoelástico a líquido viscoelástico (4). Las muestras al tener humedades menores al 3% y ser higroscópicas en el día cero (1, 2), cualquier cantidad de vapor de agua que difunda a través del empaque hacia su interior, e incrementa su contenido de humedad, presentará un efecto plastificante en su estructura. (5). Los tiempos de relajación (λ_1) en la tabla 1, cuantifican el efecto de relajación acorde a lo explicado anteriormente, es decir que este parámetro disminuye al incrementarse el efecto plastificante durante el almacenamiento. En la figura 2, todos los tratamientos presentaron comportamiento más a líquido viscoelástico que aun sólido viscoelástico ($N_{De} < 1$) (3); lo anterior es el reflejo de la disminución de λ_1 en las muestras durante el tiempo y al aumento de la temperatura de almacenamiento. El desplazamiento del punto de inflexión en la figura 2, se puede explicar al considerar la muestra liofilizada conformada por una fase continua (pulpa liofilizada) y una fase dispersa (semillas); al transcurrir el tiempo, la fase continua

se disuelve por el aumento del contenido de humedad, provocando que progresivamente queden expuestas las semillas en un soporte viscoso (10). Cuando se llega al punto de inflexión, el incremento en el N_{De} indica que la fase dispersa se comporta como una estructura rígida en las muestras al quedar más expuestas que al inicio del almacenamiento (7). Este punto de inflexión, se puede referenciar como un factor limitante o crítico en la estabilidad de la pitahaya liofilizada y adecuarse en alimentos con similares características (9).

CONCLUSIONES

Durante el almacenamiento de pitahaya liofilizada, los tiempos de relajación disminuyen al incrementarse la temperatura y los tiempos de almacenamiento. Sus características reológicas son acordes a la de líquidos viscoelásticos. Los cambios en el N_{De} sugieren la presencia de dos fases en la estructura de la pitahaya liofilizada, cuyo punto de inflexión se puede tomar como factor crítico en estudios de vida útil. El almacenamiento a 30°C, presenta más estabilidad estructural.

REFERENCIAS

1. Ayala AA, Serna L, Rodriguez de la Pava G. Moisture adsorption isotherm in Yellow Pitahaya (*Selenicereus megalanthus*). *Dyna*. 2011; 78(170):7-14.
2. Giraldo-Cuartas C J, Ayala AA, Serna L. Influencia del pretratamiento osmótico y temperatura de liofilización sobre la estabilidad amorfa de Pitahaya amarilla. *Rev. Fac. Nal. Agro. Medellín*. 2014; 67(2): 521-523.
3. Rosenthal A J. *Food Texture - Measurement and Perception*. Gaithersburg, Md.: Aspen Publ. 1999; 312 p.
4. Peleg M. Characterization of stress relaxation curves of solid foods. *J. Food Sci.* 1979; 44(1): 277-281.
5. Bargale P C, Irudayaraj J M, Marquis B. Some mechanical properties and stress relaxation characteristics of lentils. *Can. Agri. Eng.* 1994; 36(4): 247-254.
6. Telis V R N, Telis-Romero J, Gabas A L. Solid rheology for dehydrated food and biological materials. *Dry. Technol.* 2005; 23: 759-780.
7. Baik O D, Mittal G S. Dynamics of changes in viscoelastic properties of Tofu during frying. *Int. J. Food Prop.* 2006; 9(1): 73-83.
8. Markowski, M., Zielinska, M. Influence of drying temperature and rehydration on selected textural properties of Carrots. *Int. J. Food Prop.* 2013; 16(3): 586-597.
9. Solomon W K, Jindal V K. Modeling thermal softening kinetics of Potatoes using fractional conversion of rheological parameter. *J. Texture Stud.* 2003; 34: 231-247.
10. Genovese D B, Lozano J E, Rao M A. The Rheology of colloidal and noncolloidal food dispersions. *J. Food Sci.* 2007; 72(2):R11-R20.

MARCO DE REFERENCIA PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DEL MODELO DE GESTIÓN DEL CENTRO BIOTECNOLÓGICO AGROINDUSTRIAL-CBA

ANALYSIS AND DESIGN FRAMEWORK FOR MANAGEMENT MODEL OF AGRIBUSINESS BIOTECHNOLOGY CENTER-ABC

Gloria Liliana ROJAS F.¹, Alberto de J. GONZÁLEZ², José Luis HOYOS C.³

RESUMEN

Antecedentes: Para el Centro Biotecnológico Agroindustrial – CBA el conocimiento es el activo intangible más importante de la organización y la sociedad para lograr ventajas competitivas, esta investigación es conveniente porque posibilita la generación de un nuevo enfoque para la construcción y aplicación de un enfoque de gestión de conocimiento. En ese sentido, esta investigación facilitará el desarrollo de una herramienta para representar este fenómeno, delimitando sus dimensiones a partir de la descripción de sus procesos y estructuras, lo cual permitirá plantear las estrategias más pertinentes a las necesidades de la organización. **Objetivos:** Este artículo presenta la primera fase del proceso de diseño del modelo de gestión del CBA como organización basada en conocimiento, que consiste en la definición de un marco de análisis y diseño para el modelo de gestión del CDT teniendo en consideración los requerimientos de diseño, la caracterización del proceso de intervención, y la identificación y selección de los instrumentos aplicables de acuerdo a las mejores prácticas identificadas en la gestión de este tipo de organizaciones, y las políticas y condiciones del contexto que actualmente condicionan su reconocimiento y operación. **Métodos:** Análisis de las teorías y mejores prácticas de la gestión del conocimiento, para proponer un marco de análisis y diseño que incluye procesos e instrumentos que guíen la definición de la plataforma estratégica, el modelo organizacional y el

modelo de negocio del CDT. **Resultados:** En la fase 1 se define el proceso de intervención mediante el análisis de brechas resultado de la primera etapa; y en la Fase 2 se definen los instrumentos clave para su ejecución, tales como: Mapas de conocimiento, matriz de evaluación, modelos y guías para la definición de procesos y estructuras organizacionales, e instrumentos de planeación estratégica. **Conclusiones:** El diseño de los instrumentos ha permitido validar frente a los requerimientos propuestos por Colciencias en la Resolución 00688, la capacidad del marco de referencia definido de integrar las distintas vistas desde las cuales se analizan y caracterizan este tipo de organizaciones.

Palabras clave: Gestión del conocimiento, sistemas basados en conocimiento, modelado organizacional, gestión por procesos del negocio, centro de desarrollo tecnológico.

ABSTRACT

Background: For Agroindustrial Biotechnology knowledge center is the most important intangible asset of the organization and society to achieve competitive advantages, this research is desirable because it enables the generation of a new approach to building and implementing a knowledge management approach. In that sense, this research will facilitate the development of a tool to represent this phenomenon, defining its dimensions from the description of its processes and structures, which will bring the most relevant to the needs of

¹ Ingeniera ambiental. Investigadora Grupo ASUBAGROIN. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agrarias. Popayán, Colombia.

² Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. Totems Ltda, Popayán, Colombia. CEO.

³ Magister en ingeniería de alimentos. Profesor Titular, Universidad del Cauca. Director Grupo ASUBAGROIN. Popayán, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: lilianarojas@unicauca.edu.co.

the organization strategies. Objectives: This article presents the first phase of the design process management model Agroindustrial Biotechnology Centre as knowledge-based organization, which is the definition of a framework of analysis and design for management CDT model taking into consideration the requirements design, characterization of the intervention process, and the identification and selection of the relevant instruments according to identify best practices in the management of these organizations, and political and contextual conditions that currently affect its recognition and operation. Methods: Analysis of theories and best practices of knowledge management, to propose a framework of analysis and design that includes processes and tools to guide the definition of the strategic platform, organizational model and business model of the CDT. Results: In phase 1 the intervention process is defined by the gap analysis result of the first stage; Maps of knowledge, evaluation matrix, models and guidelines for the definition of processes and organizational structures, strategic planning and instruments; and in Phase 2 key tools for implementation, as defined. Conclusions: The design of the instruments has allowed validated against the requirements proposed by Colciencias Resolution 00688, capacity defined framework to integrate different views from which are analyzed and characterized organizations such reference.

Keywords: Knowledge management, Knowledge Based Systems, Organizational modelling, Business Process Management, Technology Development Center.

INTRODUCCIÓN

El departamento del Cauca en los ejercicios de priorización de sus apuestas productivas para dinamizar la economía y mejorar la competitividad del territorio ha priorizado la industria piscícola como una de las principales dinamizadoras de la economía regional, por el impacto que genera en la calidad de vida de las comunidades y la capacidad de crecimiento de su participación en el mercado regional y nacional vía la diferenciación a partir de productos innovadores.

Una industria Piscícola competitiva está basada en el desarrollo de capacidades del ecosistema de innovación a partir del trabajo colaborativo de los generadores de políticas, el sector académico, el sector productivo y la sociedad en general. Su

desarrollo implica la construcción de redes de innovación para el desarrollo de productos altamente innovadores, que permitan alcanzar ventajas competitivas difícilmente replicables y la consolidación de capacidades relacionales, del talento humano y estructurales de los distintos actores para enfrentar los desafíos y cambios tecnológicos y del mercado.

Los Centros de Desarrollo Tecnológico – CDT han sido concebidos como una estrategia fundamental de la política de innovación, competitividad y desarrollo tecnológico a partir de la articulación de capacidades de los actores Universidad - Empresa - Estado - Sociedad orientadas a promover procesos de innovación en el sector productivo. Su objetivo es incrementar la productividad y competitividad de los sectores productivos mediante la promoción de una cultura de innovación empresarial basada en la cooperación y en alianzas estratégicas inter empresariales y la gerencia participativa (4).

En ese sentido, el proyecto “Alternativas para el uso de subproductos derivados de la agroindustria piscícola” ha considerado la creación y consolidación del Centro Biotecnológico Agroindustrial – CBA, a fin de que direcciona los esfuerzos para la consolidación de capacidades regionales para la innovación y el desarrollo de la industria piscícola, facilite la articulación de los distintos actores, el relacionamiento con otros centros de generación de conocimiento y la transferencia de mejores prácticas de innovación al sector productivo (12, 13).

La creación y consolidación del CBA será abordado desde la perspectiva de las organizaciones basadas en conocimiento que propician la generación de productos y servicios altamente innovadores intensivos en conocimiento (15, 10, 9). Su modelo de gestión será la consecuencia de integrar las teorías y prácticas de la gestión del conocimiento (7, 3, 16), la gestión de la innovación (2, 1, 17), la gestión del talento humano (5, 6), la gestión del capital intelectual (8, 11), y la gestión integral, que confluyen en el análisis de este tipo de organizaciones.

Este artículo presenta la primera fase del proceso de diseño del modelo de gestión del CBA como organización basada en conocimiento, que consiste en la definición de un marco de análisis y diseño para el modelo de gestión del CDT teniendo en consideración los requerimientos de diseño, la caracterización del proceso de intervención, y la identificación y selección de los instrumentos aplicables de acuerdo a las mejores prácticas identificadas en la gestión de este tipo de organizaciones, y las políticas y condi-

ciones del contexto que actualmente condicionan su reconocimiento y operación.

METODOLOGÍA

Fase 1. Definición del proceso de intervención

Durante esta fase se define, de acuerdo a la conceptualización y evaluación de las mejores prácticas en la gestión de organizaciones basadas en conocimiento, el proceso y los marcos de referencia para guiar el diseño y puesta en operación del CDT. Se identifican las necesidades de información y las potenciales estrategias para su captura y análisis.

Fase 2. Diseño de los instrumentos

Durante esta fase se diseñan los instrumentos requeridos para soportar la captura y análisis de la información requerida para la ejecución del proceso de referencia establecido.

RESULTADOS

A continuación se describen los principales resultados por fase:

Fase 1. Definición del proceso de intervención

Presentación del proceso

Como referente conceptual fue seleccionado el Framework Karagabi (7) un modelo desarrollado por organizaciones locales y aplicado a la dinámica Núcleos de Innovación definida por el departamento del Cauca como la estrategia para la consolidación de las apuestas productivas regionales, adaptándolo a las particularidades que caracterizan los CDT.

Auditoría de Conocimiento

Permite realizar un análisis sistemático de los programas, estrategias, procesos, estructuras, activos de conocimiento, flujos de conocimiento, aspectos culturales del CDT frente a sus metas y objetivos y frente a las dinámicas y normatividad que permitirá su reconocimiento y operación. Se integran los métodos y técnicas para la construcción de mapas de conocimiento para la caracterización del estado actual de las capacidades regionales para la puesta en operación y consolidación del CDT, el estudio de referenciación a partir de un proceso de inteligencia competitiva, el análisis de expertos, el análisis prospectivo y el análisis de brechas de conocimiento. Ver figura 1.

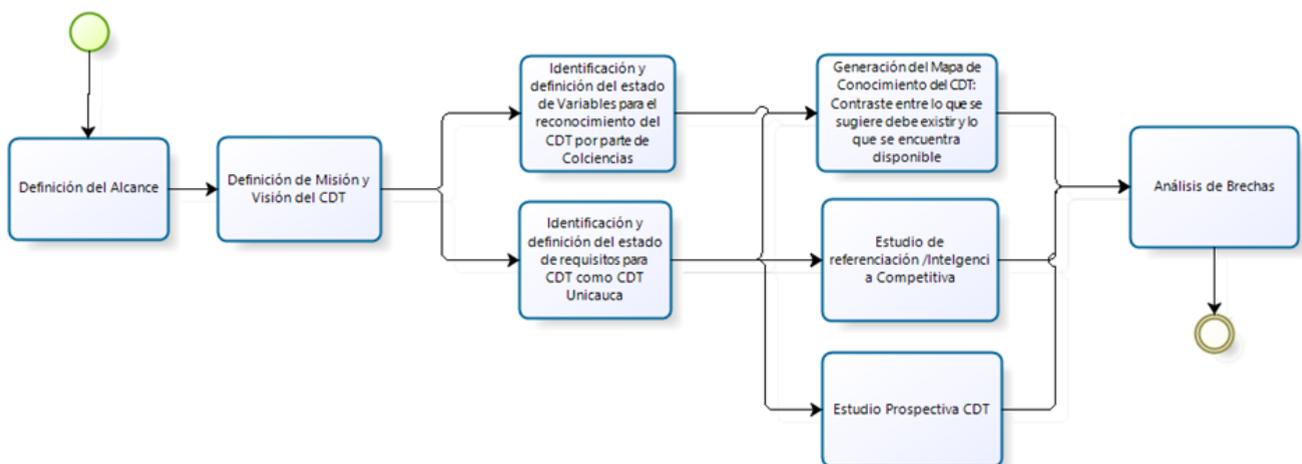


Figura 1. Auditoría de Conocimiento

Diseño del modelo de gestión del Conocimiento

El proceso de diseño de la OBC parte del análisis de brechas resultado de la primera etapa y considera las siguientes etapas: (1) Definición del modelo de motivación de la OBC; (2) Definición del modelo de negocio; (3) Definición del modelo de estructura organizacional de la OBC; (4) Definición del modelo de procesos de la OBC; (5) Definición del modelo de gestión del talento humano orientado a la gestión del conocimiento; (6) Definición del modelo para caracterización de activos de conocimiento de la Organización; (7) Diseño del modelo TI de soporte.

Despliegue piloto y Evaluación del Modelo

Permite el despliegue parcial del modelo propuesto a partir de la realización de pruebas piloto que permitan tener un espacio de seguimiento y evaluación.

Fase 2. Definición de los instrumentos

Dada la naturaleza del CBA como OBC y los referentes conceptuales y prácticos de la gestión del conocimiento, la innovación y la gestión del talento humano analizados, así como las necesidades del proceso de intervención, fueron identificados y adaptados instrumentos clave para su ejecución:

Mapas de conocimiento

Permiten caracterizar el estado actual del capital intelectual regional que da soporte a la creación del CDT. Integra el mapeo de las capacidades de los principales actores regionales de la agroindustria piscícola desde la academia, el estado y el sector productivo.

Matriz de evaluación frente a reconocimiento del sistema Nacional de CTel

Especifica las variables e indicadores clave definidos por el SNCTel para el reconocimiento del CDT.

Modelo de caracterización de activos de conocimiento

Especifica una taxonomía que caracteriza los tipos de activos intelectuales de un centro de desarrollo tecnológico.

Análisis de brechas

Instrumento que permite valorar el estado actual de las capacidades regionales frente a las capacidades

identificadas en el estudio de inteligencia competitiva, prospectiva y referenciación con expertos.

EPI - Instrumentos de planeación estratégica

Permite orientar el proceso de planeación estratégica del CDT.

Modelos y guías para la definición de procesos y estructuras organizacionales

Definen un lenguaje común y una guía de aplicación para la definición y caracterización de procesos y estructuras organizacionales.

Instrumentos y modelos de análisis del talento humano por competencias

Definen un lenguaje común y una guía de aplicación para la definición y caracterización de competencias organizacionales para la operación y consolidación del CDT.

DISCUSIÓN

El diseño del modelo de gestión del CBA, dada su naturaleza de organización que genera, apropia, adapta y transfiere conocimiento y propicia procesos de innovación y desarrollo de productos de alto impacto para el sector piscícola, debe partir de reconocer sus principales activos intelectuales y los de su red de aliados, como paso previo a la definición de sus estrategias, modelo de negocio, estructuras y talento humano que soporte su operación.

El principal error que se comete al abordar procesos de diseño de organizaciones altamente dependientes de su capital intelectual, es la utilización de las metodologías tradicionales de análisis, planeación y diseño que no consideran el conocimiento como el activo fundamental de la organización y su gestión como factor crítico para su conformación, operación y consolidación.

La adopción del enfoque de OBC y el diseño de instrumentos para su caracterización, análisis y gestión, facilita la conceptualización de la naturaleza del CDT al proveer herramientas que permiten establecer las brechas existentes en las capacidades propias de la organización (en el talento humano, el capital estructural y relacional) y de su red de aliados frente a las demandas del mercado, la competencia y los rápidos cambios tecnológicos, para direccionar posteriormente el diseño de una plataforma estratégica que permita avanzar hacia su consolidación

como organización que basa su ventaja competitiva en el conocimiento y la capacidad de integrarlo en productos y servicios.

CONCLUSIONES

El CBA como organización basada en conocimiento, demanda del proceso de diseño de su modelo de gestión, enfoques apropiados que permitan reconocer, entender e interpretar la naturaleza diversa de los activos que gestiona, fundamentalmente los relacionados con su capital intelectual.

El diseño de los instrumentos ha permitido validar frente a los requerimientos propuestos por Colciencias en la Resolución 00688, y a los análisis realizados a través de proyectos como el desarrollado por el Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología –OCyT denominado “Diseño y Aplicación de una Metodología para la Caracterización de Centros autónomos de Investigación y Desarrollo” la capacidad del marco de referencia definido de integrar las distintas vistas desde las cuales se analizan y caracterizan este tipo de organizaciones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Departamento Nacional de Planeación (DNP), al Sistema General de Regalías de Colombia (SGR), a la Universidad del Cauca y al Centro regional de Productividad e Innovación del Cauca (CREPIC).

REFERENCIAS

1. Abernathy WJ, Clark KB. Innovation: Mapping the winds of creative destruction. *Research policy*. 1985 Feb 28; 14(1): 3-22.
2. Afuah A. *Innovation management: strategies, implementation and profits*. Oxford University Press. 2003.
3. Alavi M, Leidner DE. Review: Knowledge management and knowledge management systems: Conceptual foundations and research issues. *MIS quarterly*. 2001 Mar; 1: 107-36.
4. Arbonés A. *Conocimiento para innovar: Cómo evitar la miopía en la gestión del conocimiento* (2da. ed.). España: Diaz de Santos. 2005.
5. Bartlett C, Ghoshal S. Building competitive advantage through people. *Sloan Mgmt. Rev.* 2013; 43(2).
6. Buller PF, McEvoy GM. Strategy, human resource management and performance: Sharpening line of sight. *Human resource management review*. 2012 Mar 31; 22(1): 43-56.
7. González AD, Joaquín CZ, Collazos CA. Karagabi Kmmmodel: Modelo de referencia para la introducción de iniciativas de gestión del conocimiento en organizaciones basadas en conocimiento. *Ingeniare*. 2009 Aug;17(2):223-35.
8. Guthrie J, Ricceri F, Dumay J. Reflections and projections: a decade of intellectual capital accounting research. *The British Accounting Review*. 2012 Jun 30; 44(2): 68-82.
9. Hayter CS. Conceptualizing knowledge-based entrepreneurship networks: Perspectives from the literature. *Small Business Economics*. 2013 Dec 1; 41(4): 899-911.
10. Holsapple C, editor. *Handbook on knowledge management 1: Knowledge matters*. Springer Science & Business Media; 2013 Apr 17.
11. Hsu I, Sabherwal R. Relationship between intellectual capital and knowledge management: An empirical investigation. *Decision Sciences*. 2012 Jun 1; 43(3): 489-524.
12. Nonaka I, Takeuchi H. *La Organización Creadora de Conocimiento. Cómo las compañías japonesas crean la dinámica de la innovación*. Oxford University Press. 1995.
13. Nonaka I. *La empresa creadora de conocimiento*. Bilbao, España: Deusto. 2000; 23-49.
14. Pinzón Q C. Análisis de los procesos de gestión de conocimiento en centros de desarrollo tecnológico agrícola colombiano y propuesta para su fortalecimiento. Trabajo de grado para optar el título de Mag. En Administración. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Económicas. Escuela de Administración y Contaduría, Maestría en Administración. Bogotá D.C., 2009.
15. Quinn JB, Strategy ES. *Strategic outsourcing: leveraging knowledge capabilities*. Image. 2013; 34.
16. Tiwana A. *The knowledge management toolkit: practical techniques for building a knowledge management system*. Prentice Hall PTR. 2000 Jan 1.
17. West J, Bogers M. Leveraging external sources of innovation: a review of research on open innovation. *Journal of Product Innovation Management*. 2014 Jul 1; 31(4):814-31.

PRODUCCIÓN DE CELULOSA BACTERIANA EN COROZO DE LATA (*Bactris guineensis*): UNA ALTERNATIVA DE IMPLEMENTACIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

PRODUCTION OF BACTERIAL CELLULOSE IN COROZO (*Bactris guineensis*): AN ALTERNATIVE FOR IMPLEMENTATION IN THE FOOD INDUSTRY

Olga PERNA M.^{1*}, Rubén JARAMILLO L.¹, Adriana GONZALEZ V.¹

RESUMEN

Antecedentes. La celulosa es el biopolímero más abundante en el mundo y no solo a partir de las plantas se puede obtener, también de diversos microorganismos entre ellos encontramos la bacteria Gram negativa *Gluconacetobacter xylinus*. Para la síntesis de celulosa bacteriana se han ensayado diversas fuentes de carbono y distintas estrategias de cultivo. **Objetivo.** Evaluar la producción de celulosa bacteriana en corozo de lata (*Bactris guineensis*) como una alternativa de implementación en la industria alimentaria. **Métodos.** El estudio se llevó a cabo en biorreactores cilíndricos, con 100 ml de medio y concentraciones de 20, 40 y 60% v/v de zumo de corozo por triplicado a pH 5,6. El volumen del inoculo fue el 10% v/v del medio de cultivo. La producción de celulosa se realizó a temperatura ambiente y a tiempos de incubación de 0, 3, 7, 14, 21 y 28 días, determinándose las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de la celulosa bacteriana, también el consumo de fructosa y sacarosa en función del tiempo. **Resultados.** Se indica que las películas de celulosa sintetizadas en sustrato de corozo presentan propiedades espesantes, así como un máximo grosor lo que indicó una disminución del volumen remanente de cultivo con la concentración del 60% v/v de corozo en el día 28; se observó un consumo de fructosa de 48.5%, 51.41% y 52.80% y glucosa de 48.55%, 51.44% y 52.81% de la concentración inicial respectivamente. **Conclusiones.** El uso de la celulosa bacteriana producida en sustrato de corozo es interesante en la industria alimentaria ya que la película absorbe las antocianinas del medio, adicionando componentes antioxidantes de gran beneficio en la alimentación.

Palabras clave: celulosa bacteriana, corozo de lata, *Gluconacetobacter xylinus*, aditivos alimentarios.

ABSTRACT

Background: Cellulose is the most abundant in the world biopolymer and not only from plants can be obtained, also of various microorganisms including gram-negative bacterium found *Gluconacetobacter xylinus*. Various carbon sources and different strategies of crop have been tested for bacterial cellulose synthesis. **Objectives:** Evaluate the production of bacterial cellulose in Tin corozo (*Bactris guineensis*) as an alternative to implementation in the food industry. **Methods.** The study was conducted in cylindrical bioreactors with 100 ml of medium and concentrations of 20, 40 and 60% v/v of juice corozo in triplicate at pH 5.6. The volume of the inoculum was 10% v/v of the culture medium. Pulp production was carried out at room temperature and incubation times of 0, 3, 7, 14, 21 and 28 days, determining the physico-chemical and mechanical properties of bacterial cellulose, also the consumption of fructose and sucrose as a function of time. **Results:** Shown that cellulose films synthesized on corozo substrate present properties thickeners, as well as a maximum thickness indicating a decrease in the volume the remnants of culture with the concentration of 60% corozo on day 28 v/v; there was a consumption of fructose from 48.5%, 51.41% and 52.80% and glucose of 48.55%, 51.44% and 52.81% of the initial concentration respectively. **Conclusions.** The use of bacterial cellulose produced in corozo substrate is interesting in the food industry since the film absorbs the anthocyanins of the medium, adding antioxidant

1 Grupo de Investigación en Biología de Microorganismos (GIBM), Facultad de Educación y Ciencias, Departamento de Biología y Química, Programa de Biología. Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia

components of great benefit in feed. **Keywords:** Bacterial cellulose, corozo tin, *Gluconacetobacter xylinus*, food additives

INTRODUCCIÓN

La celulosa es extraída de las plantas y puede ser sintetizada por diferentes organismos como hongos, algas y bacterias del genero *Agrobacterium*, *Rhizobium*, *Sarcina*, *Acetobacter*, *Salmonella* entre otros (1), siendo muy eficientes las bacterias Gram negativas del género *Acetobacter*, específicamente el *Gluconacetobacter xylinus*, anteriormente conocida como *Acetobacter xylinum* (2).

En la industria alimentaria la celulosa vegetal ha sido utilizada como estabilizante o coadyuvante de procesos (3, 4). La celulosa microbiana puede formar hidrogeles, se consume como postre “nata de coco” en el continente asiático, también como ingrediente alimentario para controlar las propiedades de los alimentos, espesante, estabilizante y gelificante; (5) ya que el producto que contiene celulosa tiene la capacidad de retener humedad al menos por un mes de almacenamiento, es usada como modificador de la textura y debido a su biodegradabilidad es empleada como material para empaques de alimentos, pues no cambia la composición de estos. Se han realizado estudios tendientes al uso de la celulosa bacteriana en matrices cárnicas, obteniéndose resultados favorables referente a la retención de humedad, estabilidad de las masas y aumento del contenido de fibra dietaria sin generar sabores o texturas extrañas cuando se trabaja en proporciones adecuadas (6). La importancia de estudiar la síntesis de este biopolímero permite que se ensayen diversas fuentes de carbono que permitan una producción favorable así como la reducción de costos. Se ha evaluado la producción de celulosa bacteriana en medios compuestos por jugos de naranja, piña, manzana, pera y uva (7).

Los desechos de frutas se han aprovechado para la síntesis de celulosa disminuyendo los costos de producción, como el uso de glicerol restante de la producción de biodiesel y bagazo de uva, residuos de la producción de vino, melaza, extracto de cáscara de café y licor de maíz fermentado (8,9, 10). No existen estudios hasta el momento donde se utilice el corozo de lata en la producción de celulosa, pues este fruto es muy económico y abundante en la costa caribe colombiana.

Este fruto es rico en antocianinas, tiene un contenido de proteína bruta en la pulpa por cada 100 gr de 4,4g y en la cascara de 5.5g, el contenido de fibra cruda de 10.9g y en la cascara de 25g (11), el objetivo de este estudio es utilizar el zumo o concentrado de este interesante fruto como fuente de carbono y evaluar las películas de celulosa bacteriana obtenidas y sus posibles usos en la industria alimentaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico: Se utilizó la cepa silvestre *Gluconacetobacter xylinus* IFO 13693,

Mantenimiento de la cepa: se usó el medio de cultivo Watanabe & Yamanaka modificado (12) con volumen de 100 mL y pH ajustado a 5,6 con NaOH 1.0 M % (v/v), en cultivo estático y a 30°C.

Tratamiento del corozo: Se obtuvo el concentrado de corozo de lata (*Bactris guineensis*) con una despulpadora tipo centrifuga marca Cardín modelo C-60.

Producción de celulosa bacteriana en medios de corozo de lata: se usaron 100 mL de zumo de corozo (*Bactris guineensis*) a concentraciones de 20%, 40% y 60% por triplicado, se adicionó a cada biorreactor: ácido cítrico y fosfato ácido diamónico), el pH fue ajustado a 5,6.

Medición de la producción de celulosa bacteriana: Se midieron los parámetros fisicoquímicos (Grosor, Peso húmedo, peso seco, pH, volumen remanente de medio y compresibilidad (utilizando Budhiono, 1995)

Cuantificación de Glucosa: La glucosa se determinó por el método de glucosa oxidasa/peroxidasa, mediante el Kit Glicemia Enzimática AA, Wiener Lab® (13)

Cuantificación de la fructosa: La fructosa se determinó mediante el kit de ensayo de fructosa (Fructose Assay Kit- Sigma)(14)

Elaboración de carboximetilcelulosa (CMC)- alternativa Industria alimentaria

La celulosa bacteriana se sometió a un proceso de secado con nitrógeno líquido para facilitar su maceración, luego se tamizó y trasladó al horno para secar completamente a 70°C. Utilizando el procedimiento de León (18)

RESULTADOS

Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas de las películas de celulosa formadas y se cuantificó glucosa y fructosa presente en el medio de cultivo

remanente en los días y concentraciones respectivas. Se determinó el grosor de las películas de celulosa formadas en cada uno de los biorreactores a diferentes concentraciones y tiempos de incubación.

Tabla 1. Grosor de las películas de Celulosa Bacteriana

GROSOR			
DIA	CONC. 20%	CONC. 40%	CONC. 60%
3	0,2 mm	0,2 mm	0,3 mm
7	1,3 mm	0,9 mm	0,5 mm
14	1,4 mm	2,1 mm	2,2 mm
21	1,4 mm	2,4 mm	2,6 mm
28	1,5 mm	2,5 mm	2,6 mm

Tabla .2 Peso Húmedo de las películas de Celulosa Bacteriana

PESO HÚMEDO			
DIA	CONC. 20%	CONC. 40%	CONC. 60%
3	2,2 g	2,1g	2,7g
7	9,9 g	7,3 g	4,4 g
14	11 g	12,8 g	13,3 g
21	10,4g	13,8	14,8
28	10,9 g	13,9 g	15,7 g

Después de obtener el peso húmedo, las películas se trasladaron a un horno y se secaron a una temperatura de $60^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ por 6 horas hasta alcanzar un peso constante. A medida que transcurrían los días el peso seco aumentó, siendo directamente proporcional al peso húmedo.

Tabla 3. Peso Seco de las películas de Celulosa Bacteriana

PESO SECO			
DIA	CONC. 20%	CONC. 40%	CONC. 60%
3	0,063 g	0,046g	0,085g
7	0,40 g	0,25 g	0,105 g
14	0,57 g	0,89 g	0,94 g
21	0,56g	0,95g	1,04g
28	0,59 g	0,99 g	1,1g

En relación a la compresibilidad, a los 3 y 7 días de incubación las películas de celulosa fueron del 100% para todas las concentraciones, para el día 14 fue de 13,12% en medio de 20%, 2,66% para la película extraída del medio de 40% y la del medio a 60% fue de 3,92%. Para la tercera semana las compresibilidades de las películas fueron menores, así para el 20 fue 2,56%, y para 40% de

2,73% y 2,4% para el de 60%, lo que evidenció una disminución en la compresibilidad de más del 90%. Para la determinación del consumo de fructosa se utilizó el kit de ensayo de fructosa (Fructose Assay Kit- Sigma) con el fin de cuantificar la fructosa en el medio remanente de cultivo. Por lo que se puede observar en la siguiente tabla el consumo en relación al inicio del proceso.

Tabla 4. Concentraciones de Glucosa y Fructosa al inicio y final de la producción de CB.

Fuente de carbono	Inicial (mg/mL)	28 días (mg/mL)	
Fructosa	20%	1590	819
	40%	1590	773
	60%	1636	864
Glucosa	20%	1363	661
	40%	1363	701
	60%	1389	734

De igual manera se sometió a las películas de celulosa a un proceso de secado con nitrógeno líquido para facilitar su pulverización y tamizado (Figura 1). La finalidad de este procedimiento fue solubilizar la celulosa bacteriana extraída de los sustratos de 60% y conocer las propiedades gelificantes que presenta para la utilización en la industria alimentaria (19).

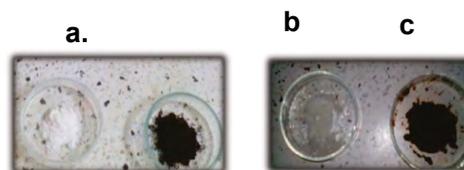


Figura 1. CMC en base a celulosa bacteriana. Celulosa comercial (CMC), b) Celulosa bacteriana, c) Compuestos de celulosa

Al realizar la comparación de las viscosidades entre la CMC comercial y la obtenida a partir de Celulosa bacteriana se obtuvieron resultados similares, se presentó diferencia en el color siendo marrón para la celulosa bacteriana. Como se observa en la tabla 5

Tabla 5. Viscosidad de mezclas preparadas con CMC comercial y CB

Celulosa	Viscosidad (cP)	pH
CMC 2%	100	6,5
CB 2%	90	6,3
CMC 3%	140	6,2
CB 3%	120	6,0

DISCUSIÓN

El uso de la celulosa bacteriana producida en sustrato de corozo es interesante en la industria alimentaria ya que la película absorbe las antocianinas del medio, adicionando componentes antioxidantes de gran utilidad en la alimentación. (14)

Las películas generadas en los sustratos de corozo presentaron un grosor mayor al comparar con el medio tradicional (sacarosa) ya que el medio con corozo aporta nutrientes como vitaminas A, B, C y E; también potasio, calcio, magnesio y sodio. Benéficos para el crecimiento bacteriano y producción de las películas.

Estudios demuestran que en medios con presencia de vitamina C la producción de celulosa es mayor, debido a la disminución en la concentración de ácido glucónico presente en el medio, lo que permite que el pH se mantenga en la zona útil de amortiguamiento. El grosor es mayor en las películas formadas en las tres últimas semanas de incubación, pues hay mayor número de bacterias en los medios de cultivo y mayor consumo de nutrientes, El medio corozo no necesita la adición de suplementos, proporcionando así condiciones favorables para el ahorro de reactivos en su preparación.

En relación al peso húmedo fue mayor en el medio de 20% y se relaciona con la baja viscosidad del medio y las cantidades de nutrientes iniciales disponibles, a diferencia de las concentraciones de 40 y 60% que presentaron menor producción para ese tiempo, Jaramillo y colaboradores atribuyen que a menor viscosidad hay mayor movilidad de la bacteria, mayor crecimiento y por tanto mayor productividad de CB. La viscosidad del medio disminuyó durante el proceso debido al consumo de sustrato. En relación a las películas de celulosa seca (16), Classen y colaboradores evidencian que cuando la fibra es secada, se forman puentes de hidrógeno entre los haces de microfibrillas reduciéndose la cantidad de -OH y de poros disponibles para el alojamiento de las moléculas de agua. Esta característica favorece los procesos de secado, los cuales son importantes en el desarrollo de embalajes para embutidos. (17)

Las películas de celulosa presentan capacidad para retener agua, lo que se evidencia en el uso de ellas en matrices cárnicas, obteniéndose efectos favorables en cuanto a retención de humedad ya que mantienen fresco el alimento

En las últimas semanas la cantidad de fructosa consumida es mayor, mostrando un significativo cambio en relación a la concentración inicial en los medios de cultivo y concentraciones respectivas, como muestra la tabla 4. Los resultados obtenidos de las comparaciones entre CMC en base a celulosa bacteriana y CMC comercial revelan que efectivamente la celulosa bacteriana generada en un sustrato de corozo puede ser utilizada como un agente gelificante y espesante debido a la consistencia pegajosa que se generó cuando se adicionó la CB procesada al agua Figura 1.

CONCLUSIONES

La optimización del medio de cultivo para la producción de celulosa bacteriana donde la mejor concentración es 60%, genera un logro en la economía para la obtención de celulosa por *Gluconacetobacter xylinus*; en primera instancia se logra el mejoramiento de parámetros como cantidad y calidad de la celulosa producida y el uso de la celulosa bacteriana producida en sustrato de corozo es de gran interés en la industria alimentaria ya que la película absorbe las antocianinas del medio, adicionando componentes antioxidantes.

REFERENCIAS

1. Leege R L. Microbial cellulose as a speciality chemical. *Biotechnol. Adv.* 1990; 8: 303-319.
2. Romling U. Molecular Biology of cellulose production in bacteria. *Rev. Microbiology.* 2002; 153: 205-212.
3. Chawla P, Bajaj I, Survase S, Senghal R. Microbial Cellulose: Fermentative Production and Applications. *Food Technology Biotechnology.* 2009 Dic; 47(2): 107-124.
4. Shi Z, Zhang Y, Phillips G, Yang G. Utilization of bacterial cellulose in food. *Food Hydrocolloids.* 2013; 35: 539-545
5. Paximada, Paraskevi, Tsouko, Erminda, Kopsahelis, Nikolaos., Koutinas, Apostolis., Mandala, Ioanna. Bacterial cellulose as stabilizer of o/w emulsions. *Food Hydrocolloids.* 2014 Dic; 1-8.
6. Jipa I M, Stoica-Guzun A, Stroescu M. Controlled Release Of Sorbic Acid From Bacterial Cellulose Based Mono And Multi-layer Antimicrobial Films. *Lwt E Food Science And Technology.* 2012; 47(2): 400-406.
7. Kurosuni A, Sasaki C, Yamashita Y, Nakamura Y. Utilization of various fruit juices as carbon source for production of bacterial cellulose by *Acetobacter xylinum* NBRC 13693. *Carbohydrate Polymers.* 2009; 76: 333-335.
8. Moosavi-Nasab M, Yousefi M. Biotechnological production of cellulose by *Gluconacetobacter xylinus* from agricultural waste: Iran *J Biotech.* 2011. 9(2) 94-101.
9. Williams S, Cannon R. Alternative environmental roles for cellulose produced by *Acetobacter xylinum*: *Appl. Environmental Microbiology.* 1989; 55(810): 2448-2452.
10. Castro C, Zuluaga R, Cleenwerck I, Trcek J, De Vos P, Putaux JL, Gañán P. *Gluconacetobacter medellinensis* sp. nov. cellulose- and non-cellulose producing acetic acid bacteria isolated from vinegar. *Int J Syst Evol Microbiology.* 2013; 63(3): 1119-1125

11. De La Hoz Castilla, P. Corozo. Propuesta de factibilidad para la creación de una empresa comercializadora de derivados de la fruta exótica Corozo. Formulación de Proyectos: Bogotá D.C. Corporación Universitaria Minuto de Dios. 2009. 1-86
12. Watanabe, K. Y Yamanaka, S. Effects of oxygen tension in the gaseous phase on production and physical properties of bacterial cellulose formed under static culture condition. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*. 1995.59 (1):65-68.
13. Rojano, Zapata Y Cortes. Estabilidad de Antocianinas y valores de capacidad de absorción de radicales oxígeno (ORAC) de extractos acuosos de corozo (*Bactris guineensis*). *Revista Cubana de Plantas*. 2012. 17(83): 244-255.
14. Kumar, Mol, Benzegar, Duttatray Y Dinakar. Absorption of anthocyanin dye and its first order kinetics on bacterial cellulose produced by fermentation of black tea. *Journal of Biotechnology and Biochemistry*. 2015.1 (4): 28-32
15. Jaramillo, Perna, Ríos y Escobar. Efecto de la melaza de caña tratada con ácido sulfúrico en la producción de celulosa por *Gluconacetobacter xylinus* IFO 13693. *Revista Colombiana de Química*. 2014. 43(2.)
16. Classen, C., Sultadova, B., Wilhelms T., Heisig, P. Y Kulicke. "Effects of different drying process on the material properties of bacterial cellulose membranes". *Macromolecular Symposia*. 2006, 244: 48-58
17. Keshk Sm. Vitamin C enhances bacterial cellulose production in *Gluconacetobacter xylinus*. En: *Carbohydrater. Polym*. 2014; 99: 98-100.)
18. León, Rieumont, Bordallo, Dopico, Peña. Obtención y caracterización de la celulosa Hidrofóticamente modificad. En: *ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*. 2013 enero; 47(1): 51-56

EVALUACIÓN DE UN ALIMENTO SEMISÓLIDO TIPO MAYONESA A BASE DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) COMO SUSTITUTO PARCIAL POR ACEITE VEGETAL

EVALUATION OF A SEMI-SOLID FOOD MAYONNAISE TYPE BASED PEA (*Pisum sativum* L.) AS A PARTIAL SUBSTITUTE VEGETABLE OIL

Lizeth BARRIOS. Ing.^{1*}, Oswaldo OSORIO M. Ph.D¹, Andrés CERÓN M.Sc. (c)¹, Lucy Marcela FIGUEROA. Ing.¹

RESUMEN

Antecedentes: La arveja (*Pisum sativum* L.) es buena fuente de proteína con aminoácidos esenciales, hidratos de carbono complejos, fibra dietética y micro elementos, lo anterior se vuelve atractivo en la fortificación de alimentos. Debido a esto se adicionó harina de arveja a un alimento semisólido tipo mayonesa. **Objetivo:** Evaluar el efecto de la sustitución de aceite vegetal por harina de arveja en un alimento semisólido tipo mayonesa. **Métodos:** Se utilizaron dos diseños experimentales uno para la formulación empleando un diseño unifactorial categórico en dos niveles completamente aleatorizado, con el fin de determinar el efecto del de la sustitución de aceite vegetal por harina de arveja (100:0, 95:5 y 90:10), se tomó como base la fórmula de la mayonesa NTC 1756, posteriormente se utilizó para el tratamiento térmico un diseño factorial en dos niveles 2² completamente aleatorizado con el fin de determinar el efecto de la temperatura 70 y 90 °C y el tiempo 50 y 60 segundos sobre las variables de respuesta color, sabor, textura y aceptabilidad, comparado con la muestra control conjuntamente para su estabilización se adiciono goma xantana en proporciones de 0,5 y 1 %. **Resultados.** Se determinó que a mejor aceptación del producto fue al 5% harina de arveja con una calificación promedio de 4,26 puntos, en cuanto a la pasteurización la temperatura influyo en el producto ya que a 90°C por 50 y/o 60 s el aceite vegetal se separa de la mezcla descartando este ensayo lo cual se realizó el tratamiento térmico a 70 °C por 50s y la adición de goma xantana en 0,5% ya que a 1% la viscosidad aumenta significativamente.

Conclusiones. Se determinó una formulación adecuada al 5% de harina de arveja y 0,5 % de goma xantana como estabilizante, pasteurizada a 70°C x 50 s.

Palabras clave: *Pisum sativum* L., hipocalórico, tratamiento térmico, estabilidad.

ABSTRACT

Background: The pea (*Pisum sativum* L.) is good source of protein with essential amino acids, complex carbohydrates, dietary fiber and trace elements, he above becomes attractive in food fortification. Because of this pea flour was added to a semi-solid food mayonnaise-type. **Objective:** Evaluate the effect of the substitution of vegetable oil by pea flour in a mayonnaise type semi-solid food. **Methods:** we used two Experimental designs for the first it was used an acategorical univariate completely randomized design on two levels, in order to determine the effect of substitution of vegetable oil for pea flour (100: 0, 95: 5 and 90:10), it was relied formula NTC 1756 for mayonnaise, for the second heat treating we used a design factorial with levels 2² completely randomized in order to determine the effect of temperature 70 and 90 ° C and the time 50 and 60 seconds on the response variables color, flavor, texture and acceptability compared to the control sample for stabilization was added Xanthan gum in proportions of 0.5 to 1%. **Results:** It was determined that the best product acceptance was 5% pea flour, with an average score of 4.26 points, regarding temperature

¹ Grupo de Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario "GAIDA", Facultad Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: lizethb05@hotmail.com

pasteurization influenced because the product at 90 ° C for 50 or 60 s the vegetable oil is separated from the mixture by discarding this assay, due to this the heat treatment was conducted at 70 ° C for 50 s and adding xanthan gum at 0.5%, to 1% the viscosity increases significantly. **Conclusions:** Is determined, a suitable formulation at 5% pea flour and 0.5% xanthan gum as a stabilizer, pasteurized at 70 ° C x 50 s.

Keywords: *Pisum sativum* L., low calorie, thermal treatment and stability.

INTRODUCCION

La arveja (*Pisum sativum* L.), es valorada por su calidad nutricional ya que son ricas en proteínas y carbohidratos, constituyen una buena fuente de fibra y vitaminas(1), se consume de manera fresca, sus preparaciones no son muy variadas, desde la cocción como el método más común hasta la obtención de harinas como materia prima para la elaboración de otros productos de panadería (2), es así como la composición nutricional de la arveja se torna atractiva para ser utilizada como materia prima en la elaboración de un alimentos semisólido tipo mayonesa, ahora bien Cornelia et al (3), menciona que la mayonesa es una emulsión de aceite/agua, producto a base de yema de huevo como emulsionante en su investigación evaluaron la utilización el extracto de semillas de durian encontrando el aumento de aminoácidos esenciales, Magnusson et al (4) estudiaron la estabilidad de congelación de la mayonesa en emulsión aceite y agua, evidenciando que a altas temperaturas el aceite vegetal se separa de la mezcla. El objetivo en esta investigación como se mencionó arriba es evaluar un alimento semisólido a base de arveja (*Pisum sativum* L.) tipo mayonesa, estudiando el efecto de la intensidad del tratamiento térmico en propiedades sensoriales y nutricionales

MATERIALES Y METODOS

Materia prima

Se utilizó arveja (*Pisum sativum* L.) de la variedad Sureña, en condiciones óptimas de calidad. Posteriormente el material se escaldó a 100°C por 54 segundos con el fin de inactivar lipoxigenasa (5), enseguida se llevó a secado a 50°C x 9 h hasta alcanzar humedad del 14%. Seco el material fue molido y tamizado utilizando tamices 80 - 100 A.S.T.M.E. durante 5 min.

Diseño de experimentos

Se utilizó dos diseños experimentales. Uno para la formulación de mayonesa como sustitución parcial de harina de arveja (*Pisum sativum*) y otro para la pasteurización del producto, se realizaron con ayuda del programa Statgraphics centurión © Plus.

Diseño 1. Se utilizó un diseño unifactorial categórico en dos niveles completamente aleatorizado por triplicado para la formulación del producto, Relación: Aceite vegetal: harina de arveja, 100:0, 90:10 y 95:5%, para ello se tomó como base la fórmula de la mayonesa de la NTC 1756 (6) como se indica en la tabla 1, se comparó con la muestra control con el fin de determinar el efecto del contenido de harina de arveja sobre las variables de respuesta color, sabor, textura y aceptabilidad.

Diseño 2. Se utilizó un diseño factorial en dos niveles 2² completamente aleatorizado por triplicado, Temperaturas: 70 y 90 °C y tiempos: 50 y 60 s, con el fin de determinar el efecto de la temperatura y el tiempo sobre las variables de respuesta, propiedades sensoriales (sabor, color, textura y aceptabilidad) (7).

Tabla 1. Formulación para la elaboración de un alimento semisólido e hipocalórico a base de arveja (*Pisum sativum* L.) tipo mayonesa

Materia Prima	Formulaciones		
	0%	60%	55%
Aceite vegetal	65	60	55
Harina de arveja	0	5	10
huevos	3,5	3,5	3,5
Vinagre	7	7	7
Mostaza	1,3	1,3	1,3
Sal	1,3	1,3	1,3
Azúcar	1	1	1
limón	2	2	2
Especias	0,4	0,4	0,4
Agua	18,5	18,5	18,5
Total	100	100	100

Fuente. (6) y (3)

Procedimiento

Se Pesó y midió los ingredientes, se forma una pasta suave y homogénea mezclando el agua, las especias y lo harina de arveja a alta velocidad en una licuadora, se mezcla el vinagre y el jugo de limón luego el emulsificante, se dejar enfriar la mezcla un poco y se continua mezclando a velocidad alta y se empieza a adicionar gota a gota el aceite, (batir

hasta que no se aprecien trazas de aceite antes de adicionar más aceite) hasta adicionar 5 ml, después de esto puede adicionarse el aceite en cantidades aproximadas a 1 ml hasta haber adicionado todo el aceite; al tener una emulsión suave y estable, se envasa el producto.

Evaluación sensorial y proximal

Para determinar el nivel más adecuado de sustitución de la harina de arveja, se realizó una “prueba sensorial de preferencia” con 30 panelistas o jueces consumidores, y comparar las muestras. La prueba de preferencia se evaluó mediante el método de escala Hedónica descrito por Anzaldúa (8), donde se calificaran las siguientes características; color, sabor, textura y aceptabilidad en la cual cada juez eligió entre me gusta mucho (5), me gusta (4), me es indiferente (3), me disgusta (2) y me disgusta mucho (1); el producto con mejores calificaciones se realizó un análisis proximal descrito por Bernal (9), la viscosidad se determinó mediante el viscosímetro digital Brookfield DV3T.

RESULTADOS

Análisis Físico

En el producto se evidencio una separación del aceite vegetal con el aumento de la temperatura figura 1.

Análisis Sensorial

En la figura 2 se muestra la evaluación global de la mayonesa con 0% de Harina de arveja y 5% de harina de arveja, con 0,5 y 1% de goma xantana, sin y pasteurizada, asimismo se evaluó la viscosidad (tabla 2).



Figura 1. Efecto de la pasteurización a alta (90°C) y baja (70°C) temperatura en Mayonesa con 5 % de sustitución de harina de arveja.

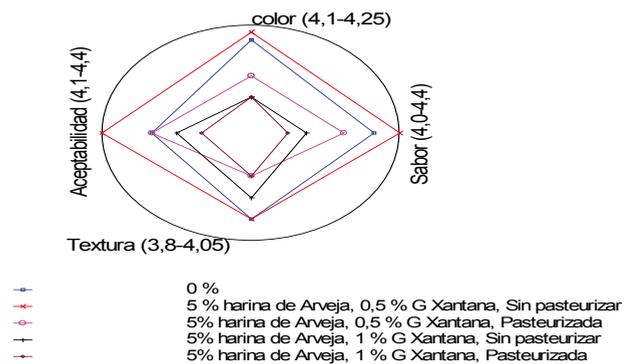


Figura 2. Evaluación global de la mayonesa a base de arveja.

Tabla 2. Efecto de la goma xantana y la pasteurización en cuanto a viscosidad

Muestra	Viscosidad (cP) a 14°C
0%	1833,43 ± 152,75
5% harina de arveja, 0,5% goma Xantana, sin pasteurizar	2165,87 ± 153,39
5% harina de arveja, 0,5% goma Xantana, pasteurizada	2050,00 ± 98,08
5% harina de arveja, 1 % goma Xantana, sin pasteurizar	2404,67 ± 99,03
5% harina de arveja, 1% goma Xantana, pasteurizada	2276,53 ± 76,96

Análisis proximal.

Análisis proximal (g/100g), mayonesa con 5% de sustitución de harina de arveja, 0,5 % goma xantana y sin pasteurizar se encontró: humedad 27,76 ± 1,11, extracto etéreo 60,42 ± 1,80 y proteína de 2,03 ± 0,06.

DISCUSIÓN

Evaluación Física

(4) Encontraron resultados similares al aumentar la temperatura ya que hay una separación del aceite

vegetal como se evidencia en la imagen 1 efecto de la alta temperatura, así mismo se evidencio que la adición de goma xantana aumenta significativamente la viscosidad del producto sin embargo en la pasteurización disminuía sin ser significativo así mismo lo reporta (10) donde la viscosidad disminuía a medida que aumentaba el porcentaje de sustitución con otro tipo de aceite, en este caso adición de goma xantana y harina de arveja, en este sentido la goma aumento la estabilidad y la estructura de la mayonesa ya que se evitó la separación de las fases (11).

Evaluación sensorial

La mayonesa con sustituto harina de arveja demostró ser aceptables en cuanto sabor, color, textura y aceptabilidad, igualmente la consistencia de mayonesa preparada con 0,5 y 1% con goma xantana y pasteurizadas y sin pasteurizar fueron similares a las de la mayonesa control como se evidencia en la gráfica 1, de la misma forma (11) encontró similitud en la mayonesa con goma xantana y almidón de arroz.

Análisis proximal

Cornelia et al (3) en su estudio con semillas de durian reportan valores de proteína de 0,16 y mayonesa comercial 0,5, evidenciando la proteína más alta en este estudio obteniendo 2,03, siendo un producto nutricional, la viscosidad del producto incrementaba con 0,5% de goma xantana pasteurizada a sin pasteurizar y la mayonesa con 1% de goma aumentaba considerablemente descartando los productos con esta cantidad de goma, obteniendo así una aceptación por la mayonesa con 0,5 % sin pasteurizar igualmente Ghoush et al (12) encontró viscosidades desde 1000 hasta 7000 cP sustituyendo el emulsificante, sin embargo Productos Nestle (13) en su patente dice que la mayonesa va desde los 1600 hasta 2500 cP.

CONCLUSIONES

Se determinó una formulación adecuada al 5% de harina de arveja y 0,5 % de goma xantana como estabilizante, pasteurizada a 70°C x 50 s, demostrando tener una gran aceptabilidad.

AGRADECIMIENTOS.

A la Universidad de Nariño, al Sistema General de Regalías por la aprobación del proyecto BPIN 20120001100188, al Grupo de Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario-GAIDA.

BIBLIOGRAFIA

1. Wang S, Sharp P, Copeland L. Structural and functional properties of starches from field peas. *Food Chem.* 2011; 126(4): 1546-52.
2. Alisano M, Andrich O, Sabbag N, Costa S, de la Torre M SH. Panificación con harina de arvejas (*Pisum sativum*) previamente sometidas a inactivación enzimática. *Arch Latinoam Nutr.* 2008; 58(5): 397-402.
3. Cornelia M, Siratantri T, Prawita R. The Utilization of Extract Durian (*Durio zibethinus* L.) Seed Gum as an Emulsifier in Vegan Mayonnaise. *Procedia Food Sci.* Elsevier Srl. 2015; 3: 1-18.
4. Magnusson E, Rosén C, Nilsson L. Freeze-thaw stability of mayonnaise type oil-in-water emulsions. *Food Hydrocol.* Elsevier Ltda. 2011; 25(4): 707-15.
5. Icier F, Yildiz H BT. Peroxidase inactivation and colour changes during ohmic blanching of pea puree. *J Food Eng.* 2005; 424-9.
6. ICONTEC. INDUSTRIAS ALIMENTARIAS. MAYONESA. (NTC 1756) Bogota. 1996.
7. Guilmineau F, Kulozik U. Influence of a thermal treatment on the functionality of hen's egg yolk in mayonnaise. *J Food Eng.* 2007; 78(2): 648-54.
8. A. AM. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica: en lengua española. Acribia, S A. 1994;123-57.
9. Bernal I. Análisis de alimentos. Ed Bogota. 199 58-60 p.
10. Thaiudom S, Khantarat K. Stability and rheological properties of fat-reduced mayonnaises by using sodium octenyl succinate starch as fat replacer. *Procedia Food Sci.* 2011; 1: 315-21.
11. Mun S, Kim YL, Kang CG, Park KH, Shim JY, Kim YR. Development of reduced-fat mayonnaise using 4GTase-modified rice starch and xanthan gum. *Int J Biol Macromol.* 2009; 44: 400-7.
12. Ghoush MA, Samhoury M, Al-Holy M, Herald T. Formulation and fuzzy modeling of emulsion stability and viscosity of a gum-protein emulsifier in a model mayonnaise system. *J Food Eng.* 2008; 84(2): 348-57.
13. S.A., SOCIETE DES PRODUITS NESTLE - Isern Jara J. Conjunto para producto alimenticio que comprende un tubo conteniendo un producto de por los menos dos constituyentes. Of ESPAÑOLA P at y MARCAS. 1995;ES 2 153 3(2 153 393):1-5.

EFECTO DE LA FERMENTACIÓN CON *RHIZOPUS ORYZAE* SOBRE EL CONTENIDO DE ALMIDÓN Y OTROS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE GRANOS DE SORGO

EFFECT OF SOLID STATE FERMENTATION BY *RHIZOPUS ORYZAE* ON SORGHUM GRAINS STARCH CONTENT AND OTHER PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS

Carlos CEBALLOS-GONZÁLEZ^{1*}, Oscar MONTES-GÁLVEZ¹, Liliana LONDOÑO-HERNÁNDEZ M.Sc.¹, Cristina RAMÍREZ-TORO Ph.D.¹, Germán A. BOLÍVAR Ph.D.²

RESUMEN

Antecedentes: El efecto de la fermentación sólida de granos de cereales con hongos de la especie *Rhizopus oryzae* sobre el contenido de almidón, proteínas y azúcares totales ha sido estudiado por muy pocos autores, aun siendo estos aspectos de suma importancia para la viabilidad de la implementación de tecnologías fermentativas en la industria de alimentos. **Objetivos:** El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fermentación de granos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) con *Rhizopus oryzae* (MUCL 28168), sobre el contenido de almidón y otros parámetros fisicoquímicos (pH, proteína, azúcares totales y la producción de dióxido de carbono). **Métodos:** Se evaluó el efecto de la temperatura (28, 32 y 36°C) sobre el contenido de almidón de los granos de sorgo después de 32 horas de fermentación en bio-reactores en columnas tipo Raimbault. Se escogió el nivel de temperatura que permitió obtener la mayor degradación de proteínas y se llevó a cabo una cinética de fermentación de 32 horas. Cada 4 horas se evaluó el valor del pH, el contenido de almidón, proteínas, azúcares totales y la producción de dióxido de carbono. **Resultados:** Se encontró que el hongo *R. oryzae* (MUCL 28168) fue capaz de degradar mayor cantidad de almidón estando expuesto a la temperatura límite de su rango óptimo de crecimiento y que tiene la capacidad de llevar a cabo una Fermentación y Sacarificación Simultánea (SSF), ya que el contenido de azúcares totales aumentó tenuemente durante la mayor parte

del tiempo de tratamiento. El contenido de proteínas aumentó hasta las 28 horas de fermentación, luego de lo cual presentó un descenso acompañado de un aumento en el valor del pH. La respiración del hongo medida como producción de CO₂ aumento incesantemente durante todo el proceso fermentativo, indicando que se desarrolló y mantuvo su actividad metabólica durante las 32 horas de fermentación. **Conclusiones:** La fermentación sólida de granos de sorgo con *R. oryzae* (MUCL 28168) tuvo un efecto significativo en los diferentes parámetros fisicoquímicos estudiados.

Palabras clave: Fermentación, sorgo, almidón, proteína, azúcares totales.

ABSTRACT

Background: The effect of solid state fermentation by *Rhizopus oryzae* on cereal grains starch content, protein and total sugar has been studied by few researchers, but there are too important aspects about the feasibility of applying fermentative technologies in food industry. **Objectives:** The objective of this study was to evaluate the effect of fermentation by *Rhizopus oryzae* (MUCL 28168) on sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) starch content and other physicochemical parameters (pH value, protein, total sugar and carbon dioxide production). **Methods:** The effect of temperature (28, 32 y 36°C) on sorghum starch content after 32 hours of fermentative process on Raimbault columns was evaluated. The best temperature was chosen to

¹ Escuela de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle. Cali, Colombia.

² Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad del Valle. Cali, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: carlos.ceballos.g@correounivalle.edu.co

perform a fermentation kinetic for 32 hours. Every 4 hours the pH value, starch content, protein, total sugar and carbon dioxide production were determined. **Results:** *R. oryzae* (MUCL 28168) was able to reduce starch content much better at 36°C and it had the capacity to perform a Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF), as the total sugar content increased dimly during most of the fermentation time. **Conclusions:** The solid state fermentation by *R. oryzae* (MUCL 28168) had a significant effect on the physicochemical parameters studied.

Keywords: Fermentation, sorghum, starch, protein, total sugar.

INTRODUCCIÓN

El sorgo es uno de los cereales más comunes en el mundo y en la mayoría de los países se destina principalmente para alimentación animal (1). En los últimos años ha cobrado interés su uso para la alimentación humana, perfilándose como una materia prima potencial para la producción de bebidas y alimentos; interés que se debe principalmente a su bajo costo de producción, resistencia a la sequía, características nutricionales, actividad antioxidante, entre otros (2, 3).

La fermentación en estado sólido (SSF), se define como el crecimiento de microorganismos en medios húmedos, donde el agua está retenida en el sustrato y no fluye libremente (4). A diferencia de la fermentación líquida, ésta resulta simple, económica y de bajo costo energético (5). El uso de SSF se extiende desde la producción de aromas/sabores y enzimas (6), hasta la degradación de factores anti-nutricionales como taninos, saponinas, etc., presentes en muchos alimentos (6, 7, 8). Entre los microorganismos usados para la SSF se encuentra el *Rhizopus oryzae*, el cual produce un conjunto de enzimas que juegan un papel crucial en la hidrólisis del almidón y otros compuestos químicos, dando lugar a ácido láctico, etanol, entre otros, que cumplen un papel importante en la conservación de los alimentos (9).

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la fermentación sólida de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) con *Rhizopus oryzae* (MUCL 28168), sobre el contenido de almidón y otros parámetros fisicoquímicos (pH, contenido de proteínas, azúcares totales y producción de CO₂).

MATERIALES Y MÉTODOS

Adecuación de la materia prima

Se utilizaron granos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) que pasaron a través de la malla N° 16 de la serie Tyler (diámetro de partícula igual a 1.00 mm).

Preparación del inóculo

Para inocular las muestras de sorgo se utilizó Tane-koji. Éste se elaboró incorporando las esporas en suspensión del *R. oryzae* (MUCL 28168), en una concentración de 7×10^7 esporas/mL en arroz integral. Una vez el hongo creció y esporuló, se licuó dicha matriz y se almacenó en un frasco hermético para su posterior uso.

Fermentación del sorgo a tres temperaturas distintas

Se utilizaron columnas de fermentación (bio-reactor en columnas tipo Raimbault) para fermentar el sorgo, incorporando en cada columna una mezcla de 70 g de sorgo seco, 28 g de agua y 1 g de Tane-koji. Todas las columnas se introdujeron en baño de agua termo-regulado y cada una fue expuesta a un flujo de aire de 80 mm³ durante 32 horas. Se evaluó la pérdida de almidón transcurridas 32 horas de fermentación, en función de tres niveles de temperatura: 28°C, 32°C y 36°C. La cinética de fermentación se realizó con la temperatura que permitió obtener mayor porcentaje de pérdida de almidón.

Cinética de fermentación

Se realizó bajo las condiciones descritas en el ítem anterior. Cada 4 horas se extrajo una columna de fermentación del baño de agua termo-regulado y se midieron los parámetros fisicoquímicos de interés en este estudio.

Determinación del pH

Se suspendió 1 g de sorgo en 10 mL de agua destilada durante 20 minutos, conforme a la AOAC 943.02/90 y se efectuó la lectura del pH con un pHmetro (Thermo Scientific Orion StarTM, Estados Unidos).

Contenido de proteínas

Se elaboró por el método de Lowry modificado (Hartree, 1972) (10). Se construyó una curva patrón a partir de las lecturas de absorbancia a 750 nm de

una solución de seroalbúmina bovina a diferentes concentraciones.

Contenido de azúcares totales

Los azúcares totales se determinaron por el método de Dubois et al. (1956) (11). Se pesaron 10 g de la muestra en 90 mL de agua destilada estéril, la mezcla se homogenizó y se dejó a 5 °C durante 12 h, al cabo de este tiempo se centrifugó a 3000 rpm por 10 minutos, el sobrenadante se separó y se diluyó en agua destilada, y se procedió conforme al método citado.

Cuantificación de almidón

El método se diseñó con base en la NTC-4566 (12). Se removieron los azúcares presentes en la muestra mezclando con etanol y centrifugando a 2500 rpm durante 5 minutos. Posteriormente, se realizó la extracción y rompimiento de la molécula de almidón usando ácido perclórico al 52% y centrifugando bajo las condiciones mencionadas anteriormente. Seguidamente se realizó la dilución correspondiente en agua destilada y se procedió conforme al método mencionado para la cuantificación de azúcares totales, con las siguientes variaciones: la muestra no se congeló ni centrifugó, y la lectura de la densidad óptica a 630 nm. El resultado se reemplazó en la ecuación de la recta de la curva patrón elaborada con glucosa anhidra, se despejó la ecuación, se multiplicó por el factor dilución y por 1.06, que corresponde al factor de conversión de dextrosa en almidón (12).

Cuantificación del dióxido de carbono (CO₂) producido por el hongo

Se siguió el método expuesto por Barrera-Gómez (2006) (13) con algunas modificaciones. Se llenó una columna pequeña con sílica-gel y se conectó a uno de los bio-reactores, la cual a su vez se enlazó a un Erlenmeyer que contenía hidróxido de bario 0.2 N. Cada cuatro horas se extrajo una muestra de 10 mL de la solución hidróxido de bario del Erlenmeyer y se diluyó en 50 mL de agua, se adicionaron tres gotas de fenolftaleína y se tituló con ácido oxálico 0.1 N. Se calculó la cantidad de CO₂ producido como intensidad respiratoria, conforme al método citado.

Análisis estadístico

La elección de la temperatura más adecuada para llevar a cabo la cinética de fermentación se realizó

con base en un ANOVA de un solo factor y una prueba Tukey, con un nivel de confianza del 95%, utilizando Minitab 16. La evaluación de las correlaciones de Pearson entre los parámetros estudiados se hizo con el mismo software y nivel de confianza. Todos los análisis hicieron por triplicado.

RESULTADOS

Efecto de la temperatura

Los porcentajes de pérdida de almidón de los granos de sorgo fermentados con *R. oryzae* (MUCL 28168), en función de la temperatura a la que se mantuvo el proceso fermentativo, se presentan en la Tabla 1.

La temperatura de fermentación tuvo un efecto significativo en el porcentaje de pérdida de almidón, con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$). La prueba de comparación de Tukey indicó que el porcentaje de pérdida de almidón a 36°C fue estadísticamente diferente a los otras dos.

Tabla 1. Efecto de la temperatura en el porcentaje de pérdida de almidón

Temperatura (°C)	Pérdida de almidón (%)
28	30,01 ^a
32	22,8 ^a
36	47,94 ^b

Valores medios seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales ($p > 0.05$).

Cambios en el valor del pH y contenido de proteínas

Las representaciones gráficas del cambio en el valor del pH y el contenido de proteínas del sorgo a lo largo del proceso fermentativo se muestran en la Figura 1.

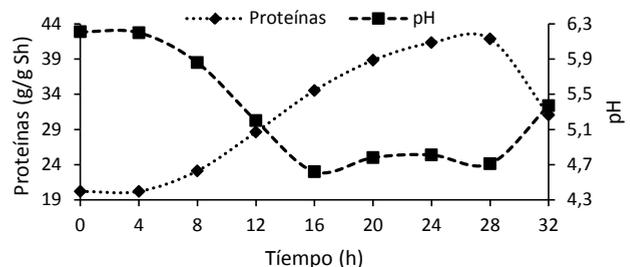


Figura 1. Cambios en el pH y el contenido de proteínas (g/ g de Sorgo húmedo).

Porcentaje de pérdida de almidón y contenido de azúcares totales

Las curvas correspondientes al porcentaje de pérdida de almidón y contenido de azúcares totales de los granos de sorgo, a lo largo del proceso de fermentación, se presentan en la figura 2. Se puede observar un valor máximo de 43.78% de almidón degradado, respecto al contenido inicial (191.57 mg/g de Sorgo húmedo).

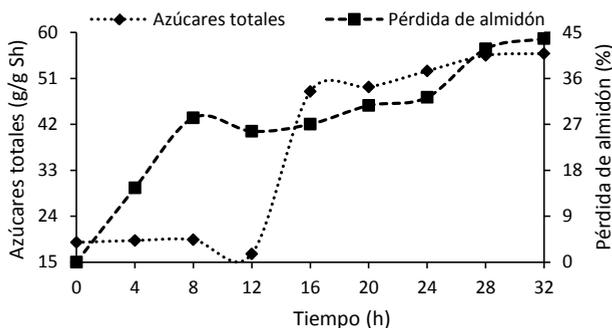


Figura 2. Porcentaje de pérdida de almidón y contenido de azúcares totales (g/g Sorgo húmedo).

Producción de dióxido de carbono (CO₂)

La producción de dióxido de carbono por parte del *R. oryzae* (MUCL 28168) se presenta en la figura 3.

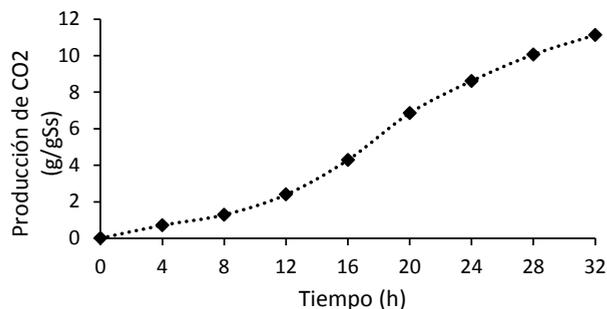


Figura 3. Producción de dióxido de carbono (g/g Sorgo seco).

DISCUSIÓN

Dado que la prueba de comparación de Tukey indicó que el proceso fermentativo a 36°C presentaba diferencia significativa con respecto a las otras dos temperaturas, se decidió realizar la cinética de fermentación bajo esa condición.

Ciertos autores reportan que la temperatura óptima de crecimiento para los hongos de la especie *R. oryzae* oscila alrededor de 30°C (14), no obstante, el

R. oryzae (MUCL 28168) presentó mayor eficiencia a 36°C. Esto pudo haber sido causado por factores como el tipo de sustrato en el que creció y la genética propia del microorganismo (14). Lo anterior concuerda con lo reportado por Huang et al., (2005) (15), que estudiaron la fermentación de residuos de almidón de papá con *R. oryzae* y encontraron que el microorganismo degradó mayor cantidad de almidón a 40°C.

La acidez aumentó durante las primeras 16 horas de fermentación la (Figura 1), debido posiblemente a la actividad de las proteasas y amilasas producidas por el hongo *R. oryzae* (MUCL 28168) (9, 16), cuando actúan sinérgicamente dan lugar a la formación de ácidos y gas amoníaco, produciendo una eventual decadencia del valor de pH y un posterior ascenso del mismo, tal como reportaron Nnam & Obiakor (2011) (17), en su investigación sobre la fermentación de semillas de baobab, registrando un aumento del pH entre las 24 y 48 horas de fermentación.

Transcurridas cuatro horas desde el inicio de la fermentación y hasta las 24 horas, el contenido de proteínas aumentó drásticamente, ya que probablemente en dicho espacio de tiempo el microorganismo en cuestión empezó a producir metabolitos que degradaron los taninos, liberando las proteínas que se encontraban adheridas a ellos. Esto concuerda con lo reportado por Nnam & Obiakor (2011) (17), que registraron un aumento en el contenido de proteínas durante las primeras 24 horas de fermentación y una disminución del contenido de taninos, atribuyéndolo a la degradación de estos últimos a sustancias simples por la acción de la enzima polifenol oxidasa y al rompimiento del complejo tanino-proteína.

Entre las 28 y 32 horas de fermentación se registró un descenso del contenido de proteínas, dado a que probablemente en ese espacio de tiempo el hongo cambió su metabolismo y empezó a producir altas cantidades de enzimas proteolíticas, para obtener nutrientes a partir de las proteínas (18).

El fuerte aumento en el porcentaje de pérdida de almidón durante las primeras 8 horas pudo ser ocasionado por la actividad amilolítica del hongo, acompañada de una activa degradación de los sacáridos resultantes, en un fenómeno denominado Fermentación y Sacarificación Simultánea, o (SSF) por sus siglas en inglés (15, 19); razón por la que la degradación del almidón a oligosacáridos no tuvo un efecto perceptible en el contenido de azúcares totales (Figura 2). Posteriormente, a las 12 horas

de iniciado el proceso, se registró un aumento en el contenido de azúcares totales, acompañado a su vez por una disminución de la tasa de degradación de almidón, debido probablemente al rompimiento del complejo ácido tánico-almidón (17), dejando libre una cantidad considerable de este último que no se perdió en la extracción de compuestos polifenólicos con etanol, cuando se adecuó la muestra en el proceso de cuantificación de almidón. Es importante anotar que dicho aumento en el contenido de almidón también pudo ser el resultado de la degradación de las kafirinas presentes en los granos de sorgo, proteínas que también forman complejos con ese polisacárido (20, 21).

De la figura 3 se puede analizar que el hongo produce CO₂ mientras se encuentre metabolizando algún tipo de compuestos (8), por lo que se puede afirmar que la respiración es una variable de respuesta que permite predecir la actividad metabólica del microorganismo en cuestión, y cuya pausa podría indicar que el hongo ya no tiene a disposición de nutrientes. Los resultados de la producción de CO₂, presentaron una correlación de Pearson con el contenido de proteínas, azúcares totales y el porcentaje de pérdida de almidón igual 0.817, 0.925 y 0.861, respectivamente.

CONCLUSIONES

La temperatura óptima de crecimiento de un hongo no siempre será el valor intermedio dentro dicho rango, como es el caso del *R. oryzae* (MUCL 28168), ya que ésta se verá afectada por diversos factores tales como la composición del sustrato y la genética propia del hongo.

La fermentación sólida de granos de sorgo con *R. oryzae* (MUCL 28168) tuvo un efecto significativo en los diferentes parámetros fisicoquímicos estudiados, ocasionando una disminución importante en el contenido de almidón, y un aumento en la concentración de proteínas y azúcares totales presentes en los granos.

BIBLIOGRAFÍA

- Mehmooda I, Orhanb Z, Ahsanc S, Asland M. Gulfraya Fatty acid composition of seed oil of different *Sorghum bicolor* varieties. Food Chemistry. 2008; 109(4): 855-59.
- Cardoso L M, Montini T A, Pinheiro S S, Pinheiro-Sant'Ana H M, Martino H S, Moreira A.V. Effects of processing with dry heat and wet heat on the antioxidant profile of sorghum. Food Chemistry. 2014; 152(1): 210-217.
- Lemlioglu-Austin D, Turner N D, McDonough C M, Rooney LW. Effects of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] crude extracts on starch digestibility, estimated glycemic index (EGI), and resistant starch (RS) contents of porridges. Molecules. 2012; 17(9): 11124-11138.
- Lonsane B, Ramesh M. Production of bacterial thermostable α -amylase by solid-state fermentation: a potential tool for achieving economy in enzyme production and starch hydrolysis. Adv Appl Microbiol. 1990; 35: 1-5.
- Wang L, Yang S. Solid-state fermentation and its applications, en: Yang, S., Bioprocessing for value-added products from renewable resources. ELSEVIER. 2007.
- Couto S, Ángeles M. Application of solid-state fermentation to food industry-A review. Journal of Food Engineering. 2006; 76: 291-302.
- Shekib L. Nutritional improvement of lentils, chick pea, rice and wheat by natural fermentation. Plants Food for Human Nutrition. 1994; 46: 201-205.
- Chen H. Modern solid state fermentation: theory and practice. Springer. 2013.
- Wang P, Zhang F. Study on the Novel Strain *Rhizopus Oryzae* ATCC2809's Growth and Fermentation. International Journal of Scientific Engineering and Research. 2013; 1(3).
- Hartree E.F. Determination of protein: a modification of Lowry method that gives a linear photometric response. Analytical biochemistry. 1972; 48 (2): 422-427.
- Dubois M, Gilles K A, Hamilton J K, Rebers P A, Smith F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry. 1956; 28 (3): 350-356.
- ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación). NTC-4566: Productos cárnicos. Determinación del contenido de almidón (métodos de referencia). ICONTEC. 2009.
- Barrena R. Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento de procesos. Barcelona. 2006.
- Carrillo M L, Zavala D, Alvarado B. Modelado del efecto de la temperatura, actividad de agua y pH sobre el crecimiento de *Rhizopus oryzae*. Información Tecnológica. 2007; 18(4): 57-62.
- Huang L, Bo J, Paul L, Jiti Z. Simultaneous saccharification and fermentation of potato starch wastewater to lactic acid by *Rhizopus oryzae* and *Rhizopus arrhizus*. Biochemical Engineering Journal. 2005; 23(3): 265-276.
- Aikat K, Bhattacharyya B. Protease extraction in solid state fermentation of wheat bran by a local strain of *Rhizopus oryzae* and growth studies by the soft gel technique. Process Biochemistry. 2000; 35(9): 907-914.
- Nnam N, Obiakor P. Effect of fermentation on the nutrient and antinutrient composition of baobab (*Adansonia digitata*) seeds and rice (*Oryza sativa*) grains. Ecology of Food and Nutrition. 2011; 42(4-5): 265-277.
- Zhang Z, Jin B, Kelly J. Production of lactic acid from renewable materials by *Rhizopus* fungi. Biochemical Engineering Journal. 2007; 35(3): 251-263.
- Gonzalez K, Tebbani S, Lopes F, Thorigné A, Givry S, Dumur D, Pareau D. Modeling the continuous lactic acid production process from wheat flour. Biotechnological products and process engineering. 2016; 110: 147-159.
- Ezeogu L I, Duodu K G, Taylor J R. Effects of endosperm texture and cooking conditions on the in vitro starch digestibility of sorghum and maize flours. Journal of Cereal Science. 2005; 42: 33-44.
- Sullins R, Rooney L, Riggs J. Physical changes in the kernel during reconstitution of sorghum grain. Cereal Chem. 1971; 48: 567-575.

OPTIMIZACIÓN DE UN SUSTRATO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE *Lactobacillus casei subsp. rhamnosus* EMPLEANDO RESPUESTAS MÚLTIPLES

MULTIPLE RESPONSE OPTIMIZATION OF SUBSTRATE FOR PRODUCTION OF BIOMASS OF *Lactobacillus casei subsp. Rhamnosus*

Vladimir VALLEJO-CASTILLO M.Sc. PhD. (c)^{1*}, Viviana RÚALES-GUZMÁN M.Sc. PhD. (c)², Milena GUERRERO-FLÓREZ M.Sc. PhD. (c)³; Oscar BURBANO-FIGUEROA M.Sc.⁴

RESUMEN

Antecedentes: La composición y actividad de los microorganismos son responsables de funciones metabólicas de barrera e interacciones con el huésped. En este sentido, las bacterias ácido lácticas como el *Lactobacillus casei subsp. rhamnosus* se han usado para producir una variedad de productos fermentados y sus metabolitos conducen a obtener alimentos de alta calidad, menos perecederos y con características organolépticas propias, contribuyendo a posibles beneficios nutricionales en la salud tales como el mejoramiento de la digestión de lactosa. **Objetivos:** Optimizar un sustrato de suero lácteo en polvo y miel de panela para la producción de biomasa de *Lactobacillus casei subsp. rhamnosus* empleando respuestas múltiples. **Métodos:** Se optimizó un sustrato de miel de panela y suero en polvo a través del método de superficie de respuesta y respuestas múltiples, evaluando la producción de biomasa, la aceptación global (análisis sensorial) y el análisis económico. **Resultados:** Se obtuvo un medio óptimo final compuesto por 131,284g/L de suero lácteo, 7,485g/L de miel de panela y 9,36g/L de carbonato de calcio. Este medio presentó una biomasa de $2,91 \times 10^9$ bact/mL, calificación de 0,57 en análisis sensorial y un costo de \$1427L de sustrato. **Conclusiones:** La optimización de respuestas múltiples permitió encontrar valores predichos para la variable de respuesta producción de biomasa

con un error menor al 8 % en comparación a los experimentales.

Palabras clave: Optimización, respuesta múltiple, suero lácteo, panela.

ABSTRACT

Background: The composition and activity of the microorganisms are responsible for metabolic barrier functions and interactions with the host. Here, the lactic acid bacteria such as *Lactobacillus casei subsp. rhamnosus* have been used to produce a variety of fermented products and its metabolites lead to obtain high quality food, less perishable and organoleptic characteristics own, contributing to possible nutritional health benefits such as improved digestion of lactose. **Objectives:** Optimize substrate whey powder and brown sugar syrup for the production of biomass of *Lactobacillus casei subsp. rhamnosus* using multiple answers. **Methods:** a substrate honey brown sugar and whey powder was optimized through the response surface method and multiple responses, assessing biomass production, global acceptance (sensory analysis) and economic analysis. **Results:** a final optimal medium composed 131,284g/L whey 7,485g/L of honey and brown sugar 9,36g/L of calcium carbonate was obtained. This means presented a biomass $2,91 \times 10^9$ bact/mL, rating 0,57 in sensory analysis and cost \$1,427.85/L substrate. **Conclusions:** Multiple Response Opti-

¹ Estudiante Doctorado en Ingeniería con Énfasis en Ingeniería de Alimentos. Escuela de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle. Cali, Colombia.

² Estudiante Doctorado en Ingeniería: Industria y Organizaciones. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

³ Profesora Departamento de Biología. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. Estudiante Doctorado en Biotecnología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

⁴ Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: vladimir.vallejo@correounivalle.edu.co

mization allowed to find predicted values for the response variable biomass production with an error of less than 8% compared to the experimental.

Keywords: Optimization, multiple answer, whey, panela.

INTRODUCCIÓN

El *Lactobacillus casei subsp. rhamnosus* es una de las bacterias más estudiadas in vitro e in vivo por su efecto benéfico en la salud, debido, a su acción contra *Salmonella* (1) y rotavirus precursores de diarrea (2), enfermedad considerada como un problema de salud muy frecuente en cualquier parte del mundo y particularmente significativa en países en vía de desarrollo como en el caso de Colombia. Por lo tanto, es de interés optimizar un sustrato para la producción de su biomasa de *Lactobacillus casei subsp. rhamnosus* de manera rentable y con una adecuada aceptación sensorial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Optimización de respuestas individuales

La composición del sustrato se optimizó para la producción de biomasa empleando un diseño experimental 3^2_{3-1} fraccional factorial de tres niveles (3), evaluando las variables de respuesta correspondientes a producción de biomasa, análisis sensorial y económico.

Los factores empleados fueron suero lácteo como fuente principal de proteína y carbonato de calcio como regulador de pH (tabla 1). Se empleó miel de panela como fuente de carbono con una cantidad estable de 7,5 g debido a que en ensayos preliminares se encontró que valores superiores influyen negativamente en la producción de biomasa (4).

Para el análisis de este diseño experimental se empleó el software Statgraphics ® Plus 5.1, teniendo en cuenta que se debía maximizar las variables de respuesta producción de biomasa y el análisis sensorial y minimizar el análisis económico.

Tabla 1. Niveles y factores experimentales.

Factor	Nivel		
	-1	0	+1
Suero Lácteo (A)	69	138	207
Carbonato de Calcio (B)	7	14	21

Métodos analíticos

Producción de biomasa. Se utilizó una cepa crioconservada de *Lactobacillus casei subsp. rhamnosus*. La activación de la cepa se realizó en caldo Man, Rogosa y Sharpe (MRS BROTH Scharlau, España) se incubó por 24 horas a 37°C y resiembra en las mismas condiciones. Se realizó una fermentación en discontinuo en las condiciones anteriores, utilizando sustrato de leche descremada-miel de panela y a continuación se determinó la cantidad de bacterias/mL (bact/mL) de acuerdo a la metodología de Ruales-Guzmán *et al.* 2007 (4).

Análisis económico. Se tuvo en cuenta el costo de la materia prima e insumos asociados a la producción de biomasa del *Lactobacillus casei subsp. rhamnosus*.

Análisis sensorial. Se utilizó una escala hedónica verbal y gráfica de 5 puntos (5), con el fin de evaluar la aceptación global del sustrato fermentado.

Optimización de respuestas múltiples

Se asignó una ponderación a cada una de las respuestas que se evaluaron, a la biomasa se le asignó un ponderado de 50 %, debido a que se debe asegurar una cantidad alta de bacterias para garantizar que el producto tenga el efecto deseado, en cuanto a la aceptación global se le asignó una ponderación del 35 %, teniendo en cuenta que el consumidor final busca un producto con un buen sabor. El peso asignado al análisis económico fue el más bajo 15%, ya que el consumidor final, no le importaría el precio siempre y cuando se garantice un producto de excelentes características organolépticas y funcionales.

RESULTADOS

Optimización de respuestas individuales

De acuerdo al análisis de varianza para biomasa (tabla 2), se observó que el efecto de las variables (Suero y Carbonato de Calcio) sobre la respuesta (biomasa) y el efecto de la leche en polvo y del carbonato de calcio al cuadrado presentan un valor de P menor a 0,05 lo que indica el efecto significativo sobre la variable de respuesta. Para el caso del lack of fit es mayor a 0,05, por lo tanto el diseño planteado para este caso es el adecuado para los datos obtenidos, con un 95% de nivel de confianza. Para las variables de respuesta económica y sensorial los factores estudiados tienen un efecto significativo sobre cada una de las respuestas como se observa en la figura 1.

Tabla 2. Análisis de varianza para biomasa.

Fuente	Suma cuadrados	Grados Libertad	Cuadrados medios	Valor F	Valor p (0,05)
A:Suero	2,091*10 ¹⁷	1	2,09067*10 ¹⁷	4181,33	0,0098
B:Carbonato	4,002*10 ¹⁶	1	4,00167*10 ¹⁶	800,33	0,0225
AA	3,048*10 ¹⁶	1	3,04762*10 ¹⁶	609,52	0,0258
AB	2,250*10 ¹⁴	1	2,25*10 ¹⁴	4,50	0,2804
BB	1,120*10 ¹⁶	1	1,12012*10 ¹⁶	224,02	0,0425
Lack-of-fit	6,649*10 ¹⁵	3	2,21627*10 ¹⁵	44,33	0,1084
Pure error	5,000 *10 ¹³	1	5,000 *10 ¹³		

El coeficiente de determinación (r^2) fue de 97,805 %, 96,890% y 94,457% para la biomasa, económico y sensorial respectivamente, indicando que el modelo de superficie de respuesta explica en un alto porcentaje el comportamiento de cada variable de respuesta.

La tabla 3 muestra la combinación de niveles de los factores, los cuales maximizan la producción de biomasa, el análisis sensorial y minimizan el análisis económico. Con estos resultados para biomasa, análisis sensorial y económico, se determinó el sustrato óptimo mediante el análisis estadístico para la optimización de respuestas múltiples.

Tabla 3. Respuestas óptimas para cada variable.

Respuesta	Valor óptimo Respuesta	Valor óptimo Carbonato (g)	Valor óptimo Suero (g)
Biomasa	3,011*10 ⁹ (bact/mL)	9,56	195,77
Sensorial	0,585	7,60	174,56
Económico	\$ 758,13	7	69

Optimización de respuestas múltiples.

La tabla 4 muestra los niveles altos y bajos para deseabilidad, el objetivo para cada respuesta, y el peso asignado para cada una de ellas.

Tabla 4. Optimización de respuestas múltiples.

Respuesta	Deseabilidad		Meta	Peso	Impacto
	Alta	Baja			
Biomasa	2,490*10 ⁹	2,990*10 ⁹	Maximizar	5,0	3,0
Económico	758,13	2250,77	Minimizar	3,5	3,0
Sensorial	0,48	0,58	Maximizar	1,5	3,0

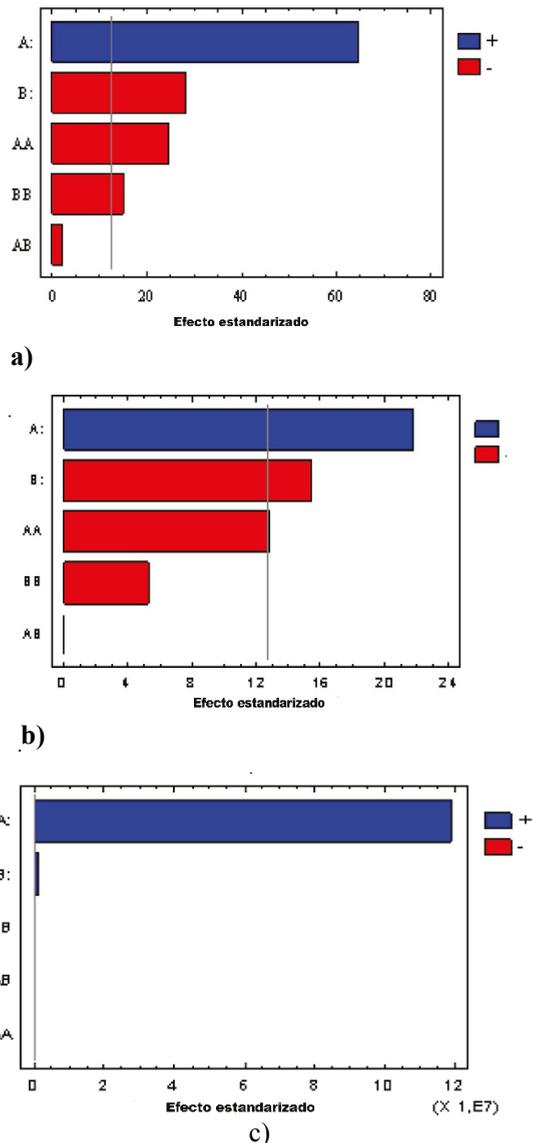


Figura 1. Diagramas de Pareto para el diseño experimental. a) Biomasa, b) Sensorial, c) económico.

En la figura 2a y 2b se puede observar que la mejor respuesta se encuentra en la combinación de 131,284 y 9,361 g para los factores suero y carbonato de respectivamente, con una deseabilidad de

0,361. El valor óptimo para la respuesta múltiple fue, biomasa $2,91 \times 10^9$ Bact/mL, análisis económico \$1427,85 por litro, y análisis sensorial de 0,572.

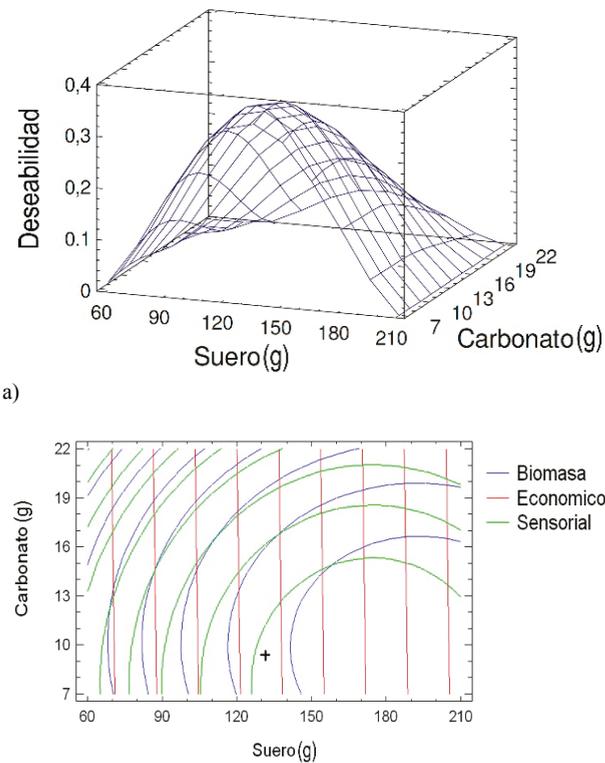


Figura 2. a) Superficie de respuesta múltiple; b) contornos estimados para la respuesta múltiple.

Evaluación del sustrato óptimo.

En la figura 3 se puede observar que la producción de biomasa se comienza a estabilizar a partir de las 4 horas hasta el tiempo de cosecha en donde alcanza una concentración de $2,68 \times 10^9$ Bact/mL, este valor es muy similar al predicho por la optimización de respuestas múltiples acertando en aproximadamente 92 %, respecto al valor experimental.

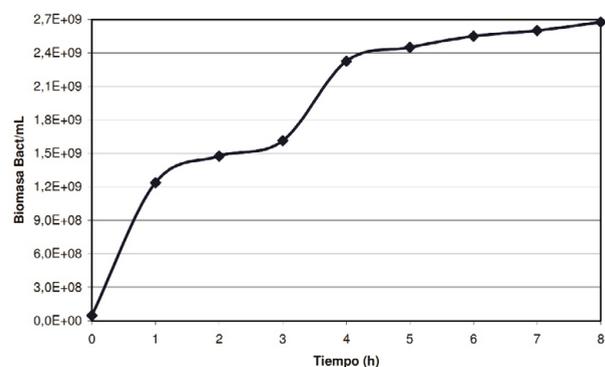


Figura 3. Formación de biomasa (Bact/mL) de *Lactobacillus casei subsp. rhamnosus* en el sustrato optimizado.

DISCUSIÓN

El suero lácteo se considera un sustrato adecuado para el crecimiento de bacterias ácido lácticas debido a su alto contenido de proteínas lacto séricas como las albuminas y globulinas, niveles elevados de lisina y triptófano, variedad en el contenido de sales minerales y vitaminas y equilibrio de aminoácidos sulfurados debido al contenido elevado de cistina (6), por lo tanto es un sustrato adecuado para el crecimiento de bacterias ácido lácticas. También, la adición de suero al sustrato confiere una mejor viscosidad, mejora la producción de ácidos y no produce cambios significativos en el sabor (7) little information is available on the challenges industry faces in adding these probiotic cultures to food products. The aim of this article is to examine seven issues that should be addressed when developing functional foods: 1. La producción de biomasa de *Lactobacillus casei subsp. rhamnosus* utilizando el sustrato óptimo no presentó una alta aceptación sensorial por lo que se recomienda la adición de colorantes y saborizantes en el desarrollo del producto.

CONCLUSIONES

La metodología de optimización de respuestas múltiples permitió encontrar valores predichos para la variable de respuesta producción de biomasa con un error menor al 8 % en comparación a los experimentales y, también con una adecuada aceptación sensorial y costo razonable, por lo tanto esta metodología es adecuada para su aplicación en procesos de fermentación con bacterias ácido lácticas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Fang HW, Fang S Bin, Chiau JSC, Yeung CY, Chan WT, Jiang C Bin, et al. Inhibitory effects of *Lactobacillus casei subsp. rhamnosus* on *Salmonella* lipopolysaccharide-induced inflammation and epithelial barrier dysfunction in a co-culture model using Caco-2/peripheral blood mononuclear cells. *J Med Microbiol.* 2010; 59(5): 573-9.
2. Provencio D. Caracterización de factores de adhesión a proteínas de la matriz extracelular en *Lactobacillus Casei*. Universidad Politécnica de Valencia. 2011.
3. Leal-Sánchez M V, Jiménez-Díaz R, Maldonado-Barragán A, Garrido-Fernández A, Ruiz-Barba JL. Optimization of bacteriocin production by batch fermentation of *Lactobacillus plantarum* LPCO10. *Appl Environ Microbiol.* 2002; 68(9): 4465-71.
4. Ruales-Guzmán B, Vallejo-Castillo V. Producción de biomasa de *Lactobacillus casei subsp. rhamnosus* empleando diferentes tipos de sustratos. Universidad de Nariño; 2007.
5. Anzaldúa-Morales A. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. España: Editorial Acribia. 1994.
6. Livney YD. Milk proteins as vehicles for bioactives. *Curr Opin Colloid Interface Sci.* Elsevier Ltd; 2010; 15(1-2): 73-83.
7. Champagne CP, Gardner NJ, Roy D. Challenges in the addition of probiotic cultures to foods. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2005; 45(1): 61-84.

EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y LA VELOCIDAD DE ROTACION DE TORNILLOS SOBRE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UNA PELÍCULA FLEXIBLE BIODEGRADABLE

EFFECT OF TEMPERATURE AND SCREW ROTATION SPEED ON MECHANICAL PROPERTIES OF A BIODEGRADABLE FLEXIBLE FILM

William Vicente GUERRERO PALACIOS¹, Giovanni Alejandro VARONA BELTRÁN^{1*},
Diego Fabián JOAQUI DAZA¹, Héctor Samuel VILLADA CASTILLO^{1**}

RESUMEN

Antecedentes: En los últimos 10 años se ha incrementado el uso de plásticos biodegradables como alternativa para mitigar los problemas ambientales generados por los plásticos sintéticos derivados del petróleo. Una de materia prima renovable y económica utilizada para la elaboración de plásticos biodegradables es el almidón. El almidón al ser mezclado con un agente plastificante y sometido a altas temperaturas y fuerzas de cizalla se transforma en almidón termoplástico, principal precursor en el desarrollo de empaques biodegradables al mezclarse con otro tipo de polímeros biodegradables como el ácido poliláctico (PLA), pueden ser utilizadas en el embalaje de alimentos, textiles, cosméticos, entre otros. **Objetivo:** Evaluar el efecto del cambio de la temperatura y la velocidad de rotación de los tornillos del proceso de extrusión, sobre las propiedades mecánicas de películas flexibles elaboradas con almidón termoplástico (TPS) mezclado con ácido poliláctico (PLA). **Metodos:** Se realizó un diseño experimental en donde se evaluaron tres perfiles de temperatura y tres velocidades de rotación de tornillos para obtener TPS en el extrusor de doble husillo. Posteriormente se mezclaron el TPS y el PLA para obtener la película flexible, en esta etapa se emplearon tres perfiles distintos de temperatura. Finalmente a la película flexible, se le evaluaron las propiedades mecánicas de tensión como esfuerzo, elongación y módulo de elasticidad. **Resultados:** Se encontró que las condiciones ideales del proceso

para obtener el TPS en el extrusor de doble husillo, fueron: velocidad de rotación de los tornillos de 180 rpm; un perfil de temperatura promedio de 134.43 °C, mientras que para la obtención de la película flexible el perfil de temperatura promedio de soplado con los resultados más sobresalientes fue de 158.52 °C. Las propiedades mecánicas obtenidas más sobresalientes fueron: esfuerzo máximo a la tensión 9.73MPa, elongación máximo en el punto de rotura 42.80% y módulo de elasticidad de 690.74MPa. **Conclusión:** Se encontró que el aumento de la temperatura y la velocidad de rotación de los tornillos en la extrusión de doble tornillo para obtener TPS, permitió obtener los mayores valores en esfuerzo y módulo de elongación.

Palabras clave: Biopolímero, almidón termoplástico, ácido poliláctico, extrusión doble tornillo, películas flexibles.

ABSTRACT

Background: In the last 10 years has increased the use of biodegradable plastics as an alternative to mitigate the environmental problems generated by synthetic plastics derived from petroleum. A renewable and economic used to make biodegradable plastics raw material is starch. The starch to be mixed with a plasticizer and subjected to high temperatures and shear forces becomes thermoplastic starch main precursor in developing biodegradable packaging when mixed with other biodegradable polymers such as polylactic acid (PLA), can be

¹ Grupo de investigación Ciencia y Tecnología de Biomoléculas de Interés Agroindustrial (CYTBIA). Departamento de agroindustria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.

* alejovar@unicauca.edu.co

** PhD. Docente del Departamento de Agroindustria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia

used in food packaging, textiles, cosmetics, among others. **Objectives:** Assess the effect of change of temperature and rotation speed of the screws in the extrusion process, the mechanical properties of flexible films made with thermoplastic starch (TPS) mixed with polylactic acid (PLA). **Methods:** It was performed an experimental design in which three temperature profiles and three rotational speeds of screws to obtain the TPS in the twin screw extruder. Subsequently, the TPS and the PLA were mixed to obtain the flexible film, in this stage three different temperature profiles were used. Finally the flexible film, it was evaluated the mechanical properties such as tensile stress, elongation and modulus of elasticity. **Results:** It was found that the optimum process conditions for the TPS in the twin screw extruder were: speed of rotation of the screws of 180 rpm; a profile of average temperature of 134.43 ° C, while for flexible film obtaining the average temperature profile blowing with outstanding results was 158.52 ° C. The outstanding mechanical properties obtained were: maximum tensile strength 9.73MPa, maximum elongation at break and 42.80% modulus of 690.74MPa. **Conclusions:** It was found that increasing temperature and speed of rotation of the screws in the twin screw extrusion for TPS, yielded values greater effort and in extender module.

Keywords: Biopolymer, thermoplastic starch, polylactic acid, twin screw extrusion, flexible films.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día se está realizando un gran esfuerzo por desarrollar materiales eco-amigables y biodegradables. En este contexto, el almidón es una alternativa a los materiales sintéticos, debido a su fácil disponibilidad, bajo precio y biodegradabilidad (1). El almidón tiene una pobre capacidad de procesamiento y debe ser plastificado antes de mezclarse con otros polímeros biodegradables, en la mayoría de la literatura los polioles (glicerol, glicol, sorbitol y azúcares) se utilizan como plastificantes para el almidón (2). Para lograr un mezclado adecuado del almidón con el plastificante se debe aplicar energía termomecánica en un proceso continuo (3,4), como resultado de este mezclado se obtiene un almidón termoplástico (TPS, por sus siglas en inglés) presentando alta sensibilidad al agua, dado que esta estructura termoplástica presenta una alta higroscopicidad que limita las aplicaciones porque las propiedades

mecánicas disminuyen y las propiedades de barrera son bajas. Por tal motivo, algunos investigadores han estudiado mezclas de TPS con otros polímeros biodegradables, como el ácido poliláctico (PLA) (5,6), con el fin de mejorar propiedades mecánicas y de barrera (7) con la condición de incluir algún tipo de agente acoplante, (8,9). El proceso de extrusión es el más utilizado para la obtención de películas flexibles ya que permite realizar mezclas homogéneas de los materiales que se procesen por extrusión de doble tornillo, como el co-rotacional y contrarrotacional (10). En esta investigación se evaluó el efecto del cambio del perfil de temperatura y la velocidad de rotación de los tornillos del proceso de extrusión, sobre las propiedades mecánicas de películas flexibles elaboradas con almidón termoplástico (TPS) y ácido poliláctico (PLA).

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Almidón de yuca, suministrado por Amtex Colombia. Ácido poliláctico (Referencia 4032D) suministrado por Cargill Dow Polymers LLC (USA). Glicerol grado analítico (99.5% de pureza), provisto por DISAN S.A (Cali-Colombia), anhídrido maleico (99% de pureza, Merck).

Obtención del almidón termoplástico (TPS)

Se mezcló almidón seco de yuca con glicerol en una relación almidón/glicerol 70:30. La mezcla fue plastificada en un extrusor de doble husillo de 16mm de diámetro, relación L/D 25:1 EXPANDIBLE A 40:1, de marca THERMO SCIENTIFIC Haake Rheomex OS PTW 16/25 OS, empleando un dado de cordón y una boquilla con 3 mm de diámetro en su abertura, las temperaturas y las velocidades de rotación de tornillo se muestran en la tabla 1.

Obtención del PLA injertado

Se mezcló el ácido poliláctico (PLA), anhídrido maleico (AM) y el agente iniciador, en un extrusor de tornillo simple marca Thermo Scientific, modelo Haake PolyLab OS (Alemania), provisto con un barril de un diámetro de 19 mm, una relación de compresión 5:1 y proporción L/D de 25, perfil de temperatura promedio de 177,5 °C con velocidad de tornillo de 30 rpm, y una boquilla de 3mm de diámetro y posteriormente se pelletizó el cordón.

Obtención de la película flexible de TPS y PLA

En este estudio se midieron las propiedades mecánicas módulo de elasticidad o de Young (MPa), esfuerzo máximo a la tensión (MPa) y elongación máxima (%), en sentido longitudinal y transversal. Previamente se mezclaron los pellets de TPS y el PLA injertado en una proporción de 72/28, se procesaron en un extrusor monohusillo marca Thermo Scientific, modelo Haake PolyLab OS (Alemania) a una velocidad de 35 rpm y tres perfiles de temperatura promedio de 152.52, 155.52 y 158.52 °C.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Para estas mediciones se empleó una máquina universal de ensayos marca Shimadzu modelo EZ-L, siguiendo la norma ASTM D882-10, que establece el procedimiento para ejecutar la prueba de tensión en películas.

Análisis estadístico. El diseño factorial de ³ planteado se presenta en el Tabla 1. Para el análisis estadístico se empleó el software SPSS versión 21, en el cual se realizó un análisis de varianza (ANOVA), comprobada previamente la normalidad de los datos para establecer diferencias significativas entre cada tratamiento. Se realizaron pruebas de comparaciones múltiples T3 de Dunnett.

Tabla 1. Diseño experimental de las condiciones de proceso para la obtención de una película flexible

Factor	Nivel	Variable de respuesta
Perfil de temperatura para cordón de TPS (TT)	128,43 °C	Esfuerzo elongación y módulo de elasticidad en tensión
	131,43 °C	
	134,43 °C	
Velocidad de rotación de los tornillos para cordón de TPS (VT)	120 rpm	
	150 rpm	
	180 rpm	
Perfil de temperatura para extrusión soplado (TS)	152,25 °C	
	155,25 °C	
	158,25 °C	

1-2-3. Velocidad 120rpm y Temperatura 128,41°C. 4-5-6, Velocidad 150rpm y Temperatura 131,41°C. 7-8-9 Velocidad 180rpm y Temperatura 134,41°C en extrusión de doble tornillo. Los números ,1- ,2 - ,3 corresponde a la temperatura de soplado de: 152,25 – 155,25 – 158,25 °C

RESULTADOS

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y realizado el análisis estadístico, se optó por elegir el tratamiento 9.3 (ver figura 1), como el más sobresaliente, ya que mostró el valor más alto para el esfuerzo en sentido longitudinal (9,73 ± 2.07MPa) y de los valores superior en sentido transversal (8,26 ± 0,63MPa). En cuanto a la elongación presenta un valor intermedio en sentido longitudinal y transversal (42,80 ± 16,28% - 30,69 ± 13,99%). Para el módulo de elasticidad, se identificó que el tratamiento 9.3 es el que presenta los mayores valores tanto en sentido longitudinal como transversal (690,74 ± 93,06MPa y 519,07 ± 91,36MPa respectivamente). Adicionalmente a estos resultados, se realizó la producción de una muestra patrón, la cual tiene como particularidad que el TPS se obtuvo en un extrusor de tornillo simple y en la tabla 2, se muestra los resultados.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de tratamiento escogido vs patrón

Variables	Sentido	Tratamientos	
		9,3	Patrón
Resistencia máxima a la tensión (MPa)	Longitudinal	9,734 ± 2,074	5,894±0,811
	Transversal	8,255 ± 0,632	3,073 ±0,368
Elongación máxima (%)	Longitudinal	42,801 ± 16,284	15,698 ± 3,435
	Transversal	30,685 ± 13,990	6,146 ± 0,734
Módulo de elasticidad (MPa)	Longitudinal	690,744 ± 93,061	326,677 ± 54,290
	Transversal	519,072 ± 91,365	98,914 ± 12,454

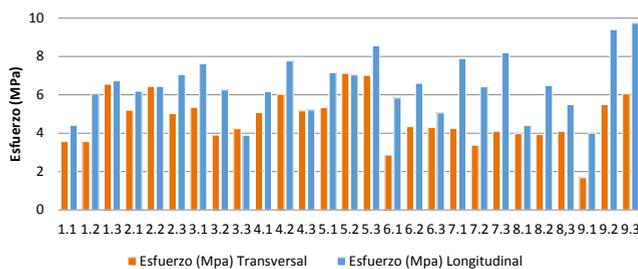


Figura 1. Esfuerzo para los tratamientos en sentido longitudinal y transversal. 1-2-3. Velocidad 120rpm y Temperatura 128,41°C. 4-5-6, Velocidad 150rpm y Temperatura 131,41°C. 7-8-9 Velocidad 180rpm y Temperatura 134,41°C en extrusión de doble tornillo. Los números ,1- ,2 - ,3 corresponde a las temperatura de soplado de: 152,25 – 155,25 – 158,25 °C

DISCUSIÓN

Propiedades mecánicas de tensión

Los resultados obtenidos (ver figura 1) muestran que en la mayoría de los tratamientos las propiedades en sentido longitudinal son superiores a las obtenidas en sentido transversal, lo cual se puede deber a la orientación de las moléculas de almidón que conforman la película flexible (11), la cual se realiza en sentido longitudinal, por el contrario la orientación en sentido transversal solo la realiza el proceso de soplado y de ahí la diferencia en los valores de las propiedades. Los resultado obtenido permitieron identificar al igual que Bernal *et al.*, (12) y Enríquez *et al.*, (13) que a una velocidad de tornillo baja, la resistencia máxima a la tensión es menor y ésta tiende a aumentar a medida que la velocidad de cizalla aumenta como se muestra en la figura 1, por su parte Brandelero *et al.*, (14) le dan gran importancia a la velocidad, ya que el incremento en la resistencia en sentido longitudinal, se produjo debido a la alineación molecular promovida por la fuerza de tensión que se genera cuando el almidón es sometido a mayor cizallamiento, esto conlleva a una mayor compresión y baja rigidez en su fase lo que se traduce en una reducción de fracturas o poros, por tal motivo el tratamiento 9,2 y 9,3 extruidos a 180 rpm fueron los que presentaron mayores valores en esta propiedad. En la tabla 2, se observa que el tratamiento 9.3 presentó mayores valores que los obtenido por la muestra patrón, debido al uso del extrusor de doble tornillo promovió una mezcla más uniforme y una mayor compactación del almidón con el plastificante (15), otro razón por la cual el tratamiento 9.3 tiene valores superiores al patrón es por el uso de altas temperatura y alto cizallamiento, lo cual disminuye el tamaño de los gránulos de almidón generando interacciones fuertes dando como resultado mayores valores en cuanto a la resistencia máxima a la tensión (6).

AGRADECIMIENTOS.

Esta investigación fue realizada en el marco del proyecto Investigación y desarrollo de empaques biodegradables, por lo cual los autores agradecen al Sistema General de Regalías – SGR por la financiación del proyecto y a las entidades ejecutoras (Gobernación del Cauca, Universidad del Cauca y la Corporación Clayuca) por el acompañamiento en la investigación.

CONCLUSIONES

Se puede afirmar que la obtención del TPS en un extrusor de doble husillo haciendo uso de altas velocidad de rotación de los tornillos y altas temperaturas, confiere mayores valores en el esfuerzo y módulo de elasticidad a diferencia de los obtenidos en un extrusor mono husillo. Esta diferencia permite hacer uso de la película como empaque de productos con un peso aproximado de un (1) kg. Si se tiene en cuenta los valores bajos en elongación, se podría aconsejar el uso de esta película como recubrimiento para textiles.

REFERENCIAS

- Schmitt H, Guidez A, Prashantha K, Soulestin J, Lacrampe M F, Krawczak P. Studies on the effect of storage time and plasticizers on the structural variations in thermoplastic starch. *Carbohydrate polymers*. 2015 Jun 22; 115: 364-372.
- Qiao Xiuying, Tang Zhongzhu, Sun Kang. Plasticization of corn starch by polyol mixtures. *Carbohydrate Polymers*. 2011 Ene 22; 83(2): 659-664.
- Schmitt H, Prashantha K, Soulestin J, Lacrampe M F, Krawczak P. Preparation and properties of novel melt-blended halloysite nanotubes/wheat starch nanocomposites. *Carbohydrate polymers*. 2012 Jul 1; 89(3): 920-927.
- Schmitt, H., Prashantha, K., Soulestin, J., Lacrampe, M. F., Krawczak, P., & Raquez, J. M. Processing and Mechanical Behaviour of Halloysite Filled Starch Based Nanocomposites. *Advanced Materials Research*. 2012 Oct 1; 584(1): 445-449.
- Sarazin P, Li G, Orts WJ, Favis B D. Binary and ternary blends of polylactide, polycaprolactone and thermoplastic starch. *Polymer*. 2008 Ene 21; 49 (2): 599-609.
- Arboleda G A, Montilla C E, Villada H S, Varona G A. Obtaining a Flexible Film Elaborated from Cassava Thermoplastic Starch and Polylactic Acid. *International Journal of Polymer Science*. 2015 Jul 21; 2015: 1-9.
- Serna L, Albán F. Ácido poliláctico (PLA): Propiedades y aplicaciones. *Revista Ingeniería y Competitividad*. 2011; 5(1): 16-26.
- Zhang J F, Sun X. Mechanical properties of poly (lactic acid)/starch composites compatibilized by maleic anhydride. *Biomacromolecules*. 2004 May 29; 5(4): 1446-1451.
- Carmona V, Corrêa A, Marconcini J, Mattoso L. Properties of a Biodegradable Ternary Blend of Thermoplastic Starch (TPS), Poly (ε-Caprolactone) (PCL) and Poly (Lactic Acid)(PLA). *Journal of Polymers and the Environment*. 2015 Jun 24; 23(1): 83-89.
- Shahzad A. Mechanical Properties of Eco-friendly Polymer Nanocomposites. *Eco-friendly Polymer Nanocomposites*. 2015 Jun 23; 75(1): 527-559.
- Kanai T, Campbell G. *Polymer Processing*. Society Progress in Polymer Processing Series. Hanser Publishers, Munich. 2014.
- Benal M, Diaz S. Variación de los tiempos de fermentación de almidón agrio y de la velocidad de rotación del tornillo de un extrusor de uso sencillo en la obtención de almidón termoplástico. *Facultad Ciencias agrarias*. 2005 Mar 8; 3(1): 8-13.
- Enríquez C M, Velasco M R, Ortiz G V. Películas biodegradables basadas en almidón. *Biocología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2012 Ene-Jun; 10(1): 182-192.
- Brandelero R, Grossmann M, Yamashita F. Effect of the method of production of the blends on mechanical and structural properties of biodegradable starch films produced by blown extrusion. *Carbohydrate Polymers*. 2011 Ago 30; 86(3): 1344-1350
- Saleh M F, Dhenge R M, Cartwright J J, Hounslow M J, Salman A D. Twin screw wet granulation: Binder delivery. *International journal of pharmaceutics*. 2015 Jun 20; 487(1-2): 124-134.

DISEÑO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO PARA EL ENLATADO DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) DE DOS VARIEDADES SUREÑA Y ALCALÁ

DESIGN HEAT TREATMENT FOR CANNED PEA (*Pisum sativum* L.) TWO CULTIVARES SUREÑA AND ALCALA

William DIAZ L. M.Sc.^{1*}, Andrés CERÓN C. M.Sc. (c).¹, Oswaldo OSORIO M. PhD.¹

RESUMEN

Antecedentes: En el año 2012 se realizó el lanzamiento de dos nuevas variedades de arveja (Alcalá y Sureña) aptas agrónomicamente para el departamento de Nariño. Sin embargo, poco se conoce sobre su aptitud para procesamiento agroindustrial. Dentro de las alternativas agroindustriales existentes las arvejas en conserva se destacan, por ser uno de los productos más consumidos por la población. No obstante, para diseñar un proceso térmico (esterilización) es necesario encontrar las combinaciones de tiempo y temperatura adecuados, que permitan la repetitividad del proceso, asegurando la esterilidad comercial del producto. **Objetivo:** Diseñar el tratamiento térmico (esterilización) para el enlatado de arveja (*Pisum sativum* L.) de dos variedades Alcalá y Sureña. **Métodos:** Se utilizaron semillas de arveja (Alcalá y Sureña) en estado seco. Las semillas se rehidrataron durante 12 horas utilizando semillas: agua 1:4 (p/ v). Para el tratamiento térmico se utilizó una autoclave vertical con vapor saturado. Los datos de tiempo y temperatura obtenidos, se analizaron mediante el método de Ball utilizando un Fo de 3.0 min a una temperatura de referencia de 121.1 °C y un valor de Z de 10 °C correspondiente a *Clostridium botulinum*. **Resultados:** El punto frío de los envases se ubicó en el tercio inferior. Los tiempos de esterilización para las temperaturas de 119, 120 y 121 °C fueron: variedad Alcalá (32.74, 28.79 y 27.43 min) y variedad Sureña (30.20, 26.41 y 25.45 min) respectivamente. No obstante, se observó un comportamiento atípico en el incremento de temperatura en la autoclave,

ocasionando que el tiempo para alcanzar la temperatura de referencia se ha de dos a tres veces más que al utilizar autoclaves industriales. De otra parte, los resultados proximales mostraron que la variedad Alcalá presentó un 2.14% más de sólidos totales que la variedad Sureña. **Conclusión:** Se determinó un incremento en el tiempo de esterilización de la variedad Alcalá respecto de Sureña para las temperaturas de 119, 120 y 121 °C en: 8.41, 9.01 y 7.78%.

Palabras clave: *Pisum sativum*, alcalá, sureña, ball, esterilización.

ABSTRACT

Background: In 2012 the launch of two new varieties of pea (Alcalá and Sureña) agronomically suitable for the department of Nariño was performed. However, little is known about its ability to agroindustrial processing. Within existing agroindustrial alternatives canned peas stand, as one of the products most consumed by the population. However, to design a thermal process (sterilization) is necessary to find suitable combinations of time and temperature, enabling repeatability of the process, assuring the commercial sterility of the product. **Objective:** To design the heat treatment (sterilization) for canned pea (*Pisum sativum* L.) of two cultivares Alcalá and Sureña. **Methods:** Pea seeds (Alcalá and Sureña) were used in the dry state. The seeds were rehydrated for 12 hours using seeds: water 1: 4 (w / v). For a vertical heat treatment with saturated steam autoclave it was used. The time and temperature data obtained were analyzed by the Ball method using an Fo of 3.0 min at a reference

¹ Grupo de investigación de apoyo a la investigación y desarrollo agroalimentario (GAIDA). Facultad Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: Wadl82@hotmail.com

temperature of 121.1 °C and a value of Z 10 C° corresponding to *Clostridium botulinum*. **Results:** The cold point of the containers are placed in the lower third. Sterilization times for temperatures of 119, 120 and 121 °C were: cultivar Alcalá (32.74, 28.79 and 27.43 min) and cultivar Sureña (30.20, 26.41 and 25.45 min) respectively. However, atypical behavior was observed in the temperature rise in the autoclave, causing the time to reach the reference temperature is two to three times more than when using industrial autoclaves. Moreover, the proximal results showed that the cultivar Alcalá presented a 2.14% total solids over the cultivar Sureña. **Conclusions:** An increase determined in the sterilization time cultivar Alcalá on Sureña to temperatures of 119, 120 and 121 °C: 8.41, 9.01 and 7.78%

Keywords: *Pisum sativum*, alcalá, sureña, sterilization.

INTRODUCCIÓN

La arveja (*Pisum sativum* L.) es uno de los principales cultivos comestibles en el mundo (1) es fuente de proteínas, carbohidratos y vitaminas (2). En Colombia la producción se concentra en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Tolima y Nariño (3). Siendo este último el principal productor (4). En dicho departamento en el año 2012 se realizó el lanzamiento de dos nuevas variedades Alcalá y Sureña aptas agrónomicamente para el departamento (5). Sin embargo, poco se conoce sobre su aptitud en el procesamiento agroindustrial. Mayer et al., (6) resaltan que arvejas secas remojadas enlatadas son una de las conservas más consumidas por la población. La NTC 4434 (7) las define como un producto que se elabora a partir de semillas secas, las cuales deben ser envasadas en un recipiente apto, con un medio de cobertura apropiado y sometido a esterilización para asegurar su conservación. Sin embargo. La esterilización no es un proceso selectivo (8) por lo que las pérdidas del valor nutricional y sensorial del alimento son inherentes al proceso. Siendo necesario, conocer los parámetros del tratamiento térmico como la zona de calentamiento más lenta dentro del envase (9). Awuah, Ramaswamy & Economides (10) en su estudio titulado “El proceso térmico y calidad: los principios y visión general” presentan los conceptos y ecuaciones para el cálculo del tiempo de proceso termico. En este sentido, el objetivo de esta investigación fue diseñar el tratamiento térmico (esterilización) para el enlatado de

arveja (*Pisum sativum* L.) de dos variedades Sureña y Alcalá, asegurando la esterilidad comercial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Se utilizó semillas de arveja (*Pisum sativum* L.) de la variedad Alcalá y Sureña, en estado seco con humedad entre 16 y 17 % (base húmeda). El material se inspeccionó de acuerdo a la norma técnica colombiana NTC 791 (11) solo se utilizó semillas con diámetro promedio mayor a 6.35 mm. Posteriormente los materiales fueron sometido a caracterización proximal utilizando la metodología descrita por Bernal (12) mediante la cual se realizó: ceniza, extracto etéreo, fibra cruda, proteína y carbohidratos.

Rehidratación

Se utilizó la metodología descrita por Cerón et al., (4) mediante la cual se empleando un secador de bandejas a una temperatura de 45 °C con velocidad de aire de 2 m/s durante 6 horas, hasta lograr una humedad del 14%. Posteriormente, se realizó la rehidratación de los materiales utilizando agua en relación semillas/agua 1:4 (p/v) por espacio de 12 horas hasta alcanzar el equilibrio (humedad de equilibrio 56- 58%).

Formulación líquido de cobertura

Se utilizó agua destilada a la cual se le adicionó una solución al 3 % NaCl y 3 % sacarosa.

Tratamiento térmico

Se utilizó la metodología descrita por Garrote et al., (13) con algunas modificaciones. El material rehidratado fue seleccionado y escaldado a 100 °C por 1 minuto. Se utilizó latas de 65 x 102 mm las cuales fueron llenadas con 165 g de arveja y completadas con líquido de cobertura (temperatura del líquido 92- 95 °C) hasta obtener espacios de cabeza de 8 mm aproximadamente. Enseguida se llevó a cabo el exhausting por 0.5 minutos a 92-95 °C y se realizó el sellado hermético de las latas con una cerradora Julius M.J. Las latas se colocaron en un autoclave All American Epps modelo 75X donde se realizó la esterilización hasta obtener un producto comercialmente estéril. Posteriormente el producto fue enfriado en agua a 4 °C hasta alcanzar una temperatura promedio de 40 °C.

Diseño tratamiento térmico

Se utilizó la metodología descrita por Awuah et al., (10) mediante el uso del metodo de Ball (ecuación 1). La determinación del punto frio dentro de los envases se realizó ubicando termocuplas a tres niveles, tomando como referencia el centro de los envases para luego ubicarlas un tercio por encima y un tercio por debajo de este punto. La toma de datos se realizó con un equipo EXTECH model SDL 200 el cual se programó para registrar la temperatura a intervalos de 10 segundos. El registro de datos comenzó cuando la temperatura de los envases alcanzo los 65 °C.

$$B = fh \left[\frac{Jh (Tr - Ti)}{g} \right] \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde: B. Tiempo del proceso (min); fh: velocidad de penetración de calor; Jh: Factor de retraso de calentamiento; Tr: temperatura autoclave; Ti: temperatura inicial del producto; g: diferencia temperatura autoclave y temperatura final producto.

RESULTADOS

Análisis proximal

En la tabla 1 se muestra la composición proximal de las dos variedades. La variedad Alcalá presento mayor cantidad de solidos totales superando a la variedad Sureña en 2.14%.

Tabla 1. Análisis químico proximal (g /100 g solido seco).

Variedad	Característica				
	Ceniza	Extracto Etéreo	Fibra cruda	Proteína	Carbohidratos
Alcalá	3.07±0.42	1.60±0.18	6.33±0.82	22.80±2.90	66.57±8.93
Sureña	2.93±0.39	1.67±0.25	6.04±0.72	21.09±3.34	67.80±8.34

Valores promedio (n = 3) ± Desviación Estándar

Determinación punto frio

En la figura 1 se muestra la identificación del punto frio dentro de los envases de hojalata para las dos variedades de arveja, este se ubicó sobre el eje longitudinal del tercio inferior. Así mismo, se observó que la variedad Alcalá tarda más tiempo en alcanzar la temperatura de operación (esterilización).

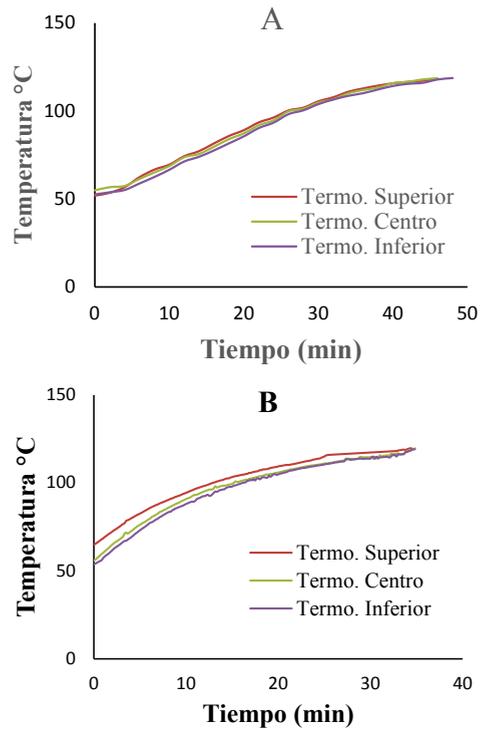


Figura 1. Monitoreo punto frio envase de hojalata A: Alcalá, B: Sureña.

Calculo del tiempo del proceso térmico

Se evidencio un comportamiento atípico respecto del incremento de temperatura en la autoclave (figura 2). Este incremento fue lento en comparación con los autoclaves utilizados en la industria de conservas. Dicho fenómeno prolongo el tiempo de permanencia del material vegetal hasta alcanzar la temperatura de referencia (18 min).

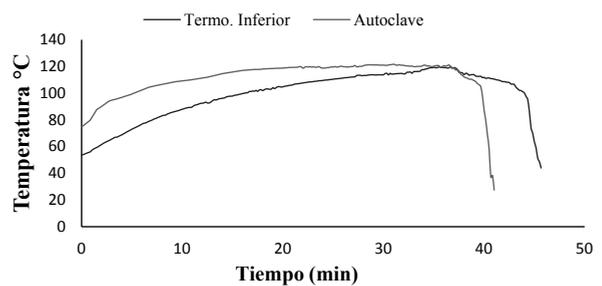


Figura 2. Perfil de temperaturas autoclave versus material vegetal.

Ahora bien, los tiempos del proceso térmico calculados se muestran en la tabla 2. La variedad Alcalá mostró mayor resistencia a la transferencia de calor incrementado el tiempo del proceso térmico para las temperaturas de 119, 120 y 121 °C en: 8.41, 9.01 y 7.78% respecto de la variedad Sureña.

Tabla 2. Temperaturas y tiempo de esterilización calculado (método de Ball).

Temperatura de proceso	Variedad	
	Alcalá (min)	Sureña (min)
119	32.74	30.2
120	28.79	26.41
121	27.43	25.45

Temperatura Inicial del producto 65 ° C.

Efecto del tratamiento térmico. La humedad final de las semillas para las dos variedades aumento en promedio 22.2 % respecto del valor adquirido en la rehidratación (56-58% en el equilibrio) indicando que la temperatura sigue favoreciendo la rehidratación del material durante la esterilización; ocasionado aumento en el volumen de las semillas y consecuente colapso de los tejidos como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Efecto del tratamiento térmico sobre el material vegetal

DISCUSIÓN

Análisis semillas de arveja

Según Díaz et al., (5) las semillas de la variedad Alcalá bajo las mismas condiciones de humedad poseen una densidad real superior a la variedad Sureña en 1.43%. Así mismo, los datos del peso de mil semillas son 18% superiores a los de la variedad Sureña. Confirmando lo obtenido en esta investigación al evidenciar mayor contenido de sólidos totales en dichas semillas. Ahora bien, al rehidratar el material antes de la esterilización las propiedades físicas del grano nuevamente se modifican (4). No obstante, los valores singuen siendo superiores en la variedad Alcalá (5).

Análisis punto frio

El punto frio se ubicó sobre el eje longitudinal en el tercio inferior del envase, este resultado se debe a las características del material evaluado, que presentó una fase líquida (líquido de cobertura) y una fase sólida (semillas de arveja) esta última por mayor densidad se acumuló en el tercio inferior del recipiente, ocasionando que esta sea la zona más lenta de calentamiento. Alvarado et al., (8) reportan que bajo esta situaciones el mecanismo de transferencia de calor es la convección natural; la cual provoca que la zona de calentamiento más lenta migre hacia el fondo del envase durante el proceso térmico. Esta se presenta principalmente en alimentos líquidos diluidos o con sólidos suspendidos (8). Condori et al., (14) reportan resultados similares para habas verdes enlatadas (el punto frio se ubica en el tercio inferior).

Diseño del tratamiento térmico

Gaviria y Mazuera (15) reportaron para semillas de arveja en conserva, un tiempo de esterilización de 17 minutos a una temperatura de 121°C, inferior a los tiempos de esterilización obtenidos en esta investigación a la misma temperatura. Dicho fenómeno se puede explicar a través del comportamiento atípico del incremento de la temperatura en el autoclave (figura 2) ocasionando que el tiempo de levante hasta alcanzar la temperatura de esterilización se duplique. Gaviria y Mazuera (15) reportan tiempos de levante de 9 minutos mínimo utilizando un autoclave vertical de vapor saturado; en comparación con los 18 minutos requeridos en esta investigación.

Efecto del tratamiento térmico

Según Cerón et al.,(4) la temperatura favorece la rehidratación de las semillas. Explicando el fenómeno observando de aumento del volumen de las semillas después de la esterilización y posterior ruptura de los tejidos. Mayer et al., (6) citan que los materiales utilizados no deben tener tendencias a desarmarse. Contrario a lo observado en las dos variedades evaluadas en esta investigación.

CONCLUSIONES

Se determinó un incremento en el tiempo de esterilización de la variedad Alcalá respecto de Sureña para las temperaturas de 119, 120 y 121 °C en: 8.41, 9.01 y 7.78%.

REFERENCIAS

1. Amarakoon D, Thavarajah D, McPhee K, Thavarajah P. Iron-, zinc-, and magnesium-rich field peas (*Pisum sativum* L.) with naturally low phytic acid: A potential food-based solution to global micronutrient malnutrition. *J Food Compos Anal* [Internet]. Elsevier Inc. 2012; 27(1): 8-13.
2. Barac M, Cabrilo S, Pesic M, Stanojevic S, Zilic S, Macej O, et al. Profile and functional properties of seed proteins from six pea (*Pisum sativum*) genotypes. *Int J Mol Sci*. 2010; 11(12): 4973-90.
3. Zamorano C, López H, Alzate G. Evaluación de la competencia de arvenses en el cultivo de arveja (*Pisum sativum*) en Fusagasugá, Cundinamarca (Colombia). *Rev Agronomía Colomb*. 2008; 26(3): 443-50.
4. Cerón A, Latorre L, Bucheli M, Osorio O, Mejía D, Garcés L. Determinación de constantes de velocidad de rehidratación y cambios sobre algunas propiedades físicas en semillas de arveja (*Pisum sativum* L.). *Rev Lasallista Investig*. 2015; 12(1): 21-32.
5. Diaz W, Cerón A, Osorio O, Mejía D. Efecto de la humedad en propiedades físicas de semillas de arveja (*Pisum sativum* L.). *Rev Fac Nac Agron Medellín*. 2014; 67(2 Sup. II): 579-81.
6. Mayer L, Bertoluzzo M, Bertoluzzo S. Determinación de propiedades físicas del líquido de cobertura de arvejas enlatadas. *Invenio*. 2013; 17(32): 203-13.
7. ICONTEC. Arvejas (Guisantes) rehidratadas en conserva (NTC 4434). Bogota; 2009.
8. Alvarado J, Martínez G, Navarrete J, Botello E, Calderón M, Jiménez H. Fenomenología de la esterilización de alimentos líquidos enlatados Transport behavior of sterilization of canned. *Rev Fac Ing Univ Antioquia*. 2009.
9. Jimenez H, Gonzales L, Botello J, Navarrete J. Estudio numérico de la esterilización térmica de alimentos líquidos enlatados que contienen partículas empleando el enfoque de medio poroso. *Rev Mex Ing Química*. 2005; 4(1): 1-23.
10. Awuah GB, Ramaswamy HS, Economides a. Thermal processing and quality: Principles and overview. *Chem Eng Process Process Intensif* [Internet]. 2007 Jun [cited 2014 Mar 29]; 46(6): 584-602.
11. ICONTEC. Arvejas Secas (NTC 791). Bogota; 2004.
12. Bernal I. Análisis de alimentos. 3rd ed. LTDA G, editor. Bogota; 1998. 58-60 p.
13. Garrote RL, Silva ER, Roa RD. Diffusion and thermal degradation of ascorbic acid during canned fresh green peas sterilisation. *Int J Food Sci Technol*. 2009; 44(10): 1990-6.
14. Condori M, Obregón A, Guevara A. Evaluación y optimización del tratamiento térmico de conservas de habas verdes (vicia faba l.) en salmuera. *Cienc Invest*. 2013; 15(2): 84-9.
15. Gaviria B, Mazuera P. Evaluación del tratamiento térmico de las arvejas enlatadas (*Pisum sativum*) en salmuera. *Rev Publicaciones e Investig*. 2010; 4:129-43.

EVALUACIÓN DE ALGUNAS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO SOBRE LA COLORIMETRÍA DE UN PRODUCTO CONFITADO A BASE DE PANELA (MELCOCHA)

EVALUATION OF SOME STORAGE CONDITIONS ON THE COLORIMETRY OF A CONFIT PRODUCT MADE FROM PANELA (MELCOCHA)

Julián M. ACOSTA MARTÍNEZ M.Sc (c).¹, Hugo A. GOMAJOA ENRIQUES M.Sc (c).², David E. ÁLVAREZ SÁNCHEZ M.Sc.³, Oswaldo OSORIO MORA Ph.D.⁴

RESUMEN

Antecedentes: El cultivo de caña panelera presenta gran importancia para Colombia, uno de los principales productos derivado del jugo de caña es la “melcocha” un dulce tradicional. Actualmente la industria de melcochas presenta baja tecnología y reducida estandarización de procesos, en donde la demanda creciente de este producto hace necesario estudios del proceso agroindustrial. **Objetivo:** Evaluar el efecto del tipo de empaque y formulación de melcocha sobre la colorimetría del producto final. **Métodos:** Se evaluaron dos formulaciones de melcocha (A_1 y A_2), las muestras se empacaron en plástico tipo transparente (B_1) y metálico (B_2), se almacenaron los tratamientos por 40 días (25°C); se determinó el índice de color de cada muestra a través del tiempo. Finalmente se realizó análisis bromatológico a la muestra tipo A_2 . **Resultados:** Se identificaron cambios en la colorimetría de la melcocha tipo A_1 dependiendo del empaque, no se presentaron diferencias colorimétricas para la formulación A_2 . El análisis bromatológico muestra alto aporte energético directamente relacionado con los azúcares totales cuantificados en el producto, se destaca el valor obtenido en minerales y vitaminas. **Conclusiones:** El estudio demuestra que el color está relacionado con el tipo de formulación de melcocha, presentando variación en el índice de color a través del periodo de almacenamiento (25°C); es posible a través de los resultados obtenidos seleccionar el tipo de empaque (transparente y metalizado) respecto al atributo del color de la melcocha.

Palabras clave: Melcocha, índice de color, empaque, almacenamiento.

ABSTRACT

Background: Sugarcane crop has been important to Colombia for many years, “melcocha” is a traditional sweet, this is derived from cane juice. Currently, Melcocha industry has a low level of technology and his standardization process is poor, nevertheless, the demand for this product has increased fastly for this reason is necessary to study his agro-industrial process, **Objective:** to evaluate the effect of packaging type and melcocha formulation over of colorimetry the final product. **Methods:** Two melcocha formulations (A_1 and A_2) were evaluated, Samples were packed in different plastic type, one of them was transparent (B_1), the other was metal (B_2), moreover treatments were stored for 40 days (25°C), the color index of the sample was determined of each over time period, finally, the sample A_2 was evaluated through analysis bromatological, **Results:** Changes were identified in the colorimetry of melcocha type A_1 , this result depending on packaging, However, Formulation A_2 did not show: colorimetric differences. Bromatological analysis showed high energy intake directly related to quantified total sugars in the product, the value obtained in minerals and vitamins is highlighted. **Conclusions:** The study shows that color is related to the type of preparation of melcocha, presenting variation in the color index over the time period.

Keywords: Melcocha, color index, Packaging, Storage.

¹ Director grupo de investigación GIIDOP. Universidad Mariana. Pasto, Colombia.

² Profesor TC, Facultad de Ingeniería. Universidad Mariana. Pasto, Colombia.

³ Investigador grupo TEA. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.

⁴ Director grupo de investigación GAIDA. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.

* Autor de correspondencia: jacosta@umariana.edu.co

INTRODUCCIÓN

El sector panelero se basa en la transformación agroindustrial del jugo de la caña (*Saccharum officinarum*) en un producto sólido moldeado llamado panela (1, 2). Según cifras de la FAO, 25 países en el mundo producen panela, de los cuales Colombia ocupa el segundo puesto en producción, solamente superado por la India (1).

Esta cadena productiva se desarrolla principalmente en el contexto de la economía campesina, en unidades de pequeña escala con alto uso de mano de obra y bajos niveles de inversión en mejoras tecnológicas (1). Actualmente se promueve la diversificación de productos derivados de la caña, destacándose el mercado de los confitados como la “melcocha”, un producto que mantiene las características iniciales de la panela y adicionalmente incluye maní como característica tradicional, dando como resultado un dulce altamente energético, compuesto en gran proporción por sacarosa, nutritivo por sus azúcares y minerales, de color café claro y aroma característico (2).

Esta investigación involucra la colorimetría como una de las cualidades más importantes en los alimentos, siendo un indicador de la aceptación y vida útil de un producto para los consumidores (3). Pertinente a esto, diferentes investigaciones sugieren que el color se encuentra relacionado con el tipo de empaque usado en la industria alimenticia, garantizando las condiciones óptimas para mantener al producto sin que se modifiquen sus propiedades fisicoquímicas iniciales (4).

Por lo anterior esta investigación buscó evaluar el efecto del empaque sobre la colorimetría de melcocha de caña panelera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Formulación de tratamientos

Se tomaron muestras aleatorias de dos formulaciones de melcocha (A_1 y A_2) proporcionadas por la empresa “Productos Don José” del municipio de la Unión (Nariño), estas muestras fueron empacadas en plástico tipo: transparente (B_1) y metálico (B_2). Finalmente se almacenaron por un lapso de 40 días a una temperatura constante de 25°C.

Para cada tratamiento se utilizaron veinte repeticiones, empleando un diseño experimental irrestrictamente al azar por cada tiempo evaluado (± 10 días). Se empleó un análisis de varianza ANDEVA ($\alpha=0,05$), encontradas diferencias significativas se procedió a aplicar una prueba de comparación de medias L.S.D.

Índice de Color de la melcocha

Se dispusieron 25 g de cada muestra de melcocha en un vidrio de reloj para determinar las coordenadas L^* , a^* y b^* mediante un equipo Konica–Minolta CM-5 escala CIELAB, el valor final se obtuvo a partir del promedio de tres mediciones (5).

Composición bromatológica de la melcocha

Se realizó análisis bromatológico a una muestra tipo A_2 con el fin de determinar las características nutricionales de melcocha, evaluando: humedad, Nitrógeno total, proteína, grasa total, cenizas, fibra dietaria, carbohidratos, valor energético, Fe, Ca, vitaminas, azúcares totales, azúcares reductores, colesterol, Na y pH.

RESULTADOS

Índice de color

Los resultados del índice de color de los dos tipos de melcocha se graficaron respecto a cada tiempo evaluado (figura 1 y 2), se reportó el máximo valor de color en el día 10 para las dos muestras, después de este periodo esta variable desciende y se estabiliza en el tiempo.

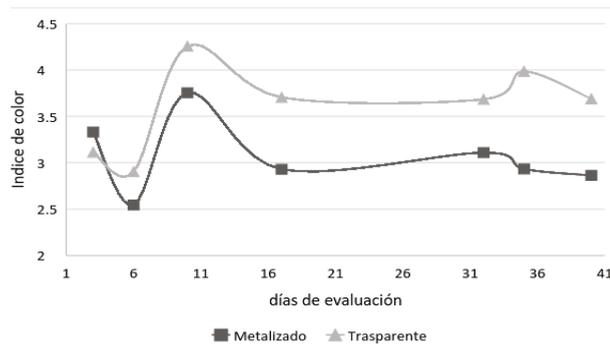


Figura 1. Evaluación colorimetría, melcocha tipo A_1 (24°C).

Tabla 1. Evaluación colorimetría de melcocha tipo A_1 respecto al empaque usado (24°C)*.

Tratamiento	Tiempo de evaluación (días)													
	3		6		10		17		32		35		40	
Metalizado	3,331	a	2,544	a	3,756	a	2,929	a	3,110	a	2,933	a	2,863	a
Trasparente	3,113	a	2,902	a	4,256	a	3,705	a	3,684	a	3,986	b	3,690	b

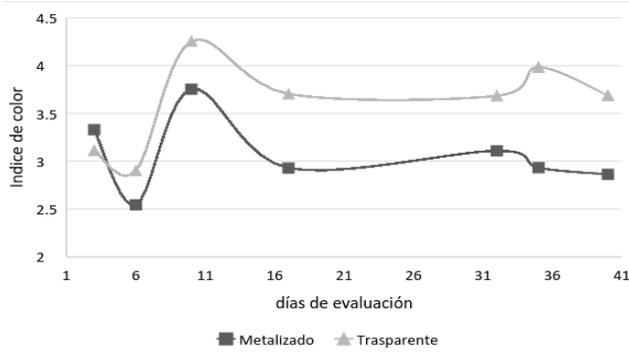
*Letras diferentes indican diferencias significativas, L.S.D. ($\alpha=0,05$).

Tabla 2. Evaluación colorimetría melcocha tipo A_2 respecto al empaque usado (24°C)*.

Tratamiento	Tiempo de evaluación (días)													
	3		6		10		17		32		35		40	
Metalizado	2,819	a	2,811	a	4,515	a	2,916	a	2,899	a	2,928	a	2,926	a
Trasparente	2,649	a	2,718	a	4,311	a	2,977	a	3,203	a	3,342	a	3,208	a

*Letras diferentes indican diferencias significativas, L.S.D. ($\alpha=0,05$).

En las tablas 1 y 2 se muestran las diferencias estadísticas de los dos tipos de empaque (B_1 y B_2) respecto a cada periodo de evaluación, en la formulación de melcocha A_1 se presentaron diferencias de color entre el empaque metalizado y transparente a partir del día 35 de almacenamiento (tabla 1). Para la muestra tipo A_2 no se establecieron diferencias significativas relativas al empaque usado (tabla 2).

**Figura 2.** Evaluación colorimetría, melcocha tipo A_2 (24°C).

Dada la escasa información de la melcocha como producto alimenticio, en la tabla 3, se describen los parámetros bromatológicos (melcocha tipo A_2) en la cual se destaca la alta presencia de azúcares relacionados al aporte energético del producto cuantificado en 473 kcal/100 g; otro parámetro importante en esta investigación fue el valor de sodio por cada 100 g el cual se calculó en 61,11 mg.

Tabla 3. Análisis bromatológico de melcocha tipo A_2 *.

Determinación	Valor
Humedad g	6,34
Nitrógeno total y proteína g	15,02
Grasa total g	21,44
Cenizas g	2,16
Fibra dietaria g	5,08
Carbohidratos g	55,04
Valor energético kcal	473,2
Hierro mg/100g	3,28
Calcio mg/100g	26,46
Vitamina A UI/100g	42,63
Vitamina C mg/100g	0,2
Azúcares totales %	150
Azúcares reductores g/100g de producto	13,7
Colesterol mg/100g	0,48
Sodio mg/100g	61,11
Ph	4,92

*Tamaño de porción 100 g.

DISCUSIÓN

El incremento en el color de la melcocha en el décimo día de evaluación posiblemente se deba a la presencia de azúcares como sacarosa y azúcares reductores como fructosa y glucosa (13,7 g/100 g de melcocha), estos son los constituyentes de la panela, utilizada como precursor de este dulce. La reacción que tienen estos azúcares posiblemente se

deba a: i) oxidación de compuestos fenólicos, ii) la caramelización de la sacarosa, glucosa y fructosa, iii) reacción de Maillard y iv) la descomposición alcalina de sacarosa (6, 7).

Se destaca que el contenido de azúcares reductores obtenidos en melcocha (13,7 g/100g), supera el valor indicado en la Norma Técnica Colombiana NTC1311 para panela, el cual se encuentra en 12 g/100 g (8); igualmente se supera los valores reportados en diferentes investigaciones de caracterización de panela indicando un rango entre 5,7 y 8,8 g/100 g de panela (9) y un promedio de 3,7 g/100 g para panela granulada (10).

El incremento de azúcares reductores no es deseable en la melcocha al igual que en la panela ya que incrementa la higroscopicidad afectando la textura y estabilidad del producto durante el almacenamiento (11, 12, 13), por tanto su control durante su elaboración, empaque y almacenamiento es indispensable. La presencia de iones metálicos como hierro y cobre además de los azúcares reductores y aminoácidos, tiende a acelerar el procesos de pardeamiento (cambio de color) provocado por la reacción de Maillard (17), la temperatura de almacenamiento es una de las principales variables que se debe tener en cuenta al momento de evaluar el grado de pardeamiento que experimenta un azúcar durante su almacenamiento debido a que los cambios de color la mayoría de las veces se ve influenciada por el incremento de esta. Al respecto, es posible comparar la reacción que se presenta en azúcar blanco, producto que presenta cambios importantes en el color durante su almacenamiento, a temperaturas superiores a 30°C empacados en sacos o dispuesta sobre estibas (18).

El color es el factor predominante en la calidad de la panela y para los productos derivados de esta, aplicando la misma calificación (15), prefiriendo por los consumidores el color claro, luz dorada amarilla o marrón claro (10-14).

Las diferencias estadísticas presentadas en este estudio para el tipo de plástico transparente (B_1) en relación al plástico metalizado (B_2) puede explicarse por la mayor incidencia de luz que puede recibir el producto al usar plástico transparente, de esta forma se incrementan los procesos enzimáticos que dan origen a la oxidación de azúcares. Sin embargo, estos resultados establecen un precedente para la agroindustria de procesos, permitiendo elegir el tipo de empaque a partir del atributo de color.

CONCLUSIONES

El estudio demuestra que el color está relacionado con el tipo de formulación de melcocha, presentando variación en el índice de color a través del periodo de almacenamiento (25°C); es posible a través de los resultados obtenidos seleccionar el tipo de empaque (transparente y metalizado) respecto al atributo del color de la melcocha.

REFERENCIA

- Osorio G. Buenas Prácticas Agrícolas -BPA- y buenas prácticas de manufactura -BPM- en la producción de caña y panela. Medellín, Colombia: CORPOICA y FAO; 2007. 200 p.
- Quezada W. Guía técnica de agroindustria de panela. Ibarra, Ecuador: UTN. 2007. 159 p.
- Cortes M, Chiralt A. Cinética de los cambios de color en manzana deshidratada por aire fortificada con vitamina E. Vitae. 2008; 1(1): 8-16.
- Sierra N, Plazas C, Guillén L, Rodríguez P. Protocolo para el control de calidad de envases de plástico, utilizados en la industria farmacéutica, de cosméticos y de alimentos. Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm. 2010; 39(2): 149-167.
- Gil-Muñoz R, Gómez E, Martínez A, López J. M. Evolution of the CIELAB and other spectrophotometric parameters during wine fermentation. influence of some pre and postfermentative factors. Food Res. Int. 1997; 30(9): 699-705.
- Yam K, Papadakis S. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. J. Food Eng. 2004; 61(1): 137-142.
- Chen J. Manual del azúcar de caña. México: Limusa. 1991. 87 p.
- Damodaran. Aminoácidos, péptidos y proteínas. Química de alimentos. España: Acribia. 2000. 490 p.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Norma técnica Colombiana NTC 1311: Productos Agrícolas. Panela. Bogotá D.C.: ICONTEC; 2009. 56 p.
- García H. Mejoramiento de los sistemas de moldeo y de productor. Colombia: CIMPA; 2003. 45 p.
- Rodríguez A, Segura M. Panela granulada ecológica. Colombia: NI; 2004. 47 – 55.
- Tiwari R, Chatterjee A. Evaluation of early and mid-late sugarcane (*Saccharum officinarum*) varieties for yield of millable cane and quality of jaggery. Ind. J. Agr. Sci. 1998; 68(5): 255-257.
- Patil J, Adsule P. Studies on various quality parameters for grading of jaggery. Ind. Food Ind. 1998; 17(4): 215 – 217.
- Verma V, Maharaj N. Moisture absorption isotherms of jaggery. J. Stor. Prod. Res., 1990; 26(2): 61-66.
- Mungare T. Clarification technique for producing quality jaggery. Coop. Sug. V. 2000; 32 (4): 283-285.
- Chatterjee A, Tiwari R, Chatterjee A. Evaluation of early and mid-late sugarcane (*Saccharum officinarum*) varieties for yield of millable cane and quality of jaggery. Ind. J. Agr. Sci. 1998; 68(5): 255-257.
- Mahadevaiah H, Manohar M. Colour development during storage of sulphited syrup in pan supply tanks. Sug. Tech. 2009; 1(1): 398-400.

OPORTUNIDADES DE CRECIMIENTO DEL SUBSECTOR PRODUCTIVO DE ARVEJA (*Pisum Sativum L.*) DE NARIÑO A NIVEL NACIONAL

GROWTH OPPORTUNITIES SUBSECTOR OF PEA (*Pisum Sativum l.*) AT THE NATIONAL LEVEL

Ruben D. SOLARTE. M.Sc (c)^{1*}, Oswaldo OSORIO PhD¹

RESUMEN

Antecedentes: En la actualidad en el departamento de Nariño solo al 10% de la producción hortofrutícola se le realiza algún proceso de acondicionamiento que genere valor agregado, situación que llevo a desarrollar la presente investigación. **Objetivos:** Identificar oportunidades de mercado de arveja con valor agregado en las ciudades de Cali y Pasto. **Métodos:** Para la investigación fue utilizada como herramienta de recolección de datos la encuesta, desarrollando un muestreo estratificado sobre la población en estudio. **Resultados:** El estrato tres de la población encuestada en Cali representa el 48% del consumo de arveja fresca desgranada en esta ciudad, resultado que convierte a este estrato en un excelente nicho de mercado. **Conclusiones:** La comercialización de arveja fresca desgranada se convierte en la mejor oportunidad para los municipios productores de este producto, así mismo queda claro que la producción de arveja seca y enlatada a las condiciones actuales en el departamento de Nariño no es viable desarrollar.

Palabras clave: Arveja desgranada, Valor agregado, crecimiento, Consumo, demanda

ABSTRACT

Background: At present in the department of Nariño only 10% of fruit and vegetable production will be done any conditioning process to generate added value, a situation that led to developing this investigation. **Objectives:** Identify market opportunities pea value-added in the cities of Cali and Pasto. **Methods:** For research was used as a tool for data collection survey, developing a stratified sample of the population under study. **Results:**

The layer three of the surveyed population in Cali represents 48% of the consumption of fresh shelled peas in this city, a result that makes this layer an excellent niche. **Conclusions:** Marketing of fresh shelled peas becomes the best opportunity for the municipalities producing this product, also it is clear that the production of dry and canned to current conditions in the department of Nariño pea is not feasible to develop

Keywords: Shelled peas, Added Value, Growth, Consumption, Demand

INTRODUCCIÓN

Según proyecciones de la FAO para alimentar la población en el año 2050 sería necesario aumentar la producción de alimentos en un 70% (1); para alcanzar este objetivo arveja fresca producida en el departamento de Nariño hoy se convierte en una excelente oportunidad para suplir las necesidades de alimentos de la actualidad y el futuro cercano en el país y el mundo en general. En el año 2013 en Colombia se produjeron 100,451 toneladas de arveja, de las cuales el 57% fueron en Nariño, cifra que pone a este departamento en el primer lugar de producción de arveja a nivel nacional (2).

Sin embargo a pesar de Nariño ser considerado como una despensa agrícola a nivel nacional y como el principal productor de arveja en el país, en el departamento según la Comisión Regional de Competitividad solo al 10% de algunas materias primas como cebolla, papa y algunas frutas se le realiza alguna operación agroindustrial, esto lleva a considerar que el desarrollo de la cadena y especialmente el subsector de la arveja debe estar altamente ligado con la industrialización de sus productos y

¹ Grupo de Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño, Pasto, Nariño, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: darsol27@hotmail.com

mejoramiento de las condiciones de transporte si se busca generar un verdadero desarrollo económico.

Por lo anterior cada vez más, las compañías de todo el mundo están acudiendo a la cadena de suministro como la última metodología para reducir costes, incrementar la satisfacción del cliente, utilizar mejor los activos y construir nuevos ingresos; la integración de estas actividades a través de relaciones mejoradas en la cadena puede contribuir a generar una ventaja competitiva sostenible en el departamento (3).

Por otro lado en las últimas década se ha determinado que las empresas son conscientes de que a medida que avanza el tiempo, cada cliente individual cobra más importancia, y que para satisfacerlo no basta con que una de las organizaciones que colaboran en el desarrollo de los productos se haga de una manera óptima, se hace necesaria que la integración sea muy alta partiendo de una necesidad del cliente, donde los actores que trabajan de manera particular puedan llegar a interactuar como parte de un todo dentro de un mismo objetivo como lo es la satisfacción del cliente; donde la exigencia actual por satisfacer las necesidades del mismo está a la orden del día en las compañías y organizaciones que desean ser eficientemente productivas (4).

Finalmente es necesario considerar que una empresa u organización en particular toma a menudo innumerables decisiones relacionadas con cada uno de sus procesos, pero lamentablemente son pocas las empresas y generalmente las más grandes las que tienen en cuenta que una decisión tomada repercute directamente sobre otro de los eslabones de la cadena. Sentido por el cual se planteó un estudio de mercado que permitió establecer cuáles son las principales fortalezas y debilidades en la región, de tal manera que permitan tomar una decisión que realmente conlleven a desarrollar un producto a base de arveja con valor agregado (5, 6).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó bajo el instrumento de la encuesta, aplicada en la ciudad de Cali y Pasto, así como también un proceso de observación directa en punto de comercialización masiva que fue acompañado de fichas técnicas.

Muestreo de la Demanda

Consumidores directos: Para la recolección de la información fue utilizado un el método de muestreo estratificado, siendo los estratos económicos uno, dos, tres y cuatro los objetos de estudio; de

la población total definida se tomó la muestra y se divido de acuerdo al grado de representación porcentual de cada estrato.

Muestra en la Demanda

Para el cálculo de la muestra en las poblaciones de consumidores directos y restaurantes en la ciudad de Cali fue utilizada en la ecuación 1:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot P \cdot q}{(N-1) \cdot E^2 + Z^2 \cdot P \cdot q} \text{ Ecuación 1}$$

n= tamaño de la muestra

Z= nivel de confianza.

p= Probabilidad a favor.

q= Probabilidad en contra.

N= Universo

e= error de estimación.

$$n = \frac{2.547.112 \cdot 1,96^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5}{(2.547.112 - 1) \cdot 0,05^2 + 1,96^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5}$$

$$n = 384$$

RESULTADOS

A continuación se muestra una serie de graficas que indican el comportamiento del mercado de la arveja en las ciudades de Cali y Pasto, graficas mediante las cuales es posible determinar las oportunidades de mercado con valor agregado para la arveja producida en el departamento de Nariño.

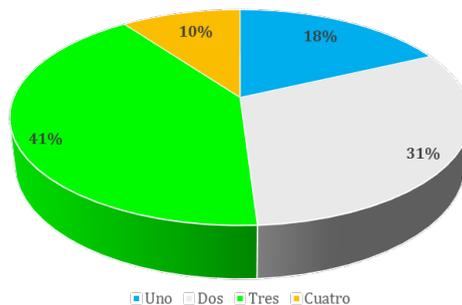


Figura 1. Estrato económico del encuestado.

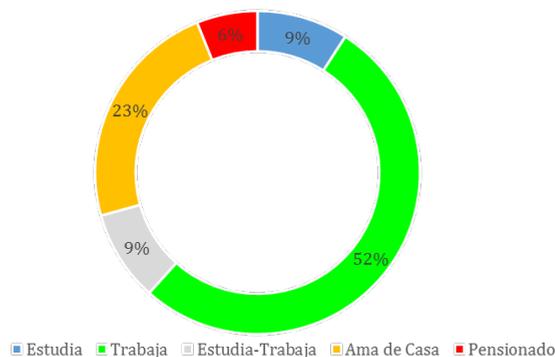


Figura 2. Ocupación del encuestado.

En el mercado evaluado predomina el estrato tres, seguido por el dos, uno y cuatro. La Figura 2 muestra que el 52% de la población objetivo manifestó estar trabajando, seguido por las amas de casa con un 23%, y en un último lugar se encontró a personas que manifestaron ser pensionados con 6% del total de la población. Es importante conocer que más de la mitad de la población se encuentra trabajando, por lo tanto el tiempo disponible para desarrollar el mercado es poco.

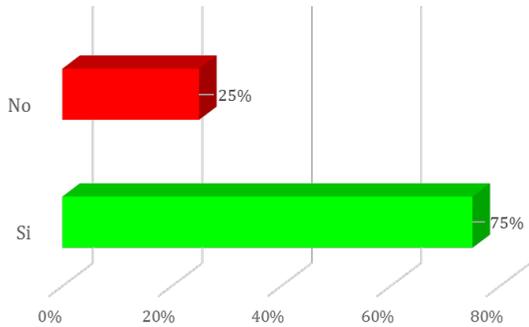


Figura 3. Porcentaje de consumo de arveja

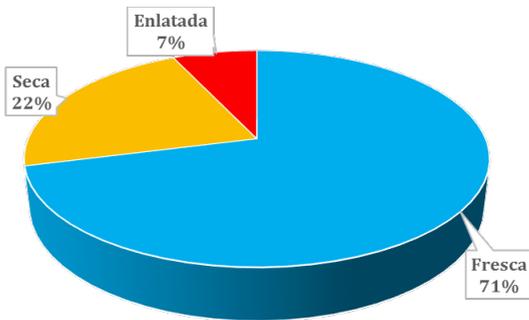


Figura 4. Tipo de arveja producida.

De la población objetivo encuestada el 75% respondió afirmativamente consumir arveja, el 25% restante manifestó que no consume. La figura 2 evidencia que de la población que consume arveja el 71% manifestó consumir arveja fresca, el 22% arveja seca y un 7% manifestó consumir arveja enlatada. La preferencia por la arveja fresca es evidente en el mercado objetivo, en tal sentido una industria que enfoque su esfuerzo hacia este tipo de producto tendrá altas probabilidades de éxito si logra generar una verdadera ventaja competitiva en el mercado frente a la competencia regional como nacional.

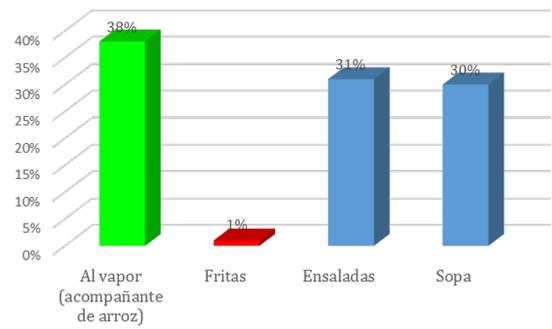


Figura 5. Forma de preparación de la arveja.

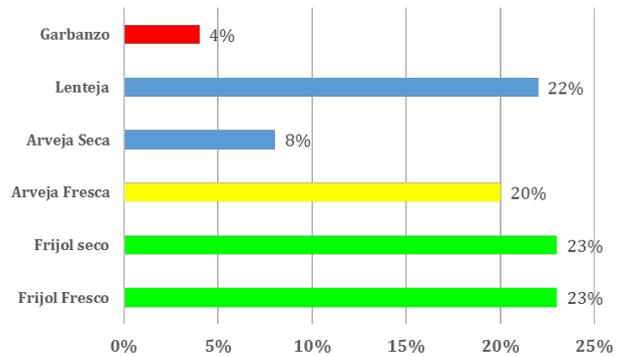


Figura 6. Productos sustitutos.

El 38% de las personas que consumen arveja manifestaron que su forma de consumo es al vapor, un 31% en ensaladas, un 30% en sopas y menos del 1% de manera frita, tal como se evidencia en la figura 5, claro está que estos últimos estuvieron presentes más que todo en la ciudad de Pasto, donde por tradición de algunas familias las consumen de esta forma en épocas especiales. Por otro lado la figura 6 muestra la alta diversidad de granos alimenticios presentes en el mercado que pueden considerarse como sustitutos de la arveja.

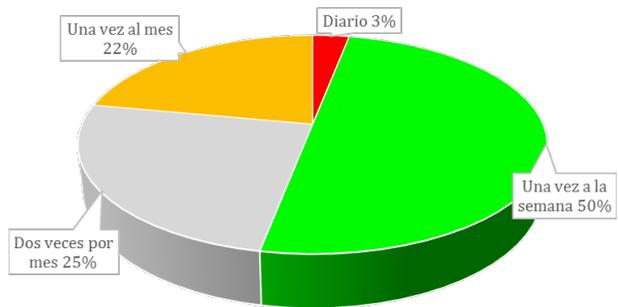


Figura 7. Frecuencia de compra.

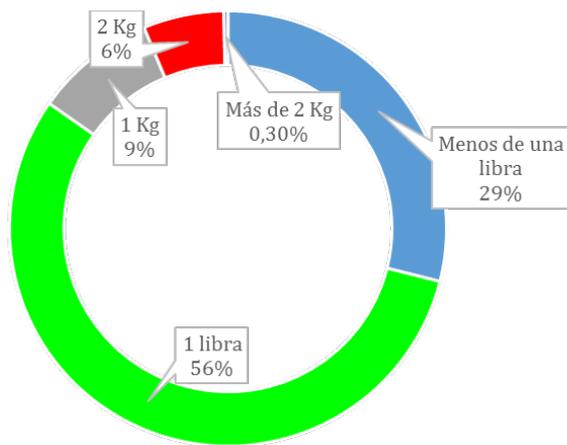


Figura 8. Volumen de Compra por familia

Los datos mostrados en la figura 7 permiten inferir la rotación del producto en el mercado, y con ello lograr desarrollar una logística que permita suplir la demanda de nuestro mercado objetivo. La figura 8 muestra la frecuencia de consumo mostrada en la figura 7, en la cual el 56% de los encuestados declaró consumir 1 libra, un 29% menos de una libra (250g), un 6% 2 Kg, un 1% 1 Kg y un 0,3% más de 2 Kg. Los datos obtenidos son vitales juntos a los anteriores para determinar la demanda total de arveja para el mercado objetivo, con estos datos podremos determinar si el mercado es atractivo comercialmente y proceder a desarrollar una estrategia de penetración.

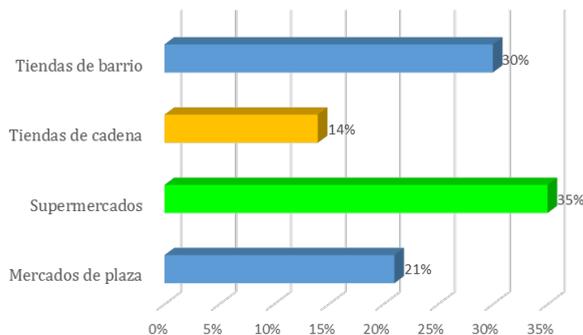


Figura 9. Lugares de compra.

Un 35% de los consumidores de arveja respondieron que realizan la compra del producto en supermercados, un 30% lo hacen en tiendas de barrio, un 21% en mercados de plaza y un 14% en almacenes de cadena. Es necesario realizar una consideración, y es que los consumidores de la ciudad de pasto prefieren el mercado en galerías en más de un 70%, y por ser menor la población encuestada

en la ciudad el resultado en conjunto se manifiesta de esa manera.

Los resultados indican que el consumo anual per cápita de arveja por estrato comparado con la frecuencia de compra, claramente se puede observar que el mayor consumo per cápita anual se genera en el estrato tres con volumen de consumo de 307 kilogramos; por otro lado se observa igualmente que las personas que manifiestan tener un consumo diario tiene el mayor volumen anual con 742 Kilogramos, sin embargo esta población solo representa el 3%, mientras quien le sigue que es aquellos que manifestaron consumir una vez por semana representan el 50% de la población, volumen bastante atractivo para el mercado.

De los puntos de distribución de arveja fresca el que tiene una mayor participación en la comercialización son los supermercados, y entre los estratos el tres con un 13% es el de mayor participación en este punto de distribución. El porcentaje de participación de los supermercados al estrato tres equivale a 2.278 Toneladas anuales, cantidad que se puede convertirse en un nicho de mercado muy atractivo para la sociedad productora Soprocotar S.A.T

DISCUSIÓN

Las exportaciones de la arveja fresca de Colombia para el año 2013 fueron de 1.925.000 dólares dirigidas principalmente al Reino Unido con una participación del 99% de las exportaciones del país, las exportaciones de acuerdo a los datos se muestran de una manera muy esporádica, mientras que para el año 2012 las exportaciones son casi cero (0), para el año 2013 sube significativamente, con lo que se puede inferir que el mercado nacional absorbe toda la producción nacional.

Sin embargo si busca generar un mayor beneficio para el productor la estrategia de comercialización planteada por la organización debe considerar ofertar su producto lo más cerca posible al consumidor, así como en grandes ciudades como Cali los restaurantes se pueden convertir en muy buenos clientes, considerando que gran parte de esta población no regresa a casa a almorzar.

Por otro lado estudios indican que Colombia no tiene exportaciones de arveja seca, y que el consumo interno se satisface con las importaciones realizadas en su gran mayoría desde Canadá, cabe resaltar que existe una mínima producción nacional pero que es utilizada como semilla y la producción para

el consumo es muy insignificante, en tal sentido dadas estas condiciones actuales no es posible que el departamento e incluso el país produzca arveja seca para satisfacer la demanda interna.

Igualmente dentro de los derivados tenemos la arveja enlatada, producto que en nuestro mercado objetivo hacen presencia 11 empresas fabricantes de arveja enlatada, de las cuales tres son estadounidenses, una es chilena, y ocho son nacionales, de estas últimas 4 se encuentran ubicadas en Antioquia y 3 en Cundinamarca, resultados que reafirman el poderío industrial y competitivo de estas dos regiones del país, por ende para entrar a competir con estas se hace necesario desarrollar una ventaja competitiva bastante relevante para ser implementada.

En tal sentido, el 5% de crecimiento anual del mercado hortofrutícola reportado por ADEL en el 2011, confirma que el nivel de consumo del 75% de arveja fresca reportado por los encuestados es verdadero, y está de acuerdo a las tendencias en el comportamiento de los consumidores. Por otro lado el mismo autor resalta que las tendencias de compra de frutas y hortalizas a nivel nacional han empezado a migrar de las plazas de mercado hacia los supermercados, tal es así que el estudio de mercado desarrollado indica que el 35% de los encuestados realiza la compra en los supermercados el producto de la arveja fresca desgranada.

Por lo anterior y con el estudio de mercado llevado a cabo en las ciudades de Cali y Pasto deja como resultado que la principal época del año para el consumo de arveja es el mes de diciembre tal como es afirmado por el DANE y MADR en el 2014. La alta demanda de arveja en el mes de diciembre permite programar la producción de la empresa a crear y más aún en cultivo, así como también diciembre se proyecta como el mes que generara mayores utilidades a la empresa y productor, época del año que debe ser aprovechada para lanzar al mercado productos a base de arveja con alto valor agregado que no dependan directamente de las fluctuaciones de precio de la arveja fresca.

CONCLUSIONES

- La producción de arveja seca en el departamento de Nariño y en Colombia no es viable económicamente, dado que la producción nacional es más costosa que el producto importado desde Canadá y Estados Unidos.
- En el mercado objetivo de la ciudad de Cali y Pasto el 75% de la población afirman consumir arveja y de estos el 71% afirma consumir arveja fresca, con una frecuencia de compra semanal en promedio, en una cantidad de 1 Lb en promedio, principalmente en tiendas de barrio y supermercados.
- Por otro lado los consumidores de arveja del estrato 3 que frecuentan los supermercados de Cali se convierten en el nicho de mercado objetivo para los productores organizados en el departamento de Nariño.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto agradece especialmente a comerciantes ubicados en la ciudad de Cali que contribuyeron al desarrollo del estudio de mercado, así como a la coordinación del grupo de investigación GAIDA de La Universidad de Nariño.

REFERENCIAS

1. FAO. *La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050*. Roma: Publicación digital. 2009. Obtenido de http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf
2. DANE. *Boletín semanal Precios Mayoristas*. Bogotá: Departamento Nacional de Estadística. 2015. Recuperado el 6 de Febrero de 2015
3. Vilana A J. *La Gestión de la Cadena de Suministro*. Bogotá: Escuela Organizacional Industrial. 2011.
4. Ocampo Vélez P C. Gerencia logística y global. *Revista EAN*. 2009; 113-136.
5. Cannella S, Ciancimino E, Framinan J, Stephen M D. Los cuatro Arquetipos de Cadenas de Suministros. *Universia Business Review*. 2010; 135-149.
6. Aelker J, Bauernhansl T, Ehm H. Managing complexity in supply chains: A discussion of current approaches on the example of the semiconductor industry. *Procedia. CIRP*. 2013; 79-84.

ANÁLISIS INSTRUMENTAL DEL COLOR EN LA MADURACIÓN DE CARNE DE CORDEROS DE PELO

HAIR SHEEP LAMB MEAT AGEING-AN INSTRUMENTAL COLOR ANALYSIS

William ALBARRACÍN Ph.D.^{1*}, Ivan SÁNCHEZ M. Sc.², Camilo VILLEGAS Ing.³

ABSTRACT

Background: The color of meat may be modified by physiological or process factors such as species, gender, the amount of muscle fibers, genetic characteristics and age, producing differences that can be observe by the consumer. **Objectives:** This work was aimed at evaluating the effect of a feeding system in instrumental Color parameters for hair sheep lambs crossed with Colombian breeds **Methods:** Fifty-four 10-week-old Dorper X Colombian lambs were used in 2 feeding systems: grazing and semi-feedlot (n=27); each feeding group was divided into 3 fasting groups (6, 12 and 18 hours) prior to slaughter. Samples were analyzed in 3 ageing conditions (0, 7 and 15 days), using L^* , a^* and b^* color values obtained by instrumental evaluation. **Results:** There were only significant differences between the feeding systems at days 7 ageing ($p < 0.05$). Instrumental L^* values increased with ageing. **Conclusions:** Ageing time and feeding system affect the color results in the studied lambs, this differences implies that this variables should be had in account in order to obtain lamb meat quality.

Keywords: Instrumental color, lamb meat, slaughter conditions.

RESUMEN

Antecedentes: El color de la carne puede ser modificado por procesos fisiológicos o de proceso, tales como especie, género, la cantidad de fibra muscular, las características genéticas y la edad, generando diferencias que pueden ser percibidas por el consumidor. **Objetivo:** Este trabajo pretendía evaluar el efecto del tipo de alimentación en corderos de pelo cruzados con razas colombianas

sobre los parámetros de color instrumental. **Métodos:** Se emplearon cincuenta y cuatro corderos de 10 semanas de edad (Dorper X Razas colombianas), alimentados con dos métodos (pastoreo y semi estabulado), separándolos por tres tiempos de ayuno (6, 12, y 18 horas) antes del sacrificio. Las muestras fueron analizadas a 3 condiciones de maduración (0, 7 y 15 días), empleando las coordenadas de color L, a, y b obtenidas mediante análisis instrumental. **Resultados:** Solo se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes sistemas de alimentación a los 7 días de maduración, especialmente con la coordenada L, la cual incremento durante el periodo de almacenamiento. **Conclusión:** La maduración y el sistema de alimentación afecta a los resultados de color en los corderos estudiados, esta diferencia implica que estas variables deben ser tenidas en cuenta con el fin de obtener una calidad de carne de cordero

Palabras clave: Color instrumental, carne de cordero, condiciones de sacrificio

INTRODUCTION

Color is a subjective sensation that results from a series of physiological and psychological responses to electromagnetic radiation (1) where the visible spectrum is just a fragment of energy that can be captured by the human being (2); color can be determined by tri-stimulus colorimetry or reflectance spectrophotometry instrumental methods (1). The main compound responsible for fresh meat color is myoglobin which is the intracellular pigment synthesized in mitochondria (3) where the haem group is responsible for myoglobin's intense dark-red color and for the pigment's different states in meat (4). Still, it should be pointed out that enzymatic type compounds (whose co-enzymes or

¹ Docente Investigador, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Nariño.

² Docente Catedrático, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA, Bogotá

³ Estudiante de Maestría, Universidad Nacional de Colombia

* Autor a quien debe dirigirse la correspondencia walbarracinh@udenar.edu.co.

prosthetic groups have chromophore properties) also impart a reddish color and that intramuscular fat percentage, cytochromes and flavonoids also have an effect on color (5). The aim of this work was to evaluate the effect of feeding systems on Dorper X Colombian hair lambs in color instrumental evaluation.

MATERIALS AND METHODS

Experimental management and meat samples

Fifty-four 10-week-old Dorper X Colombian lambs were used in 2 feeding systems: grazing and semi-feedlot ($n=27$); each feeding group was divided into 3 fasting groups (6, 12 and 18 hours) prior to slaughter. 5 animals were stunned electrically in each fasting group and the remaining 4 were stunned with a penetrating captive bolt in accordance with the Food Science and Technology Institute's (ICTA) testing meat plant slaughter protocol. The right longissimus dorsi muscle was taken from each animal 24 hours after having been

slaughtered, vacuum-packed and stored at 4°C for 0, 7 and 15 days.

The right longissimus dorsi muscle was taken from each animal 24 hours after having been slaughtered, vacuum-packed and stored at 4°C for 0, 7 and 15 days.

Color determination

Color was measured by Minolta® CM-2002 colorimeter (2). Using D65 Illuminant an 10° Observer, Samples were taken 20 times in each sample in order to reduce data variation

Statistical analysis

The data was statistically analyzed by multifactor variance analysis (ANOVA) using a Statgraphics Centurion XV (Statistical Graphics Corp., U.S.A.) statistics pack, performing a multiple range test through Fisher's least significant difference (LSD) procedure and multiple interactions having one level of significance ($p<0.05$).

RESULTS

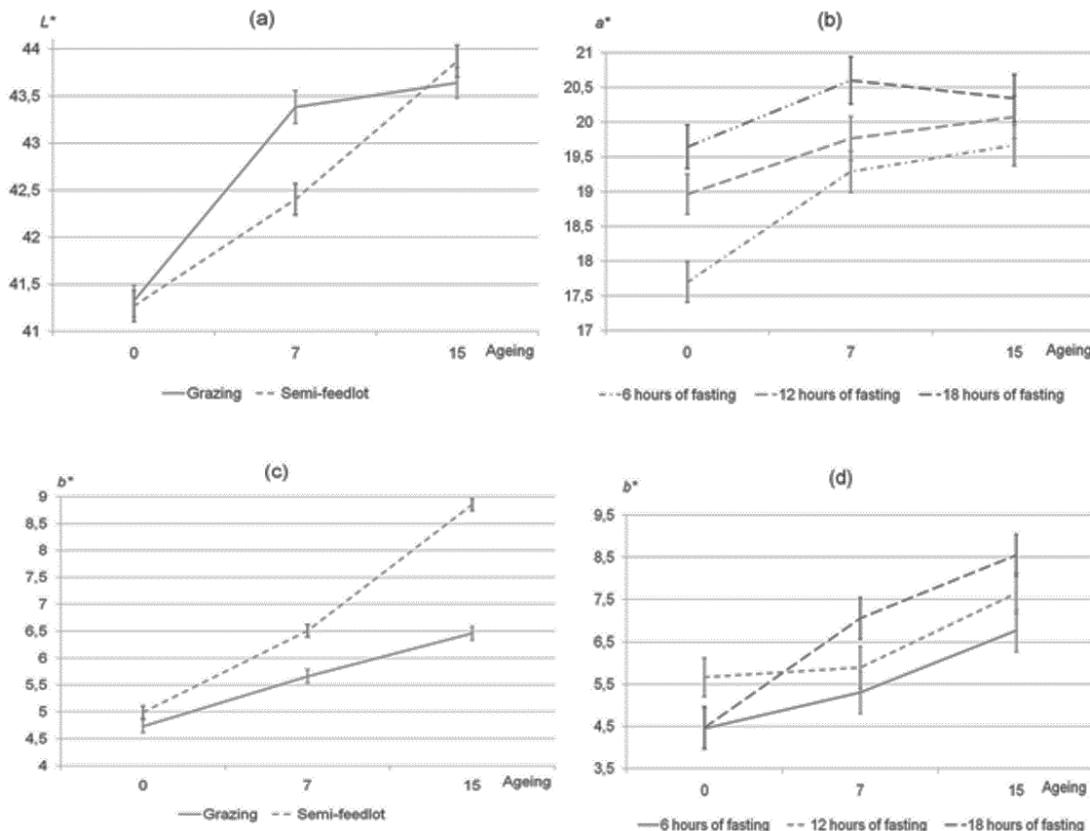


Figure 1. Instrumental L^* variation for feeding system (a), instrumental a^* for fasting time (b), instrumental b^* for feeding system (c) and fasting time (d) during ageing.

Figure 1 shows the instrumental color analysis results regarding feeding system, fasting time and ageing for L^* , a^* and b^* values. There was increased luminosity for ageing time (Figure 1a) with significant differences between the three ageing days ($p < 0.05$) in the semi-feedlot feeding system; no differences were observed in the grazing feeding system after 7 and 15 days ageing ($p > 0.05$). There were only significant differences between the feeding systems at days 7 ageing ($p < 0.05$). Figure 1a shows that instrumental L^* values increased with ageing. Figure 1b shows the results for instrumental a^* value for 6, 12 and 18 hours of fasting. An increase in a^* value was observed during ageing, having differences between 0 and 7 days ($p < 0.05$) and between 0 and 15 days ($p < 0.05$) for the 3 fasting times. There were differences between fasting times for the 0 to 7 days ageing ($p > 0.05$) while no differences were presented at 15 days. Likewise, there was a significant increase in b^* values (Figure 1c) for each ageing time ($p < 0.05$) for the 2 feeding systems. Differences between the systems were presented on days 7 and 15 of ageing ($p < 0.05$). Figure 1c shows the effects of fasting times where there was an increase in b^* during ageing, having a significant effect on all ageing periods in animal samples having 6 and 18 hours fasting ($p < 0.05$); at 12 hours fasting, differences were only found between days 7 and 15 of ageing ($p < 0.05$).

DISCUSSION

Ageing is a proteolytic process where myofibrillar proteins lose their water holding capacity (WHC), leaving a liquid coating behind on the surface. The released water provides brighter colors when being measured (as shown in Figure 1a). Nevertheless, measurements do not range much, which is why such variations (despite presenting significant differences) do not constitute fundamental changes in luminosity, as presented for Manchega breed lambs, during vacuum-packed storage for 14 days, while there is a significant increase in luminosity L^* (6) in Morkaram lambs where the evaluation was carried out for 12 days ageing without vacuum-packing, showing that there is an increase in L^* until day 7 followed by a decrease (7). It should be emphasized that the storage setting contributes to the development of color, which is why vacuum-packing should help to retain the initial color during ageing, retarding proteolysis

and lipolysis reactions which will modify color. However, the feeding system can be differentiated by luminosity on day 7 of ageing; ruminants fed on pasture are more likely to have darker colored meat (8), a^* value variation was due to the presence/absence of myoglobin in the meat and its degradation reaction with oxygen. No differences were presented in this study due to the feeding system (therefore affecting breeding) where ranges are very narrow for similar variation found for luminosity L^* , despite presenting significant differences by the factors analyzed here (Figure 1b), contrary to that stated in several studies showing that diet causes a reduction in coordinate a^* (9, 10) even though a^* values increase in Morkaram lambs when being stored without vacuum (7). The packaging system affects both luminosity and myoglobin degradation which is slower and has a smaller rise in a^* values as presented in bovine meat (11) and in irradiated turkey (12) during different storage or ageing times. Nevertheless, an effect due to fasting may occur due to different stimuli prior to slaughter, thereby affecting pH changes and resolution of rigor mortis; an effect has been shown in Dorset-Merino crossbreeds which has been caused by electric stimulation a short time after slaughter concerning difference in redness (13) and irradiation in the meat affecting anti-oxidant agents concerning redness during ageing (14); regarding b^* values, there is a relationship between different myoglobin states and possible yellow patterns in intramuscular fat. The results presented in Figures 1c and 1d show an increase in these values regarding the factors being evaluated. This might have been due to the samples' fat content and vacuum-packaging where lipid oxidation reactions were reduced. However, the effect of UV radiation as catalyst for these reactions is known to be independent of the presence of oxygen (15); this is how different studies with vacuum atmospheres, permeable to oxygen, have shown that there can be an increase in b^* values due to auto-oxidation of lipids present in meat (6, 7, 12). The results given in Figure 1c show that there was a difference between the feeding systems, such difference may have been due to the animals' daily exercise modifying lipid reserve in muscles and changing myoglobin content as well, although such differences may be more visible depending on the type of muscle being studied as observed in cattle (Realini et al., 2004). By contrast, it is clear that the presence of oxygen during storage increases b^*

values and reduces a^* values, the most pronounced example presenting itself at 7 days ageing in the Manchega breed (17). The results of interaction between captive bolt and electrical stunning have not been presented since there were no significant differences in any of the L^* , a^* , and b^* values. It was observed that ΔE colorimetric difference was higher at higher ageing and fasting times. Instrumental measurements in both feeding systems are mostly “noticeable”. ΔE color difference is the best way to interpret differences by color instead of analyzing the coordinates separately (18).

CONCLUSIONS

Ageing time and feeding system affect the color results in the studied lambs, this differences implies that this variables should be had in account in order to obtain lamb meat quality.

REFERENCES

- García R. Efecto de las enzimas endógenas sobre las propiedades físico-químicas y estructurales de carne de bovino durante la maduración. [Tesis doctorado]. Universidad Autónoma Metropolitana. 2001.
- Vicente I, Gonzales A. 2007. El colour en la industria de alimentos. Primera Edición. La Habana Cuba: Ministerio de la Educación Superior. 2007; 35p.
- Bianchi G, Garibotto G, Franco J, Ballesteros F, Feed O, Bentancur O. Calidad de carne ovina: impacto de decisiones tomadas a lo largo de la cadena. In G. Bianchi, *Alternativas Tecnológicas para la Producción de Carne Ovina de Calidad en Sistemas Pastoriles*. Montevideo: Editorial Hemisferio Sur; 2005. 278p.
- Dosi R, Di Maro A, Chamberry A, Colonna G, Costantini S, Geraci G, Parente A. Characterization and kinetics studies of water buffalo (*Bubalus bubalis*) myoglobin. *Comp Biochem Phys*. 2006; 145, 230-238.
- Lucciano G, Monahan FJ, Vasta V, Biondi L, Lanza M, Priolo A. Dietary tannins improve lamb meat colour stability. *Meat Sci*. 2009; 81, 120-125.
- Berruga MI, Vergara H, Gallego L. Influence of packaging conditions on microbial and lipid oxidation in lamb meat. *Small Ruminant Res*. 2005; 57, 257-264.
- Macit M, Aksakal V, Emsen E, Infar M, Karaoglu M, Esenbuga N. Effects of vitamin E supplementation on performance and meat quality traits of Morkaraman male lambs. *Meat Sci*. 2003; 63: 51-55.
- Priolo A, Micol D, Agabriel J. Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour. A review. *Animal Research*. 2001; 50: 185-200.
- Santé Lhoutellier V, Engel E, Gatellier P. Assessment of the influence of diet on lamb meat oxidation. *Food Chem*. 2008; 109: 573-579.
- Alcalde MJ, Negueruela AI. The influence of final conditions on meat colour in light lamb carcasses. *Meat Sci*. 2001; 57: 117-123.
- Ismail HA, Lee EJ, Ko KY, Ahn DU. Effects of ageing time and natural antioxidants on the colour, lipid oxidation and volatiles of irradiated ground beef. *Meat Sci*. 2008; 80: 582-591.
- Nam KC, Ahn DU. Mechanisms of Pink Colour Formation in Irradiated Precooked Turkey Breast Meat. *Journal Food Sci*. 2002; 67: 600-607.
- Jacob RH, D'Antuono NF, Smith GM, Pethick D, Warner RD. Effect of lamb age and electrical stimulation on the colour stability of fresh lamb meat. *Aust J Agr Res*. 2010; 58: 374-382.
- Franco J, Feed O, Bianchi G, Garibotto G, Ballesteros F, Nan F, Percovich M, Piriz M, Bentancur O. Parámetros de calidad de carne en cinco músculos de novillos Holando durante la maduración *post-mortem*. II. Evolución del color durante su almacenamiento. *Agrociencia*. 2008; 7: 69-73.
- Belitz HD. *Química de los alimentos*. Segunda Edición. España: Acribia. 1985; 215-298p.
- Realini CE, Duckett SK, Brito G, Dalla M, De Mattos D. Effect of pasture vs. concentrate feeding with or without antioxidants on carcass characteristics, fatty acid composition and quality of Uruguayan beef. *Meat Sci*. 2004; 66: 567-577.
- Bórnez R, Linares MB, Vergara H. Effects of stunning with different carbon dioxide concentrations and exposure times on suckling lamb meat quality. *Meat Sci*. 2009; 81: 493-498.
- Carrasco S, Panea B, Ripoll G, Sanz A, Joy M. Influence of feeding systems on cortisol levels, fat colour and instrumental meat quality in light lambs. *Meat Sci*. 2009; 83: 50-56.

COMPATIBILIDAD *IN VITRO* DE AGROQUÍMICOS, BIOINSUMOS Y ACEITE ESENCIAL EN EL CONTROL DE *Macrophomina phaseolina* AISLADO DE FRÍJOL

IN VITRO COMPATIBILITY OF AGROCHEMICALS, BIOINPUTS AND ESSENTIAL OIL IN CONTROL OF *Macrophomina phaseolina* ISOLATED OF BEAN

TOFIÑO-RIVERA, A^{1,2*}; ROYERO-LÓPEZ, L², ORTEGA-CUADROS, M³

RESUMEN

Antecedentes: El fríjol, (*Phaseolus vulgaris* L), leguminosa de mayor consumo mundial, presenta problemas de calidad fitosanitaria. Es afectado por factores que reducen el rendimiento hasta 50% como la sequía, aplicación indiscriminada de agroquímicos y enfermedades de la raíz y foliares. *Macrophomina phaseolina* produce la pudrición carbonosa que reduce el peso del grano, disminuyendo el rendimiento más del 10%. Estas enfermedades se controlan rutinariamente con agroquímicos. Sin embargo, su uso indiscriminado ha ocasionado daños en las características del suelo afectando la producción agrícola en el largo plazo. **Objetivo:** evaluar la compatibilidad entre agroquímicos, bioinsumo y aceite esencial de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf en el control *in vitro* de *M. phaseolina*. **Metodología:** Para la evaluación de la compatibilidad de los agroquímicos con aceite esencial, se utilizaron combinaciones de los agroquímicos del sistema productivo convencional regional, en sus concentraciones recomendadas más la concentración de aceite esencial con mayor inhibición del patógeno y se hizo combinación de los agroquímicos con *Trichoderma* comercial (Trichol®). El aceite esencial se extrajo del material vegetal mediante destilación por arrastre a vapor. Se determinó la concentración mínima inhibitoria (CMI) sobre el patógeno, del aceite esencial de *C. citratus*, de los agroquímicos Lorsban® 2.5% DP, Roundup Brio®, Colizym® 500 SC, Mertect® 500 SC y se evaluó la compatibilidad de cada tratamiento y sus mezclas, con el bioinsumo a concentración de 1g/L. Se hicieron mediciones de crecimiento del patógeno

a los 2, 5 y 7 días. Se analizaron los datos mediante ANOVA y Tukey. **Resultados:** Se presentó inhibición del patógeno de 54,7% a la concentración 800µg/ml y 97,5% a la concentración 1200µg/ml de aceite esencial solo al séptimo día de medición, la mezcla de aceite esencial con la combinación de agroquímicos presentó inhibición de 92,9%. Las concentraciones de los fungicidas de manera independiente presentaron efecto de inhibición de hasta 87%. La mezcla de agroquímicos incrementa la eficiencia sobre la inhibición de *M. phaseolina*. El aceite esencial de *C. citratus* y Colizym® no son compatibles con Trichol®. **Conclusión:** todos los tratamientos fueron efectivos contra el fitopatógeno, pero no hubo compatibilidad entre el aceite esencial de *C. citratus* con Trichol® aplicado de manera simultánea.

Palabras clave: *Macrophomina phaseolina*, aceite esencial, agroquímicos, compatibilidad, fitosanidad.

ABSTRACT

Background: beans (*Phaseolus vulgaris* L), the most widely consumed legume in the world has production problems related to phytosanitary quality mainly due to factors that reduce yields up to 50% as drought, misuse of agrochemicals and diseases affecting root and leaf. *Macrophomina phaseolina* produce charcoal rot disease plants, reducing grain weight up to 65%, causing yield losses greater than 10%. These diseases are routinely controlled with agrochemicals. However, its misuse have caused damage to soil characteristics affecting agricultural production in the long run. **Objectives:** To assess the compati-

¹ Investigador PhD, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), C. I. Motilonia, Codazzi, Cesar.

² Investigador grupo CINBIOS. Programa de Microbiología. Universidad Popular de Cesar.

³ Microbióloga, Estudiante de Maestría en Microbiología y Bio-análisis, Universidad de Antioquia. Mailen.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: atofino@corpoica.org.co

lity of agrochemicals, bioinputs and essential oil extracted from *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf in the *in vitro* control of *M. phaseolina*. **Methods:** For the evaluation of the compatibility of agrochemicals with essential oil, agrochemical combinations of regional conventional production system were used in their recommended concentrations with the concentration of essential oil with greater inhibition of the pathogen and it was made the combination of agrochemicals with commercial Trichoderma (Trichol®). The essential oil was extracted from plant material by steam stripping distillation. It was determined the minimum inhibitory concentration (MIC) over the pathogen of *C. citratus* essential oil and the agrochemicals Lorsban® 2.5% DP, Roundup Brio®, Colizym® 500 SC, Mertect® 500 SC and it was assessed the compatibility of the treatments and its mixture with the bioinputs to concentration of 1g/L. The growth of Pathogen was measured for 2nd, 5th and 7th days. ANOVA and Tukey was applied to analyze the results. **Results:** the pathogen inhibition was 54.7% to concentration 800µg / ml and 97.5% to concentration 1200µg / ml of essential oil just at seventh day of measurement, the mixture of essential oil with agrochemical presented an inhibition of 92.9%. The concentrations of the fungicides showed inhibition effect to 87%. The mixing of agrochemical increases the efficiency on the inhibition of *M. phaseolina*. The essential oil of *C. citratus* and Colizym® are not compatible with Trichol®. **Conclusions:** the treatments were effective against the phytopathogenic, but there was no compatibility between the essential oil of *C. citratus* with Trichol® applied simultaneously.

Keywords: *Macrophomina phaseolina*, essential oil, agrochemicals, compatibility, plant health.

INTRODUCCIÓN

El fríjol (*Phaseolus vulgaris* L), es una de las leguminosas de mayor consumo y producción mundial (1), con una producción ampliamente distribuida, generando 23.2 millones de toneladas anuales (2). Los países latinoamericanos más destacados son México y Brasil, que aportaron en 2010 21,8% de la producción mundial. Colombia, entre el 2000 y 2012 importó 28.321 toneladas anuales (3) y en 2014 produjo 170.534 ton, insuficientes para suplir la demanda interna, constituyéndolo en importador

(4). Dado que el consumo per cápita en el país es de 3,21Kg/persona, más el balance de las cifras de producción e importación indican que el país no es autosuficiente en la producción de fríjol, lo cual exhorta a la agricultura nacional de enfocarse en suplir esta demanda (3). La producción de la Costa Caribe en 2013 fue de 11.455 toneladas, 10,6% de la producción nacional. Del total de la producción Nacional el Cesar aporta 4,4%, siendo el mayor productor en la región y el quinto del país (5). Dentro de las enfermedades del suelo que afectan el fríjol se encuentran las producidas por hongos fitopatógenos, como *Phaeoisariopsis griseola* Sacc, *Fusarium oxysporum*, *Pythium spp*, *Rhizoctonia solani* Kuhn, *Uromyces spp*, *Macrophomina phaseolina*, entre otros de menor importancia (6).

M. phaseolina es un hongo Ascomycota anamórfico, de la familia *Botryosphaeriaceae*; tiene la capacidad de producir esclerocios y picnidios (7), produce la pudrición carbonosa que afecta a más de 500 especies vegetales, incluyendo al fríjol (8). Las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) aportan gran número de medidas para la sostenibilidad del cultivo (8, 9). Dentro de las BPA se incluye el Manejo Integrado de Cultivos (MIC), con medidas de control sobre el uso de agroquímicos y acompañándolos de bioinsumos (10). Se ha registrado en Caribe Seco que los agroquímicos utilizados comúnmente en fríjol, afectan la biota del suelo, especialmente los patógenos, al igual que el desarrollo de *Trichoderma* limitando la efectividad de la aplicación del MIC (11)

Para una sustitución efectiva o reducción en la aplicación de fungicidas e insecticidas, se ha estudiado el efecto de aceites esenciales de *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M.Perry sobre fitopatógenos (12); para el control de *M. phaseolina* con aceites esenciales de *L. alba* y *C. citratus*, no se encontraron reportes científicos. Sin embargo, existe evidencia del efecto de aceites esenciales *Mentha piperita*, *Bunium persicum* and *Thymus vulgaris* (13), *Brassica campestris* (14), *Cymbopogon nardus* (15), *Baccharis dracunculifolia*, *Schinus terebinthifolius* y *Porophyllum ruderale* (16). Por todo lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar la compatibilidad entre agroquímicos, un bioinsumo y aceite esencial *C. citratus* sobre el control *in vitro* de *M. phaseolina*, buscando así generar una estrategia MIC que contribuya a la producción sostenible del fríjol común en el Caribe Seco colombiano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y extracción de aceites esenciales

El material vegetal de *C. citratus* cultivado en parcelas orgánicas en el Centro de investigación Motilonia de CORPOICA, Codazzi, Cesar, (100 msnm). Se cosechó manualmente durante época seca. El aceite esencial se extrajo mediante destilación por arrastre con vapor en el laboratorio de la Universidad de Córdoba.

Aislamiento de patógeno y concentración mínima inhibitoria del aceite esencial

M. phaseolina se aisló de semillas y material vegetal de fríjol sintomático. Se evaluó la actividad antifúngica del aceite contra el patógeno por contacto. Se prepararon concentraciones del aceite esencial (400, 800 y 1200 $\mu\text{g/ml}$) añadiéndolos a medio Papa Dextrosa Agar (PDA) fundido estéril para obtener concentraciones en $\mu\text{g/ml}$ de medio, vertidos en cajas petri con discos de agar de 6 mm del patógeno, incubados por 7 días a 28 °C.

Prueba de compatibilidad entre agroquímicos, *Trichoderma* y aceite esencial para el control de *M. phaseolina*

Se utilizaron los agroquímicos de uso frecuente por los cultivadores de fríjol para evaluar su efecto sobre el desarrollo del patógeno y su afectación sobre el control ejercido por *Trichoderma*, dada la permanencia de estos productos en el suelo y la rizósfera, lo cual puede afectar la acción del bioinsumo aplicado. El efecto de agroquímicos sobre *Trichoderma* y patógenos fue registrado en el Caribe Seco (11), se utilizó una metodología similar pero con modificaciones. Se utilizó la formulación del bioproducto de *Trichoderma viride* (Trichol®), marca Fungicol®. Se utilizaron agroquímicos de uso frecuente en el cultivo de frijol en el Cesar (11) Se aplicó un herbicida: glifosato (Roundup Brio); insecticida: clorpirifós (Lorsban® 2.5% DP); 2 fungicidas: carbendazim (Colizym® 500SC), y tiabendazol (Mertect® 500SC). Se aplicaron las concentraciones recomendadas por la casa comercial. Además, se utilizó mezcla de los agroquímicos (tabla 1). Las cajas con los tratamientos se inocularon con un disco *M. phaseolina* de 6mm de diámetro. Los ensayos se incubaron a 28 °C. Como control se sembró PDA con un disco de inóculo de *M.*

phaseolina. Las mediciones de crecimiento radial se realizaron después de 2, 5 y 7 días, y se compararon con el control. Para determinar el porcentaje de inhibición de los tratamientos sobre el patógeno, se implementó la fórmula porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (MGI) (%) = $[(dc-dt)/dc] \times 100$, donde dc= significa el diámetro crecimiento del micelio en el control de placas de Petri y dt= significa el diámetro crecimiento del micelio de placas de Petri con aceite esencial.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. Los datos se analizaron por ANOVA, test Tukey al 5% utilizando SPSS para Windows v.17.

RESULTADOS

Aislamiento de patógeno y concentración mínima inhibitoria del aceite esencial

La concentración de 400 $\mu\text{g/ml}$ al cabo de los 7 días no causó efecto inhibitorio contra el patógeno, creciendo este en un 100%. La concentración de 800 $\mu\text{g/ml}$ mostró un efecto inhibitorio de 54,7% al 7 día de medición, mientras la concentración de 1200 $\mu\text{g/ml}$ presentó un efecto de inhibición de 97,5%, superando así el 80% de inhibición, suficiente para considerarse como concentración mínima inhibitoria (CMI).

Prueba de compatibilidad entre agroquímicos, *Trichoderma* y aceite esencial para el control de *M. phaseolina*

Los tratamientos presentaron efecto inhibitorio sobre el crecimiento de *M. phaseolina* excepto el herbicida Roundup Brio®. Los fungicidas Colizym® 500 SC y Mertect® 500 SC presentaron un alto porcentaje de inhibición 87,6% y 86,7%, respectivamente. La mezcla de agroquímicos potencializa el efecto inhibitorio de los fungicidas, alcanzando un porcentaje del 92,9% de manera similar a la mezcla de los agroquímicos con el aceite esencial *C. citratus*. Los resultados del insecticida evidencian efecto inhibitorio leve sobre el crecimiento de *M. phaseolina*. En el tratamiento de Trichol®, se observa crecimiento del patógeno en el día 2 de medición, pero en los días 5 y 7 el bioinsumo afecta el crecimiento del patógeno, y retrocede su crecimiento hasta desaparecerlo, evidenciando la eficiencia del producto Trichol®.

En el tratamiento de mezcla de agroquímicos más Trichol®, aunque hay inhibición completa del patógeno, también se afecta en 100% el crecimiento del bioinsumo, evidenciando incompatibilidad de

agroquímicos y bioinsumos utilizados simultáneamente. El tratamiento del aceite esencial (DMI) más Trichol® evidencia control tanto del patógeno como inhibición del crecimiento el bioinsumo.

Tabla 1. Crecimiento radial del patógeno en diferentes tratamientos. Prueba de Tukey

Codificación	Tratamientos	Ingrediente activo	Dosis	Crecimiento radial
C00	Control	PDA		4,2d
I01	Lorsban® 2.5% DP	Clorpirifós	100g/m ²	2,8c
H02	Roundup Brio®	Glifosato	250ml/18L	4,2d
F03	Colizym® 500 SC	Carbendazim	0,8ml/L	0,5b
F04	Mertect® 500 SC	Tiabendazol	0,9ml/L	0,6b
M05	Mezcla Agroquímicos		SA	0,3ab
T06	Trichol®	T. viride	1g/L	0,0a
M07	Mezcla Agroquímicos + AE		SA + CMI	0,3ab
M08	Mezcla Agroquímicos + Trichol®		SA + Tri	0,3ab
M09	Trichol® + AE		Tri + CMI	0,4ab
M10	AE	C. citratus	CMI	0,03a

($P \leq 0,05$). SA: suma de concentraciones de agroquímicos; AE: Aceite esencial; CMI: concentración mínima inhibitoria Tri: concentración de Trichol®. Mediante las letras en la columna de crecimiento radial, se hace referencia a las diferentes significancias de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

DISCUSIÓN

Respecto a los agroquímicos evaluados y el bioinsumo, se obtuvo inhibición del crecimiento de *M. phaseolina*, excepto el Roundup Brio®. La combinación de los agroquímicos mezclados con Trichol® potenció el espectro de inhibición del patógeno; Se presentó compatibilidad entre Trichol® con Lorsban® y Mertect®, e incompatibilidad con Colizym®, resultados similares se han registrado en fríjol cultivado en Caribe Seco (11). El aceite esencial *C. citratus* presentó actividad inhibitoria sobre *M. phaseolina*, reportes similares se han generado para otros aceites esenciales sobre el mismo patógeno (13) (15) frente al mismo fitopatógeno, aunque en concentraciones diferentes. El aceite esencial mezclado con Trichol®, no presentó compatibilidad, dado que inhibió el crecimiento tanto del patógeno como del *Trichoderma*. De acuerdo a los resultados obtenidos, para la implementación o diseño de una estrategia MIC para mitigar el uso de agroquímicos (fungicidas e insecticidas) para el control de fitopatógenos, el Trichol® es un producto eficiente. Sin embargo, la medición de la severidad del daño por la enfermedad se evalúa en fríjol a los 5 días después de la infección en el método de discos, 7

días bajo el método de hojas cotiledonales y 28 días en plántulas. Por lo cual podría considerarse que el efecto controlador de *Trichoderma* de 5-7 días estaría dentro del rango apropiado para evitar la máxima expresión del daño de la enfermedad en plantas afectadas (17). Adicionalmente, se registran estudios en especies forestales donde se indica que la incidencia de la enfermedad está directamente relacionada con la población de esclerocios en el suelo, siendo concentraciones superiores a 100 UFC/g de suelo las que ocasionan mortalidad superior a 60% de las plántulas (18). De acuerdo con lo anterior, se recomendaría evaluar la concentración de esclerocios de *Macrophomina* en el suelo antes de la siembra del fríjol para determinar la estrategia MIC a aplicar, especialmente los momentos de aplicación de los bioinsumos propuestos en este trabajo. Los aceites esenciales podrían ser prometedores bioinsumos e incluso, podría implementarse estudios que propicien la compatibilidad de estos dos productos manipulando los tiempos de aplicación de acuerdo al tiempo de acción y/o vida media de cada compuesto activo *in vitro* sobre el patógeno y probados en plantaciones de frijol.

CONCLUSIÓN

Trichol®, el aceite esencial *C. citratus* y los agroquímicos a excepción de Roundup Brio®, fueron efectivos sobre *M. phaseolina*. Los ensayos de compatibilidad evidenciaron que la implementación de una estrategia MIC a base de la mezcla de Trichol® con aceite esencial de *C. citratus* no puede usarse de manera simultánea. Sin embargo, se recomienda plantear estudios para evaluar los intervalos de tiempo de acción de cada producto para mejorar el control del patógeno y estudiar la posibilidad de implementar un producto comercial a base de aceite esencial para el control del patógeno en cultivos de frijol.

REFERENCIAS

- Broughton WJ, Hernandez G, Blair M, Beebe S, Gepts P, Vanderleyden J. Beans (*Phaseolus* spp.)—model food legumes. *Plant Soil*. 2003; 252: 55-128
- Secretaría de Economía de México. Análisis de la Cadena de Valor del Frijol. [Internet] Mexico: Secretaría de Economía de México. 2012. [Citado noviembre 12 de 2015]. Disponible en: www.economia.gob.mx/files/.../analisis_cadena_valor_frijol.pdf
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas. Situación del frijol en Colombia. [Internet]. Bogotá: Fenalce. 2013. [Citado 20 de Noviembre de 2015]. Disponible en: http://www.fenalce.org/nueva/plantillas/arch_down_load/Presentacion_Frijol.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Filtros / Producción / Cultivos. [Internet]. 2015. [Citado 27 de Noviembre de 2015]. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/S>
- AGRONET. Comparativo en la producción de Frijol en departamentos de Atlántico-Bolívar-Cesar-Córdoba-La Guajira-Magdalena-Sucré, 2010-2013. [Internet]. Bogotá: Agronet. 2014. [Citado 22 de Diciembre de 2015] Disponible en: http://207.239.251.112/www/htm3b/ReportesAjax/parametros/reporte25_2011.aspx?cod=2
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Guía de identificación y manejo integrado de enfermedades del frijol en América Central. IICA. Proyecto Red SICTA, COSUDE, Managua, ICTA 2008. 32 p
- Hernández-Mendoza JL, Sánchez-Pérez MI, González-Prieto JM, Quiroz-Velásquez JD, García-Olivares JG, Gill-Langarica HR. Antibiosis of *Trichoderma* spp strains native to northeastern Mexico against the pathogenic fungus *Macrophomina phaseolina*. *Braz. J. Microbiol*. 2015; 46(4): 1093-1101.
- Singleton LL, Mihail JD, Rush CM (Eds.). Methods for research on soilborne phytopathogenic fungi, APS Press, Minnesota. 2001; 134-136 p.
- Chamorro M, Miranda L, Domínguez P, Medina JJ, Soria C, Romero F, López Aranda JM, De los Santos B. Evaluation of bio-solarization for the control of charcoal rot disease (*Macrophomina phaseolina*) in Strawberry. *Crop Protection*. 2015; 279-286.
- Pereira JL, Picanço MC, Pereira EJ, Silva AA, Jakelaitis A, Pereira RR., Xavier VM. Influence of crop management practices on bean foliage arthropods. *Bull Entomol Res* 2010; 100(6): 679-688.
- Melo A, Ariza P, Lissbrant S, Tofiño, A. Evaluation of agrochemicals and bioinputs for sustainable bean management on the Caribbean coast of Colombia. *Agron. Colomb*. 2015; 33(2): 203-211.
- Costa ART, Amaral MFZJ, Martins PM, Paula JAM, Fiuza TS, Tresvenzol LMF, et al. Ação do óleo essencial de *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M.Perry sobre as hifas de alguns fungos fitopatogênicos. *Rev. Bras. plantas med*. 2011; 13(2): 240-245
- Khaledi N, Taheri P, Tarighi S. Antifungal activity of various essential oils against *Rhizoctonia solani* and *Macrophomina phaseolina* as major bean pathogens. *J Appl Microbiol*. 2015; 118(3):704-17
- Farooq S, Khan SN, Naz S, Mohy-ud-din A. Antifungal potential of Brassica campestris against *Macrophomina phaseolina*, *Fusarium oxysporum* and *Drechslera australiensis*. *Mycopath*. 2013; 11(2): 71-74.
- Sánchez GC, Cruz M, Esther LM, Leiva MM, Cruz MM, Alvarado CY, et al. Actividad antifúngica del aceite esencial de *Cymbopogon nardus* para el control de *Macrophomina phaseolina*. *Centro Agrícola*. 2008; 35(3): 83-86
- Fonseca MCM, Lechner MS, Gonçalves MG, Paula Júnior TJ, Silva AF, Bonfim FPG. et al. Potencial de óleos essenciais de plantas medicinais no controle de fitopatógenos. *Rev. bras. plantas med*. 2015; 17(1): 45-50.
- Bañuelos-Baladrán J, Mayek-Pérez N. Evaluación no Destructiva de la Patogenicidad de *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. en Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev. mex. fitopatol*. 2008; 26(1): 71-75.
- Gacitúa Arias S, Sanfuentes Von Stowasser E, Rubilar Pons R. Efecto de la densidad de inóculo y humedad del suelo en la incidencia de la pudrición carbonosa de la raíz (*Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid.) en plántulas de *Pinus radiata* D. Don. [Medio electrónico]. España: Sociedad Española de Ciencias Forestales junta de Castilla y León Ávila: septiembre 2009.

EVALUACIÓN IN VITRO DE COMPATIBILIDAD DE AGROQUÍMICOS, BIOINSUMOS Y ACEITE ESENCIAL SOBRE EL CONTROL DE *Colletotrichum gloeosporioides* AISLADO DE AJÍ

IN VITRO EVALUATION OF COMPATIBILITY OF AGROCHEMICALS, BIOINPUTS AND ESSENTIAL OIL ON THE CONTROL OF *Colletotrichum gloeosporioides* ISOLATED FROM PEPPER

TOFIÑO-RIVERA, A^{1,2}; CHINCHILLA-SÁNCHEZ, K²; ORTEGA-CUADROS, M³

RESUMEN

Antecedentes: El ají (*Capsicum annuum*) es una hortaliza de gran interés en el mundo debido a su calidad condimentaria y contenido en vitamina C. En el país, las zonas de cultivo priorizadas son costa norte, zona cafetera, y Valle del Cauca aunque la producción promedio puede alcanzar 9 t/ha/año, la baja aplicación de BPM resta competitividad del sistema productivo. Adicionalmente, el diagnóstico del sector en Colombia no registra cifras de manejo fitosanitario por la escases de productos específicos al cultivo para el control de plagas y enfermedades. No obstante, un problema limitante es la incidencia de antracnosis, causada por *Colletotrichum spp*, que ocasiona grandes pérdidas antes y después de la cosecha. Por lo tanto, es necesaria la búsqueda de alternativas sostenibles para su control. **Objetivo:** validar el efecto *in vitro* del aceites esencial de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf y su interacción con agroquímicos y bioinsumos para el control de *Colletotrichum gloeosporioides*. **Metodos:** el aceite esencial se extrajo de *C. citratus* (mediante destilación por arrastre con vapor. Se aisló e identifico el patógeno en plántulas de ají. Se halló la concentración mínima de aceite y se realizaron ensayos *In vitro* aplicando agroquímicos y el aceite esencial para analizar su compatibilidad con Trichol® y el efecto sobre el control del patógeno. Se hicieron mediciones de crecimiento radial a los 2, 5 y 7 días, y en el último día se midió esporulación en cámara de Neubauer.

Resultados: La concentración mínima inhibitoria fue de 1000 uL. El uso de fungicidas inhiben en alto porcentaje a *C. gloeosporioides* hasta el 88%. La mezcla de agroquímicos y aceite esencial aumenta la inhibición del patógeno. El tratamiento con Trichol, controla el patógeno 100%, pero es incompatible con aceite esencial *C. citratus* y Colizym® **Conclusión:** los fungicidas aplicados fueron efectivos contra el Fitopatógeno, pero no hubo compatibilidad entre agroquímicos y bioinsumos en aplicación simultánea. Se recomiendan estudios de vida del efecto del aceite para articular su uso con bioinsumos

Palabras clave: *Capsicum annuum*, *Colletotrichum gloeosporioides*, aceites esenciales, biocontrol, agroquímicos.

ABSTRACT

Background: The pepper (*Capsicum annuum*) is a vegetable of great interest in the world because of its spice quality and vitamin C content. In the country, cultivation areas prioritized are north coast, coffee area, and Valle del Cauca although the average production can reach 9 t/ha/year, the low implementation of MGP reduces the competitiveness of the productive system. Additionally, the diagnosis of the sector in Colombia does not record figures phytosanitary management by the scarcity of specific products to control crop pests and diseases. However, a limiting problem is the incidence of anthracnose caused by *Colletotri-*

¹ Investigador PhD, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), C. I. Motilonia, Codazzi, Cesar. atofino@corpoica.org.co

² Investigador grupo CINBIOS, Universidad Popular de Cesar. kschinchilla@unicesar.edu.co

³ Microbióloga, Estudiante de Maestría en Microbiología y Bio-análisis, Universidad de Antioquia. Mailen.ortega@udea.edu.co

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia atofino@corpoica.org.co

chum spp, which causes large losses before and after harvest. Therefore, the search for sustainable alternatives for its control is necessary. **Objective:** To validate the *in vitro* effect of the essential oil of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf and its interaction with agrochemicals and bio-input to control *Colletotrichum gloeosporioides*. **Methods:** The essential oil is extracted from *C. citratus* by steam stripping distillation. It was isolated and identified the pathogen in pepper seedlings. The minimum concentration of oil was found and *in vitro* assays were performed by applying agrochemicals and essential oil for analyzing its compatibility with Trichol® and the effect on the control of the pathogen. Radial growth measurements at 2nd, 5th and 7th days were made, and on the last day, the sporulation was measured in a Neubauer chamber. **Results:** The minimum inhibitory concentration was 1000uL. The use of fungicides inhibit on a high percentage to *C. gloeosporioides* to 88%. The mixture of agrochemicals and essential oil increased inhibition of the pathogen. Trichol® treatment controls the pathogen 100%, but it is incompatible with *C. citratus* essential oil and Colizym®. **Conclusion:** Fungicides applied were effective against plant pathogen, but there was no compatibility between agrochemicals and bio-inputs in simultaneously application. It is recommended life studies of the effect of oil to joint its use with bio inputs.

Keywords: *Capsicum annuum*, *Colletotrichum gloeosporioides*, essential oils, biocontrol, agrochemicals.

INTRODUCCIÓN

El ají (*Capsicum annuum*), es una hortaliza de gran interés mundial debido a su alto contenido en fenoles, flavonoides, carotenoides y ácido ascórbico, sus cualidades culinarias y beneficios a la salud (1, 2). El análisis de mercado de ají plantea alta demanda mundial y en crecimiento (3). En Colombia, las zonas de cultivo priorizadas son Costa Atlántica, Santander, zona cafetera y Valle del Cauca, cuya producción promedio puede alcanzar 9 t/ha/año, que podría incrementarse a 25 t/ha/año si se siguen buenas prácticas de manejo del cultivo (BPM) (4). El comercio mundial de ají, se basa en el cumplimiento del Codex Alimentario que asegura la obtención de productos con calidad (5). Sin embargo, el diagnóstico nacional no registra cifras de manejo fitosanitario, aunque el mal manejo del

agua, nutrientes y las condiciones climáticas, intervienen en la proliferación de plagas y enfermedades (6). Entre los limitantes de la producción están las enfermedades fúngicas, como la antracnosis, causada por *Colletotrichum spp*, que afectan el fruto (7).

En la Costa Caribe no se registran estudios que revelen la incidencia de antracnosis y las pérdidas sobre ají, tampoco se refieren tecnologías que mejoren el manejo del suelo y reduzcan estreses bióticos. Sin embargo, se ha registrado que el mayor rendimiento se consigue con aplicaciones de una fuente química completa, materia orgánica y micorrizas arbusculares (6). Igualmente, el uso de bioinsumos como *Trichoderma sp* es una alternativa viable para el control de patógenos (8). Aunque en ají, el manejo convencional es el más utilizado, la transformación productiva hacia exportación requiere la aplicación de estrategias de manejo integrado de cultivos (MIC), con inclusión de agroquímicos de baja residualidad y bioinsumos que controlen con precisión el agente causal y actúen de forma integrada con las buenas prácticas de manejo (9). En este ensayo se incluyeron resultados preliminares en Costa Atlántica, en la que se identificaron agroquímicos compatibles con bioinsumos (10).

Dentro de las alternativas sostenibles estudiadas, están los aceites esenciales y extractos vegetales, por su potencial antifúngico y antibacteriano, (11); control de enfermedades en plantas como antracnosis (12) y actividad biológica de metabolitos implicados en el control de plagas y enfermedades (13). Específicamente, el aceite de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, ha sido evaluado en el control de antracnosis y otras enfermedades (14; 13). El objetivo de esta investigación fue validar el efecto *in vitro* del aceite de *C. citratus* y su interacción con agroquímicos y bioinsumos sobre el control de *C. gloeosporioides* aislado de ají.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y extracción de aceite esencial de *C. citratus*

El material vegetal de *C. citratus* cultivado en parcelas orgánicas en el Centro de investigación Motilonia de CORPOICA, Codazzi, Cesar, (100 msnm). Se cosechó manualmente durante época seca. El aceite esencial se extrajo mediante destilación por arrastre con vapor en el laboratorio de la Universidad de Córdoba.

Aislamiento e Identificación de patógeno, producción de Inoculo y conservación de cepas

C. gloeosporioides, se aisló de muestras de plantas sintomáticas de ají. El hongo se mantuvo en agar Papa Dextrosa Agar (PDA) a 25°C y luego en suspensión de conidios a $1,7 \times 10^6$ UFC/mL en agua destilada estéril (12).

Evaluación de la actividad antifúngica del aceite esencial de *C. citratus* sobre *C. gloeosporioides* y determinación de concentración mínima inhibitoria

Se evaluó la actividad antifúngica del aceite esencial sobre el patógeno, a concentraciones de 473.5, 750 y 1000 $\mu\text{g/mL}$ de aceite añadidas a matraces con PDA fundido estéril para obtener concentraciones en $\mu\text{L/mL}$ de medio. Se utilizaron discos de agar de 6 mm de diámetro de micelio de *C. gloeosporioides* en crecimiento activo y se colocaron en el centro de cada placa de Petri, se incubaron por 7 días a 28 °C. Se midió el diámetro de la colonia y se expresó como porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (MGI) con la fórmula, $\text{MGI} (\%) = [(dc-dt)/dc] \times 100$, donde $dc =$ es el diámetro crecimiento del micelio en el control de la caja de Petri y $dt =$ es el diámetro crecimiento del micelio con aceite esencial. La concentración mínima inhibitoria (MIC) del aceite se considera como la concentración más baja del aceite que dio 100% de inhibición en el crecimiento del micelio.

Prueba de compatibilidad de agroquímicos y bioinsumos

La metodología se realizó siguiendo lo propuesto por Melo et al., 2015 (10) con algunas modificaciones. El patógeno se sometió a medios envenenados bajo diferentes tratamientos: insecticida (Lorsban®),

herbicida (Glifosato®), fungicidas (Colizym® y Mertect®), utilizando las dosis comerciales recomendadas. Además, se utilizó la mezcla de los agroquímicos con las dosis recomendadas y Trichol®. De la misma forma, se utilizó el aceite esencial de *C. citratus*. Posteriormente, se hizo la evaluación de compatibilidad de los agroquímicos con aceite esencial, utilizando las concentraciones recomendadas más la concentración de aceite esencial con mayor porcentaje de inhibición. Se hicieron las mezclas con Trichol® en PDA (tabla 1) y se determinó el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial y Trichol®.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar, con cinco repeticiones. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey al 5%.

RESULTADOS

Evaluación de la actividad antifúngica del aceite esencial de *C. citratus* sobre *C. gloeosporioides* y determinación de concentración mínima inhibitoria

La concentración de 473.5 $\mu\text{g/mL}$ a los 7 días presentó una inhibición de 9,8% lo que indica bajo efecto contra el patógeno. La concentración de 750 $\mu\text{g/mL}$ tuvo un efecto inhibitorio de 44,8% a los 7 días. El ensayo con la concentración de 1000 $\mu\text{g/mL}$ demostró una inhibición del 100% lo cual se considera como la concentración mínima inhibitoria (CMI).

Prueba de compatibilidad de agroquímicos y bioinsumos en el control de *C. gloeosporioides*

Tabla 1. Crecimiento radial del patógeno en diferentes tratamientos.

Codificación	Tratamientos	Ingrediente activo	Dosis	Crecimiento radial
I01	Lorsban® 2.5% DP	Clorpirifós	100g/m ²	1,8b
H02	Roundup Brio®	Glifosato	250mL/18L	4,2d
F03	Colizym® 500 SC	Carbendazim	0,8mL/L	0,5b
F04	Mertect® 500 SC	Tiabendazol	0,9mL/L	0,5b
M05	Mezcla Agroquímicos		SA	0,4b
T06	Trichol®	Trichoderma viride	1g/L	0,0a
M07	Mezcla Agroquímicos + AE		SA + CMI	0,3ab
M08	Mezcla Agroquímicos + Trichol®		SA + Tri	0,4b
M09	Trichol® + AE		Tri + CMI	0,4ab

Prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). SA: suma de concentraciones de agroquímicos; AE: Aceite esencial; CMI: concentración mínima inhibitoria Tri: concentración de Trichol®. Mediante las letras en la columna de crecimiento radial, se hace referencia a las diferentes significancias de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Las dosis evaluadas de los fungicidas Colizym® y Mertec®, inhibieron significativamente el patógeno con porcentajes de 100 y 86,7% respectivamente. Por otra parte, el tratamiento aplicado con Roundup Brio® no presentó efecto inhibitorio mientras que Lorsban®, inhibió el 55,2%. La mezcla de agroquímicos, aumentó el efecto inhibitorio sobre el patógeno con porcentaje del 89% mientras la mezcla de agroquímicos con aceite esencial presento un 92,9% de inhibición. El tratamiento con Trichol®, presento crecimiento del patógeno el día 2, pero en los días 5 y 7 afectó el crecimiento y evidenció una alta inhibición del 100%. La aplicación de mezcla de agroquímicos más Trichol®, mostró inhibición del patógeno del 84,93%. Sin embargo, no hubo crecimiento del bioinsumo, lo que indica incompatibilidad con los agroquímicos. De igual forma, la mezcla de Trichol® más aceite inhibe el crecimiento del patógeno pero al mismo tiempo inhibe el crecimiento del bioinsumo *Trichoderma*.

DISCUSIÓN

El tratamiento con aceite esencial *C. citratus* a una concentración de 1000 $\mu\text{g/mL}$, tiene efecto inhibitorio del 100% sobre *C. gloeosporioides*, resultados similares a los reportados por Vivas *et al.*, 2011 (15) sobre *Colletotrichum acutatum*. Respecto a los agroquímicos evaluados y el bioinsumo (Trichol®), se obtuvo inhibición del crecimiento de *C. gloeosporioides*, excepto el Roundup Brio®. Colizym® presentó inhibición significativa similares a las reportadas (9). La combinación de los agroquímicos y Trichol® potenció la actividad inhibitoria del patógeno, sin embargo, se presentó compatibilidad entre Trichol® con Lorsban® y Mertect®, e incompatibilidad con Colizym®, resultados similares se han registrado en sistemas productivos de fríjol en el Caribe Seco (10). En este sentido, el bioinsumo, los agroquímicos y el aceite esencial utilizados individualmente son efectivos para el control de *C. gloeosporioides*. Aunque, no hay compatibilidad entre el aceite y el Trichol®, situación que amerita atención e implementación de estudios *in vitro* sobre el patógeno y en el cultivo,

que propicien la compatibilidad de estos productos naturales manipulando el momento de aplicación de acuerdo al tiempo de acción y/o vida media de cada compuesto activo; dado los registros de toxicidad de fungicidas, insecticidas y herbicidas utilizados (8).

CONCLUSIÓN

A pesar que los agroquímicos evaluados (excepto Roundup Brio®), el aceite esencial *C. citratus* y Trichol®, son efectivos en el control de *C. gloeosporioides* cuando son utilizados individualmente, el uso combinado con Trichol® no resultó compatible, pues inhiben su crecimiento; lo cual sugiere que la implementación de una estrategia MIC requiere un conocimiento de los tiempo de vida media de los metabolitos implicados en la bioactividad.

REFERENCIAS

- Zhuang Y, Chen L, Sun L, Cao J. Bioactive characteristics and antioxidant activities of nine peppers. *J Funct Foods*. 2012; 4(1): 331-338
- Quipo-Muñoz FE, Rojas-Pérez JA, Ramírez-Muñoz AM, Ordoñez-Santos LE. Cambios en la Vitamina C y el Color durante la Cocción del Pimentón Verde (*Capsicum Annuum* L). *Tecno Lógicas*. 2013; 141-150
- Ministerio de comercio industria y turismo, Asohfrucol. Plan de Negocios de Ají, [Internet]. Bogota: Programa de Transformación Productiva. 2013. [Citado 20 de noviembre de 2015]. Disponible en: <https://www.ptp.com.co/documentos/PLAN%20DE%20NEGOCIO%20AJ%20C3%8D%20diciembre.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. Apuesta Exportadora Agropecuaria [Internet]. Bogota: MADR. 2006. [Citado 20 de noviembre de 2015]. Disponible en: 207.239.251.110:8080/jspui/bitstream/11348/6004/1/006.pdf
- Organización mundial de la salud. Las nuevas normas de las Naciones Unidas sobre inocuidad de los alimentos y nutrición beneficiarán los consumidores. [Internet]. Ginebra: OMS. 2013. [Citado 15 de diciembre de 2015]. Disponible en: http://www.who.int/mediacentre/news/notes/2013/codex_alimentarius_20130708/es
- Rodríguez Araujo EA, Bolaños Benavides MM, Menjivar Flores JC. Efecto de fertilización en la nutrición y rendimiento de ají. *Acta Agron*. 2010; 59(1): 55-64
- Harp TL, Pernezny K, Lewis-Ivey ML, Miller SA, Kuhn PJ, Datnoff L. The etiology of recent pepper anthracnose outbreaks in Florida. *Crop Protection*. 2008; 27: 1380-1384
- Martínez B, Infante Danay, Reyes Yusimy. *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Rev. Protección Veg*. 2013; 28(1): 1-11
- Gaviria-hernández V, Patiño-hoyos LF, Saldarriaga-cardona A. Evaluación *in vitro* de fungicidas comerciales para el control de *Colletotrichum* spp en mora de castilla. *Corpoica cienc. tecnol. Agropecu*. 2013; 14(1): 67-75
- Melo A, Ariza P, Lissbrant S, Tofiño, A. Evaluation of agrochemicals and bioinputs for sustainable bean management on the Caribbean coast of Colombia. *Agron. Colomb*. 2015; 33(2): 203-211
- Nguefack J, Leth V, Amvam-Zollo PH, Mathur SV. Evaluation of five essential oils from aromatic plants of Cameroon for

- controlling food spoilage and mycotoxin producing fungi. *Int J Food Microbiol.* 2004; 94: 329-334
12. Hong J K, Yang HJ, Jung H, Yoon DJ, Sang MK, Jeun Y. Application of Volatile Antifungal Plant Essential Oils for Controlling Pepper Fruit Anthracnose by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Plant Pathol J.* 2015; 31(3): 269-277
 13. Pérez-Leal R, Soto-Parra JM, Villa-Martínez A, Morales-Morales HA, Martínez-Escudero E, Basurto-Sotelo M. Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta Agron* 2015; 64: 194-205
 14. Anaruma ND, Schmidt FL, Duarte MCT, Figueira GM., Delarmelina C, Benato EA et al. Control of *Colletotrichum gloeosporioides* (penz.) Sacc. In yellow passion fruit using *Cymbopogon citratus* essential oil. *BJM.* 2010; 41(1): 66-73
 15. Vivas M, Gomes D, Pereira AJ, Silva JM. Inibição do crescimento micelial de *Colletotrichum acutatum* por extrato aquoso e óleo essencial de *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf e *Corymbia citriodora* Hill & Johnson. *Biologia e farmacia.* 2011; 05(02): 83-88

INFLUENCIA DE PRESIÓN Y TIEMPO EN PROPIEDADES SENSORIALES, BROMATOLÓGICAS Y MICROBIOLÓGICAS EN PRODUCTO A BASE DE BERENJENA (*Solanum melongena L*)

INFLUENCE OF PRESSURE AND TIME ON SENSORIAL, BROMATOLOGICAL AND MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF AN EGGPLANT BASED PRODUCT (*Solanum melongena L*)

Luis Carlos BALETA MEDRANO. M.Sc.^{1*}, Rafael Emilio GONZÁLEZ CUELLO. PhD.², Ricardo PEÑA FLÓREZ. M.Sc.³.

RESUMEN

Antecedentes: La berenjena (*Solanum melongena*) es una planta herbácea de la familia de las Solanáceas; es de color verdoso, negro, morado, blanco, blanco jaspeado de morado, lila u oscuro que suele tener forma redondeada, periforme u ovalada y de variada longitud. **Objetivos:** El objetivo del presente trabajo fue evaluar la influencia de la presión y el tiempo en las propiedades sensoriales, bromatológicas y microbiológicas de un producto transformado a base de Berenjena (*Solanum melongena L*). **Métodos:** Se realizó un diseño utilizó un diseño factorial 22 donde los factores fueron la presión (10 y 20 psi) y el tiempo de exposición (5 y 10 min) a una temperatura constante. Se hicieron lecturas de análisis bromatológicos, microbiológicos y sensoriales mediante escala hedónica. **Resultados:** Los resultados obtenidos muestran que es posible utilizar combinaciones de tiempo (5, 10 min) y presión adecuadas (10, 20 psi) para obtener conservas a base de berenjenas de buena calidad microbiológica sensorial y bromatológica. **Conclusión:** Las combinaciones de tiempo y presión empleadas sobre las conservas a base de berenjena, mejoran la calidad microbiológica sin afectar la calidad sensorial y bromatológica.

Palabras clave: Bromatología, análisis sensorial, microbiología de alimentos, berenjena.

ABSTRACT

Background: The eggplant (*Solanum melongena*) is a herbaceous plant of the family Solanaceae; It is greenish, black, purple, white, mottled purple, lilac or darker than usually rounded, pear-shaped or oval and length varied. **Objectives:** The aim of this study was to evaluate the influence of pressure and exposition time on sensorial, bromatological and microbiological properties of an Eggplant based product (*Solanum melongena L*). **Methods:** A factorial design 22 was employed, where factors were pressure (10 and 20 psi) and exposure time (5 and 10 min) at constant temperature. Bromatological, microbiological and sensorial analyzed were performed. **Results:** : the results obtained showed that is possible employs combinations of time exposition (5 and 10 min) and pressure (10 and 20 psi) appropriate in order to obtain an Eggplant based product with suitable microbiological, bromatological and sensorial properties. **CONCLUSION:** The combination of time and pressure employed on eggplant based product, improve the microbiological quality without affecting the sensorial and bromatological quality.

Keywords: Sensorial analyzes, eggplant, sensorial analysis, bromatology, food microbiology.

¹ Corporación Universitaria Antonio José de Sucre. Sincelejo (Colombia). Profesor Asociado.

² Universidad de Cartagena. Cartagena (Colombia). Docente de planta.

³ Universidad Cooperativa de Colombia. Arauca (Colombia). Coordinador de Laboratorios

* Autor a quien debe dirigirse correspondencia: [HYPERLINK "mailto:luis_baleta@corposucre.edu.co"luis_baleta@corposucre.edu.co](mailto:luis_baleta@corposucre.edu.co)

INTRODUCCIÓN

La berenjena (*Solanum melongena*) es una planta herbácea de la familia de las Solanáceas, originaria de las zonas tropicales y subtropicales de Asia (1, 2). La producción mundial de berenjena es de 34 millones de toneladas aproximadamente (3). En Colombia la producción de berenjena fue de 3016 tons en el año 2015. Esta planta herbácea es cultivada en el Caribe Colombiano en departamentos tales como Córdoba, Magdalena, Sucre y Bolívar (4).

La berenjena es un producto de gran importancia a ser estudiado debido principalmente a su composición nutricional (5, 3). Además, contiene ácido ascórbico y compuestos fenólicos que le confieren un gran poder antioxidante, principalmente asociado a algunos efectos terapéuticos positivos (6, 7, 8, 9). Se han realizado múltiples estudios sobre la berenjena en las cuales se incluye la optimización del proceso de extracción de antocianinas y su capacidad antioxidante (10), la microencapsulación de antocianinas provenientes de berenjena (11). Hasta el momento no se han realizado estudios sobre la influencia de factores como la presión y el tiempo de exposición sobre las propiedades microbiológicas, sensoriales y bromatológicas de la berenjena (*Solanum melongena*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de la materia prima

Se utilizó como materia prima frutos de berenjena obtenidas en el departamento de Sucre (Colombia) primordialmente en la zona de montaña de los Montes de María y en zonas de sabanas.

Procesamiento de conservas

Posterior al proceso de limpieza y desinfección de las berenjenas se realizaron los procesos de pelado y troceado en láminas de 1 cm de ancho x la longitud. Posteriormente, las preparaciones anteriores son sometidas a un proceso de escaldado bajo la influencia de ácidos orgánicos a 82 °C, durante 3 minutos.

Protocolo de conservación

Para evaluar el mecanismo de conservación se utilizó un diseño factorial 22 donde los factores fueron la presión (10 y 20 psi) y el tiempo de ex-

posición (5 y 10 min) a una temperatura constante. Utilizando para tal fin un autoclave vertical automática Numak ZX-50KBS.

Análisis bromatológicos

Los análisis de humedad, proteínas, grasas, carbohidratos, cenizas fueron llevados a cabo conforme lo establecen los métodos de la AOAC, (2003). El pH fue determinado con un potenciómetro digital (Thompson PHS - 3BW), Lo grados Brix por medio de un refractómetro Hanna (HI96801). Todos los análisis fueron realizados por triplicado.

Evaluación sensorial

La evaluación sensorial (color, olor, sabor y aceptación general) de las conservas de berenjena, se llevó a cabo con un panel de 30 jueces (estudiantes universitarios escogidos al azar con edades entre 17 y 20 años). Este análisis se basó en una escala hedónica de 10 puntos (1, me disgusta extremadamente; 10 me gusta extremadamente). Las muestras se presentaron en recipientes plásticos libres de olores y bajo las mismas condiciones para todos los jueces.

Análisis microbiológicos

Se tomaron 11 g de las conservas y se adicionaron en 99 mL de agua de peptona, posteriormente se realizaron diluciones seriadas consecutivas y finalmente se estimó concentración bacteriana de: mohos y levaduras, aerobios mesófilos y coliformes fecales utilizando agar sabouraud, agar plate count y caldo bilis verde brillante respectivamente, según la Norma Técnica Colombiana 792 (NTC 792).

Análisis de los datos

Las diferencias entre los valores promedio fueron determinados mediante ANOVA (un factor) utilizando la prueba tukey a un nivel de confianza de ($P < 0.05$), por medio del programa de computo SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versión 17.0 para Windows (SPSS Inc. Chicago, IL, USA).

RESULTADOS

Los resultados de los análisis microbiológicos llevados a cabo se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Análisis microbiológico de las conservas a base de Berenjena

Tiempo (min)	Presión (psi)	Hongos y levaduras (UFC/g)	Aerobios mesófilos (UFC/g)	Coliformes fecales (UFC/g)	E. coli (UFC/g)
5	10	< 10	<10	<3	<3
10	10	< 10	<10	<3	<3
5	20	< 10	<10	<3	<3
10	20	< 10	<0	<3	<3

Análisis Bromatológico de las conservas a base de Berenjena

El análisis bromatológico de las conservas se presenta en la tabla 2

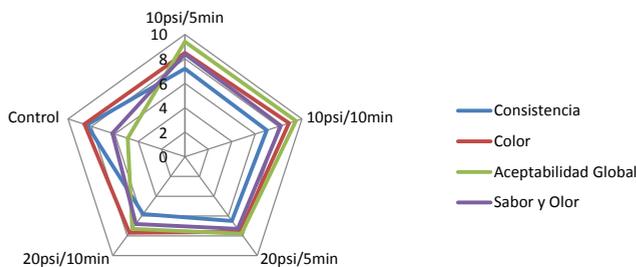
Tabla 2. Análisis bromatológico de las conservas de berenjena sometidas a diferentes presiones y temperaturas.

Tiempo (min)	Presión (psi)	pH	°Brix	Humedad	Cenizas	Carbohidratos	Grasa	Proteína
5	10	4,6±0,2a	8,3±0,0a	74,8±0,2a	0,53±0,0a	6,3±0,6a	5,6±0,6a	1,2±1,2a
10	10	4,5±0,4a	8,2±0,2a	72,7±0,5b	0,54±0,2b	6,1±0,3b	5,5±0,7b	1,1±1,0b
5	20	4,7±0,0a	8,0±0,2b	75,3±0,6a	0,52±0,1a	5,8±0,4c	5,2±0,7c	1,0±0,5b
10	20	4,5±0,3a	7,3±0,2c	73,3±0,2b	0,52±0,3a	5,6±0,4d	5,0±1,0d	0,8±1,2d

Filas sin ninguna letra en común presentaron diferencias estadísticas a un nivel de confianza de 95%

Análisis sensorial de las conservas de Berenjena

Los valores promedio obtenidos en el análisis sensorial de las conservas a base de berenjenas se pueden apreciar en la figura 1.

**Figura 1.** Valores promedio de la puntuación obtenida en el análisis sensorial.

DISCUSION

A partir de los resultados se puede apreciar que en los intervalos de presión (10 – 20 psi) y tiempo (5-10 min) logran controlar de manera eficiente el crecimiento de microorganismos indeseables para la calidad alimentaria de las conservas. En tal sentido, se afirma que 10 psig de presión durante

cinco minutos a temperatura constante es suficiente para mantener la seguridad microbiológica de las conservas de berenjena, con el consecuente ahorro energético que implicaría utilizar la autoclave a una menor presión y tiempo.

Análisis Bromatológico de las conservas a base de Berenjena

En los resultados de los análisis bromatológicos se puede apreciar que los intervalos de presión y tiempo evaluados no presentan efecto significativo sobre algunas variables como el pH y las cenizas ya que no se apreciaron diferencias estadísticas ($P < 0,05$). Los grados brix que indican la cantidad de sólidos solubles presentes en las conservas presentaron una disminución paulatina con el aumento de tiempo y la presión, este comportamiento puede ser ocasionado por la degradación de los sólidos presentes en las conservas de berenjena y se corrobora con la concentración de carbohidratos, grasa y proteína que también presentan una disminución significativa. Muy, et al., (2002) (12) reportaron valores de sólidos solubles en el rango de 4.02 a 4.18 para diferentes variedades de berenjenas. Asimismo, Gisbert, et al., (2011) (13), reportaron valores promedio de sólidos solubles, pH y acidez de 3.4; 4.8

y 0.15 % respectivamente en berenjenas moradas de diferentes variedades.

Análisis sensorial de las conservas de Berenjena

En los análisis sensoriales de las conservas a base de berenjenas se pueden apreciar una disminución significativa en la aceptabilidad global de las conservas control, es decir aquellas conservas que no fueron sometidas a ningún tratamiento (presión/tiempo). Por el contrario, las conservas que si sufrieron tratamiento presentaron las mayores aceptaciones sensoriales, este comportamiento es ocasionado por el control antimicrobiano que ejercen las diferentes combinaciones de presión y tiempo al que fueron sometidas las conservas. En cuanto al color, este atributo no sufrió ningún tipo de alteración ya que no se apreciaron variaciones significativas entre la conserva control y las conservas obtenidas bajo la acción de la presión y temperatura. Similar comportamiento fue obtenido para el sabor y el olor. Con respecto a la consistencia, se pudo evidenciar que este parámetro tiene la mayor ponderación en las conservas control, lo cual es ocasionado por el ablandamiento ejercido por la presión en el tejido vegetal.

CONCLUSIONES

Las combinaciones de tiempo y presión utilizadas en la presente investigación pueden ser empleadas sobre las conservas a base de berenjena con el fin de mejorar la calidad microbiológica de las mismas sin que la calidad sensorial y bromatológica sufra una alteración significativa.

AGRADECIMIENTOS

A la Alianza para el desarrollo técnico y tecnológico en el departamento de Sucre, por el apoyo financiero que permitió el desarrollo del proyecto.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores no declaran ningún conflicto de intereses

REFERENCIAS

1. InfoAgro. 2005. El cultivo de la berenjena (1ª parte). [citado 18 de diciembre de 2015]. Disponible en URL: <http://www.infoagro.com/hortalizas/berenjena.htm>
2. FAO. 2006. Berenjena (*Solanum melongena* L.). [citado 10 de diciembre de 2015]. Disponible en URL: http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/AE620s/Pfrescos/BERE
3. FAO. 2007. Berenjena (*Solanum melongena* L.). [citado 14 de diciembre de 2015]. Disponible en URL: <http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/ae620s/Pfrescos/berenjena.htm>
4. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2012. Anuario estadístico de frutas y hortalizas 2007–2011 y sus calendarios de siembras y cosechas. [citado 22 de diciembre de 2015]. Disponible en URL: <http://www.minagricultura.gov.co>
5. García E, Hernández E, De Paula C, Aramendiz, H. Caracterización bromatológica de la berenjena (*Solanum melongena* L.) en el departamento de Córdoba. *Revista Temas Agrarios*. 2003; 8(1): 27-32.
6. Noda Y, Kneyuki T, Igarashi K, Mori A, Packer L. Antioxidant activity of nasunin, an anthocyanin in eggplant peels. *Toxicology*. 2000; 148: 119-123.
7. Nisha P, Nazar P, Jayamurthy P. A comparative study on antioxidant activities of different varieties of *Solanum melongena*. *Food and Chemical Toxicology*. 2009; 47: 2640-2644.
8. Todaro A, Cimino F, Rapisarda P, Catalano A, Barbagallo R, Spagna G. Recovery of anthocyanins from eggplant peel. *Journal Food Chemistry*. 2009; 114: 434-439
9. Singh A, Luthria D, Wilson T, Vorsa N, Singh V, Banuelos G, Pasakdee S. Polyphenols content and antioxidant capacity of eggplant pulp. *Food Chemistry*. 2009; 114: 955-961.
10. Heras I, Alvis A, Arrazola G. Optimización del Proceso de Extracción de Antocianinas y Evaluación de la Capacidad Antioxidante de Berenjena (*Solana melonera* L.). *Inf Tecnol*. 2013; 24(5): 93-102.
11. Arrazola G, Herazo I, Alvis A. Microencapsulación de Antocianinas de Berenjena (*Solanum melongena* L.) mediante Secado por Aspersión y Evaluación de la Estabilidad de su Color y Capacidad Antioxidante. *Inf Tecnol*. 2014; 25(3): 31-42.
12. Muy D, Siller J, García R, Báez M. Caracterización postcosecha de Berenjenas producidas en Sinaloa, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 2002; 8(2): 171-181.
13. Gisbert C, Prohens J, Raigón M, Stommel J, Nueza F. Eggplant relatives as sources of variation for developing new rootstocks: Effects of grafting on eggplant yield and fruit apparent quality and composition. *Scientia Horticulturae*. 2011; 128: 14-22.

SIMULACIÓN DEL PROCESO DE REFINACIÓN DE ACEITE DE PALMA

SIMULATION OF PALM OIL REFINING PROCESS

María B. OCAMPO Ing. Alim.¹, Luis F. GUTIÉRREZ Ph.D.², Óscar J. SÁNCHEZ Ph.D.^{3*}

RESUMEN

Antecedentes: Las herramientas de simulación permiten analizar configuraciones tecnológicas y tomar decisiones sobre diferentes procesos industriales. La simulación de procesos posibilita también evaluar la eficiencia técnica y económica de procesos existentes. En el caso de la industria de alimentos, no se conocen reportes sobre la simulación del proceso de extracción y refinación de aceite de palma, cuya producción anual en Colombia es de 777.548 ton. **Objetivo:** Evaluar tecno-económicamente el proceso de producción de aceite de palma refinado mediante simulación de procesos. **Métodos:** Inicialmente se realizó una recopilación de información disponible sobre la composición del aceite de palma y el proceso de su extracción y refinación. Los datos obtenidos se incluyeron en la simulación utilizando el paquete Aspen Plus; la simulación de la operación unitaria de extracción de aceite de palma requirió el cálculo de los coeficientes de actividad de las fases líquidas mediante los modelos NRTL y UNIFAC. Aspen Plus permitió determinar los requerimientos energéticos y los balances de materia y energía. Los datos de los balances se exportaron al paquete de evaluación económica Aspen Process Economic Evaluator, mediante el cual se analizó el proceso como un proyecto de inversión; para ello, se seleccionaron los equipos y se definieron sus especificaciones empleando la base de datos de este programa, además de datos recopilados de la práctica industrial. **Resultados:** Se obtuvo el balance de materia y energía para el proceso completo de la producción de aceite de palma y sus derivados; adicionalmente se obtuvieron los resultados finan-

cios de la evaluación económica, destacándose entre los más relevantes la tasa interna de retorno del 24,2%, el valor presente neto 12,6 millones de dólares y el período de recuperación de la inversión que es de 4,7 años. **Conclusiones:** La simulación realizada puede convertirse en una poderosa herramienta para investigaciones tendientes al rediseño del proceso de extracción y refinación de aceites vegetales a fin de mejorar su eficiencia económica o evaluar su desempeño ambiental.

Palabras clave: Simulación, diseño conceptual, aceite de palma, análisis económico.

ABSTRACT

Background: Simulation tools allow analyzing technological configurations and decisions making about different industrial processes. Process simulation makes possible to evaluate the technical and economic efficiency of existing processes. In the case of the food industry, there are no available reports on the simulation of the extraction and refining process of palm oil, whose annual production in Colombia reaches 777,548 ton. **Objective:** The objective of this work was to evaluate the production process of refined palm oil by process simulation. **Methods:** Firstly, the collection of information on the composition of palm and the process for its extraction and refining was accomplished. The data collected were included into the simulation by using the Aspen Plus package. The simulation of the unit operation for palm oil extraction required the calculation of the activity coefficients of the liquid phases through NRTL and UNIFAC models. Aspen Plus allowed the deter-

¹ Integrante Grupo de Investigación en Alimentos y Agroindustria, Planta de Bioprocesos y Agroindustria, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

² Profesor Asistente, Integrante Grupo de Investigación en Alimentos y Agroindustria, Planta de Bioprocesos y Agroindustria, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

³ Profesor Asociado, Director Grupo de Investigación en Alimentos y Agroindustria, Planta de Bioprocesos y Agroindustria, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: osanchez@ucaldas.edu.co

mination of the energy requirements and mass and energy balances. The balance data were exported to Aspen Process Economic Evaluator, an economic evaluation package, which enabled the evaluation of the process as an investment project. For this, the different equipment units were chosen as well as their specifications by using the database of this package besides the data collected from the industrial practice. **Results:** The mass and energy balances for the overall process for production of palm oil and its co-products were obtained. In addition, the financial results from the economic evaluation were also obtained highlighting the internal return rate equal to 24.2%, net present value 12.6 million USD, and payback time was 4.7 years. **Conclusions:** The simulation performed could become a powerful tool for research exploring the revamping of the extraction and refining process of vegetable oils in order to improve its economic efficiency or to assess its environmental performance.

Keywords: Simulation, conceptual design, palm oil, economic analysis.

INTRODUCCIÓN

El aceite de palma es un aceite de origen vegetal que se obtiene del mesocarpio de la fruta de la palma aceite *Elaeis guineensis* (1). Los principales productores de aceite de palma son Malasia e Indonesia, además de otros países de África y del sudeste asiático. En América Latina el principal productor es Colombia a razón de 777.548 ton anuales; adicionalmente, nuestro país produce 72.217 ton de aceite de palmiste y 97.100 ton de torta de palmiste al año (2). El objetivo de este trabajo es implementar el uso de herramientas de diseño asistido por computador para el análisis de un proceso comercial existente de gran importancia en la cadena agroindustrial de las oleaginosas. La herramienta que se utilizó es un simulador comercial de procesos a fin de obtener los balances de materia y energía, y un paquete de evaluación económica de procesos. La motivación para llevar a cabo un estudio de simulación para un proceso ya existente como la producción de aceite refinado de palma, se centra en la posibilidad de obtener información adicional sobre las interrelaciones entre las diferentes unidades de proceso, estimación de gastos energéticos y evaluación de su desempeño tecno-económico, todo ello con el fin de analizar posibles mejoras al proceso global o, inclusive, de evaluar en forma virtual posibles configuraciones alternativas que puedan tener un mejor desempeño

potencial. Adicionalmente, la simulación de todo el proceso simplifica significativamente la tarea de optimización de las líneas de producción, un objetivo fundamental de la Ingeniería de Procesos de Alimentos. Al respecto, no se conocen reportes, en la literatura disponible, sobre la simulación del proceso de extracción y refinación de aceite de palma, particularmente en el contexto colombiano.

MATERIALES Y MÉTODOS

La simulación del esquema tecnológico (diagrama de proceso) para la producción de aceite de palma refinado a partir de frutos de palma aceitera, se realizó usando el simulador de procesos Aspen Plus versión 8.0 (Aspen Technologies, Inc., EUA) licenciado a la Universidad de Caldas. Los componentes tenidos en cuenta para la simulación comprenden los provenientes de la materia prima e insumos: lípidos, celulosa, hemicelulosa, lignina, proteínas y cenizas, entre otros, así como los formados durante el proceso como las sales alcalinas de ácidos grasos (jabón). Parte de los datos para la simulación de las propiedades físicas fueron obtenidos del trabajo [7] y la estrategia de simulación fue la misma utilizada en trabajos previos (3-5). La capacidad de la planta simulada fue de 217.553 kg/d de materia prima (racimos de palma aceitera), cantidad fijada para una empresa representativa de Colombia. Con una producción de aceite de 36.886,032 kg/d de fracción de oleína, fracción de estearina y aceite de palmiste.

A partir de la información recopilada de la literatura disponible y de procesos industriales, se definió la secuencia de operaciones y procesos unitarios tanto para la extracción de aceite crudo de palma a partir de los racimos, como para la refinación del aceite crudo. Para operaciones como las de extracción, se requirió el cálculo de los coeficientes de actividad de las fases líquidas mediante los modelos NRTL y UNIFAC (Non-random two-liquid model, Functional-group Activity Coefficients); los valores de los parámetros de interacción molecular de los grupos funcionales de los componentes de estas fases líquidas fueron tomados, para el caso particular de los ácidos grasos y triglicéridos, del trabajo (6).

Para las fases gaseosas, se asumió la ecuación de estado de gases ideales.

El esquema tecnológico se fue construyendo a partir de la corriente entrante de materia prima. Todos los procesos se simularon en estado estacionario para una operación continua de la planta de

producción de aceite refinado de palma. Una vez realizada la simulación en Aspen Plus, los resultados fueron exportados al paquete Aspen Process Economic Evaluator (APEE) con el fin de realizar la evaluación económica. Para ello, se mapearon todas las unidades de proceso simuladas en Aspen Plus mediante la correspondiente herramienta en APEE, lo cual requirió la selección del tipo de equipo y de sus especificaciones técnicas. APEE realiza el cálculo tanto de los costos de capital como de los costos de operación, para lo cual se emplearon las condiciones de Colombia para el año 2014 como tasa de interés, impuesto sobre la renta, inflación y salarios de personal operativo y administrativo, entre otros aspectos. Teniendo en cuenta que el proceso simulado se consideró como un proyecto de inversión, los resultados finales de la evaluación económica se expresaron en indicadores financieros como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), entre otros.

Los tres productos que se obtienen de la palma aceitera son: aceite de palma crudo, aceite de palmiste y aceite de palma refinado. Se obtienen también subproductos como la torta oleaginosa de pulpa de fruto prensado, y la torta oleaginosa de la cascarilla de la nuez. A continuación, se hace la descripción del proceso que se simuló. Inicialmente se hace una limpieza y separación del fruto del raquis de la palma donde el primero continúa por la línea de extracción de aceite y el segundo es dirigido a un receptor donde se mantiene en condiciones para ser reutilizado (7, 8). Los frutos son enviados a un digestor donde se separa la nuez de la pulpa del fruto, enviando la pulpa a la etapa de prensado obteniéndose el aceite y la torta oleaginosa (9). El aceite obtenido de la extracción por medio de prensado es llevado a una clarificación, etapa donde se retira todo tipo de impurezas de granulometría específica mediante el filtro (10). La obtención de aceite refinado inicia con la etapa de desgomado donde se retiran gomas como fosfolípidos hidratables contenidos en el aceite. Este proceso se debe hacer agitando constantemente durante 30 minutos para finalmente retirar las gomas por centrifugación (11). La segunda etapa de la refinación es la neutralización. En esta etapa se agrega NaOH con un ligero exceso para neutralizar los ácidos grasos a través de un proceso de saponificación. Luego el aceite así tratado se centrifuga para liberar las sales jabonosas del producto neutralizado (12). La tercera etapa de la refinación es el decolorado empleando carbón

activado a fin de absorber los colorantes presentes en el aceite (carotenos) (13). La cuarta etapa es la desodorización en donde se eliminan compuestos volátiles de bajo umbral de detección por el gusto y el olfato, como aldehídos y cetonas. Esta etapa es un proceso de destilación con vapor que se lleva a cabo a bajas presiones y altas temperaturas (14). La última etapa a realizar en la refinación es el winterizado, proceso donde se somete a bajas temperaturas (5°C) el aceite ya procesado para separar la parte sólida y la líquida, conteniendo la fracción sólida llamada industrialmente estearina, mientras la fracción líquida se conoce como oleína (15). Para la obtención de aceite de palmiste, la nuez pasa a la prensa donde se obtiene el aceite de palmiste, el cual se filtra y se dispone a la venta. En algunas plantas este aceite lo decoloran para hacerlo más atractivo al consumidor (16).

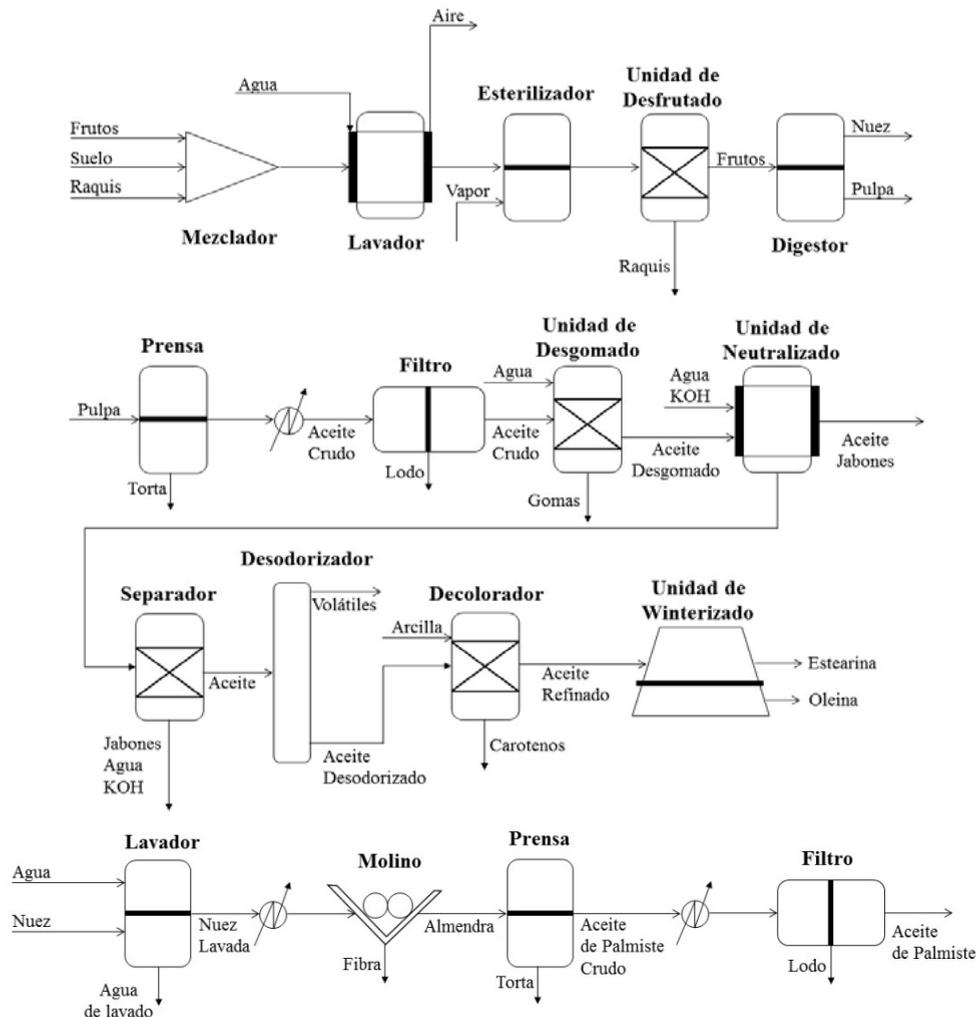
RESULTADOS

El balance de masa y energía fue calculado por simulación para la configuración tecnológica seleccionada; los resultados principales del balance de materia se muestran en la Tabla 1. La simulación de esta planta de producción y refinación de aceite de palma está conceptualizada para una capacidad de procesamiento de 9065 kg/h correspondiente al racimo completo (fruto con raquis). En la Figura 1 se presentan cuatro esquemas que compilan el diagrama de proceso que se utilizó para la simulación de la obtención de aceite refinado de palma usando Aspen Plus. La producción de la fracción de oleína y estearina refinada más el aceite de palmiste es de 1536,918 kg/h. La materia prima requerida en fruto es de 2581,6 kg/h calculada con base en un rendimiento promedio de fruto de palma del 60% reportado en (8).

En la Tabla 2 se relacionan los resultados del análisis financiero del proceso simulado, el cual fue evaluado como un proyecto de inversión. Para el montaje de esta planta debe hacerse una inversión de 71 mill. dólares (USD); se requieren unas ventas totales por periodo de $1,79 \times 10^7$ USD lo que indica una operación rentable debido a que los ingresos suplen el sostenimiento de la planta y aporta a la amortización de la deuda. Con los datos de esta tabla se calculó cuanto le cuesta a la planta producir un kg de aceite cuyo valor es de 1,08 dólares; el subtotal de costos de operación anuales se estimaron en 11,3 mill. USD y los gastos generales en 903.323/año.

Tabla 1. Flujos y composiciones de las corrientes del proceso simulado con Aspen Plus.

Corrientes	Aceite de palmiste	Estearina	Oleína	Corrientes	Torta	Torta de palmiste
Flujo, kg/h	433,60	445,94	657,38	Flujo, kg/h	114,83	383,6
CaCl ₂	11,69	-	-	CaCl ₂	0,95	-
Glucosa	101,64	96,33	96,33	Glucosa	13,37	-
Proteína	16,75	13,14	19,70	Proteína	2,234	-
Ácido linoleico	-	0,02	0,04	Agua	14,985	-
Ácido oleico	-	0,12	0,29	Ácido linoleico	0,66	-
Trioleína	101,97	22,48	202,32	Ácido oleico	4,8	-
Tripalmitina	94,22	125,46	292,74	Trioleína	22,518	53,665
Triestearina	8,69	182,31	45,58	Tripalmitina	42,88	102,229
Fosfolípidos	0,25	-	-	Triestearina	12,436	4,564
Trilaurina	97,7	-	-	Trilaurina	-	223,15
Ácido esteárico	-	5,93	-			
Acido palmítico	-	0,11	0,26			
Ciclohexanona	0,69	0,05	0,12			

**Figura 1.** Diagrama de proceso simulado para la producción de aceite refinado de palma.

DISCUSIÓN

La simulación del proceso empleando Aspen Plus mostró resultados satisfactorios considerando los flujos y las composiciones de las corrientes del diagrama de proceso contrastadas con datos disponible de procesos industriales reales tomados de algunas industrias del sector los cuales son confidenciales y no se pueden referenciar en este trabajo (no publicados). Esta comparación, permite corroborar la validez del enfoque de simulación utilizado, así como la veracidad de la información recopilada. Los datos del análisis económico realizado con el paquete APEE se presentaron en dólares estadounidenses para un período de 10 años a una tasa de

interés anual del 16% teniendo en cuenta el método de depreciación en línea recta y un impuesto sobre la renta del 33%. Los precios y datos económicos utilizados en este análisis correspondieron a las condiciones colombianas de 2014 y se calcularon al tipo de cambio de \$1.771/ USD.

El montaje y operación de una empresa de producción de aceite refinado de palma y sus derivados es una inversión que tiene viabilidad y rentabilidad ya que se obtuvo una TIR mayor que la tasa de inflación y un VPN positivo. Adicionalmente, el tiempo de recuperación de la inversión calculado indica que a los 4 años y cinco meses el dinero invertido ya se habrá obtenido de vuelta. El proyecto fue evaluado para un ciclo de vida de 10 años.

Tabla 2. Algunos indicadores financieros obtenidos de la simulación del proceso tradicional de obtención de aceite de palma.

Indicadores económicos	Unidades	Valor
VPN	Millones de USD	12,60
TIR	%	24,2
Tiempo de recuperación de la inversión	Años	4,45
IR	%	1,16

VPN – valor presente neto, TIR – Tasa interna de retorno, IR – índice de rentabilidad.

CONCLUSIONES

El uso de herramientas de diseño conceptual y básico asistido por computador conduce al ahorro sistemático de recursos para la búsqueda de soluciones a problemas de la industria. El proceso simulado en este trabajo se puede considerar como un caso base del cual partir para la simulación de otras alternativas tecnológicas que impliquen otras operaciones unitarias, o para realizar análisis de sensibilidad cambiando diferentes parámetros de operación del proceso; adicionalmente, esta simulación puede servir para explorar diferentes vías de optimización de la línea de producción evaluada.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la Universidad de Caldas, en particular, al Grupo de Investigación en Alimentos y Agroindustria.

REFERENCIAS

- Ramírez O. Híbrido de la palma: una alternativa a la soya. *Revista Palmas*. 2004; 25(especial): 295-300.
- Sundram K, Gapor A. La vitamina E del aceite de palma: su extracción y propiedades nutricionales. *Revista Palmas*. 1994; 15(1): 77-82.
- Cardona CA, Sánchez ÓJ, Montoya MI, Quintero JA. Simulación de los procesos de obtención de etanol a partir de caña de azúcar y maíz. *Scientia et Technica*. 2005; 28:187-92.
- Cardona CA, Sánchez OJ. Energy consumption analysis of integrated flowsheets for production of fuel ethanol from lignocellulosic biomass. *Energy*. 2006; 31: 2447-59.
- Gutiérrez LF, Sánchez ÓJ, Cardona CA. Process integration possibilities for biodiesel production from palm oil using ethanol obtained from lignocellulosic residues of oil palm industry. *Bioresource Technology*. 2009; 100: 1227-37.6. Batista E, Monnerat S, Stragevitch L, Pina CG, Gonçalves CB, Meirelles AJA. Prediction of liquid-liquid equilibrium for systems of vegetable oils, fatty acids, and ethanol. *Journal of Chemical & Engineering Data*. 1999; 44: 1365-9. 7. Bonomic ME, Reyes M. Estrategia ambiental en el manejo de efluentes en la extracción de aceite de palma. *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*. 2012; 14(3): 323-32.
- Hernández C, Pitre AM. Extracción y purificación del aceite de la almendra del fruto de la palma de corozo (*Acrocomia aculeata*). *Rev. Ing. UC*. 2005; 12(1): 68-75.

9. Triana Castiblanco NM. Complementación de sistema de control y automatización del subproceso de desfrutación y extracción de aceite de palma. 2014.
10. Jaimes WA, Rocha S, Vesga JN, Kafarov V. Análisis termodinámico del proceso real de extracción de aceite de palma africana. *Prospectiva*. 2012; 10(1): 61-70.
11. Haslenda H, Jamaludin MZ. Industry to Industry By-products Exchange Network towards zero waste in palm oil refining processes. *Resources, Conservation and Recycling*. 2011; 55(7): 713-8.
12. Cardeño F, Gallego LJ, Rios LA. Refinación de la fase glicerina del biodiesel de aceite de palma empleando ácidos minerales. *Información tecnológica*. 2011; 22(6): 15-24.
13. Ngamcharussrivichai C, Totarat P, Bunyakiat K. Ca and Zn mixed oxide as a heterogeneous base catalyst for transesterification of palm kernel oil. *Applied Catalysis A: General*. 2008; 341(1-2): 77-85.
14. Arrieta ARA, Garrido JAP, Castellanos FJS. Transesterificación del aceite de palma con metanol por catálisis heterogénea. *Ingeniería e Investigación*. 2005; 25(2): 71-7.
15. Tovar C, Benítez I, Ortiz A, Rodríguez L. Obtención de biodiesel a partir de diferentes tipos de grasa residual de origen animal. *Revista Luna Azul*. 2013; 36: 10-25.
16. Okoye CN, Jiang J, Hui LY. Design and development of secondary controlled industrial palm kernel nut vegetable oil expeller plant for energy saving and recuperation. *Journal of Food Engineering*. 2008; 87(4): 578-90.

EVALUACIÓN DE HARINA DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) VARIEDAD SUREÑA COMO SUSTITUTA PARCIAL EN PANIFICACIÓN

EVALUATION PEAS FLOUR (*Pisum sativum* L.) CULTIVAR SUREÑA
AS SUBSTITUTE PART IN BAKERY

Andrés CERÓN C. MSc. (c).^{1*}, Evelyn CHICAIZA F. Ing.¹, Oswaldo OSORIO M. PhD.¹, Diego MEJIA E. MSc.¹

RESUMEN

Antecedentes: La arveja (*Pisum sativum* L.) es uno de los principales cultivos comestibles en el mundo. En Colombia es una de las leguminosas de mayor importancia en especial en el Sur del país, siendo el departamento de Nariño, uno de los mayores productores. No obstante, aún se evidencia un incipiente manejo post-cosecha, y un nulo nivel de transformación agroindustrial. Siendo necesarias alternativas agroindustriales para redirigir el material vegetal. En la actualidad se han llevado a cabo estudios de fortificación de productos de panadería con harinas de leguminosas, buscando incrementar el contenido de proteína y compensando las deficiencias de lisina y treonina aminoácidos esenciales que carece la harina de trigo. **Objetivo:** Evaluar el efecto de sustitución de harina de trigo por harina de arveja de la variedad Sureña en la elaboración de pan y galletas. **Métodos:** Se utilizaron dos diseños experimentales completamente al azar, donde el factor de estudio fue el nivel de sustitución (harina de trigo: harina de arveja) de la siguiente forma: pan (100:0, 95:5, 90:10 y 85:15) y galletas (100:0, 90:10, 85:15 y 80:20). Las variables de respuesta: químicas proximales (materia seca, proteína, ceniza y grasa) y sensoriales (color, sabor, textura y aceptabilidad). **Resultados:** A medida que aumentó el porcentaje de sustitución el pan presentó una disminución de volumen, se tornó duro y presentó fracturas en la corteza, igual efecto presentaron las galletas. Porcentajes superiores al 20% en galletas presentan una masa poco elástica (desmoronable) dificultando el formado. La adición de harina de arveja ocasionó productos con cortezas más oscuras respecto a los testigos. Así mismo, la adición de harina de arveja

ocasionó aumentos en el contenido de proteína de los productos. El pan con 5% y la galleta al 15% fueron calificadas con valores promedio de 4.27 y 4.36 respectivamente, que corresponden al segmento hedónico “Me gusta”. **Conclusión:** Los resultados confirman la posibilidad de utilizar harina de arveja (*Pisum sativum* L.) de la variedad Sureña en la industria de panadería.

Palabras clave: *Pisum sativum*, sustitución, pan, galletas.

ABSTRACT

Background: The pea (*Pisum sativum* L.) is one of the most important food crops around the world. In Colombia it is one of the most relevant legumes especially in the south of the country, where Nariño department is one of the largest producers. However are evidenced both incipient post-harvest management and poor agro-processing level. In this way, agroindustrial alternatives are necessities in order to redirect the vegetal material, nowadays it has been carried out investigations in fortification of bakery products using legumes flours, looking for increasing the protein content and compensate deficiencies of lysine and threonine, essential amino acids limited on wheat flour. **Objectives:** Assessing the effect of the substitution of wheat flour for pea var. Sureña flour in the production of bread and cookies. **Methods:** It were implemented two completely randomized experimental designs, where the level of substitution (wheat flour: pea flour) was the study factor as follows: bread (100:0, 95:5, 90:10 and 85:15,) and cookies (100:0, 90:10, 85:15 and 80:20). Response variables: proximal composition (dry matter, protein, ash and fat) and

¹ Grupo de investigación de apoyo a la investigación y desarrollo agroalimentario (GAIDA). Facultad Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: andre5505@hotmail.com.

sensory characteristics (color, flavor, texture and acceptability). **Results:** In the way the replacing percentage increased, the bread showed a decrease in its volume, it turned rough and had fractures in the crust, the same result was observed on the cookies. Percentages above 20% in cookies had a little elastic dough (crumbly) hindering the mass forming. The addition of pea flour led to obtain products with darker crust than control samples. Likewise the addition of pea flour incremented the protein content in the both products. The bread with 5% and cookies with 15% were rated with average values of 4.27 and 4.36 respectively, corresponding to the segment hedonic "I like it" **Conclusions:** The results confirmed the possibility of using pea var. Sureña flour (*Pisum sativum* L.) in the baking industry

Keywords: *Pisum sativum*, substitution, bread, cookies.

INTRODUCCIÓN

La arveja (*Pisum sativum* L.) es uno de los principales cultivos comestibles en el mundo (1), ocupa el cuarto lugar en la producción mundial junto a la soja, maní y frijol (2) es fuente de proteína con aminoácidos esenciales, hidratos de carbono complejos, fibra dietética y microelementos: fósforo, calcio, magnesio, hierro y vitaminas: C, B1, B2, PP, E y carotenos (3, 4). En Colombia es una de las leguminosas de mayor importancia en especial en el Sur del país, siendo el departamento de Nariño, uno de los mayores productores (5). No obstante, aún se evidencia un incipiente manejo post-cosecha, y un nulo nivel de transformación agroindustrial. Por ello, dentro de las alternativas de agro industrialización la panificación se destaca. Según Mondor, Guévremont y Villeneuve (6) en la actualidad se han llevado a cabo estudios de fortificación de productos de panadería con harinas de leguminosas, buscando incrementar el contenido de proteína y compensando las deficiencias de lisina y treonina, aminoácidos esenciales con los que carece la harina de trigo. Alasino et al., (7) reportan varios estudios realizados con harina de arveja en panes, tortas, galletas y bizcochos observando efectos adversos en las propiedades físicas y sensoriales. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la sustitución de harina de trigo por harina de arveja (*Pisum sativum* L.) de la variedad Sureña en la elaboración de pan y galletas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Se utilizó semillas de arvejas (*Pisum sativum* L.) de la variedad Sureña (semilla verde, hilum negro, lisa) en estado seco humedad entre 16 y 17 % (base húmeda). El material se inspeccionó de acuerdo a la norma técnica colombiana NTC 791 (8) solo se utilizó semillas con diámetro promedio mayor a 6.35 mm.

Obtención harina de arveja

El material vegetal fue escalado a 100 °C por 2 minutos según recomendación de Alisano et al., (7) para inactivación de lipoxigenasa. Posteriormente el material se secó a temperatura de 50 °C empleando un equipo de convección forzada marca Gemmyco modelo digital IN-601 con velocidad de aire de 1.5 m/s. El material seco fue pasado por un molino de martillos y luego tamizado con tamices 80 - 100 A.S.T.M.E. durante 5 min, se utilizó de referencia la NTC 267 (9) para harina de trigo; en la cual el 98% de la harina debe pasar a través de un tamiz de 212 μ m.

Elaboración de pan y galletas

Para realizar el proceso de panificación se siguió las normas técnicas colombianas NTC 291 (10) para pan y la NTC 1241(11) para galletas. Así mismo, se utilizó las metodologías propuestas por (7) y (12).

Diseño experimental

Se evaluó el nivel de sustitución de harina de trigo por harina de arveja (harina de trigo: harina de arveja) de la siguiente forma: pan (100:0, 95:5, 90:10 y 85:15) y galletas (100:0, 90:10, 85:15 y 80:20). Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cuatro niveles y tres repeticiones. Las variables de respuesta fueron: sensoriales (color, sabor, textura y aceptabilidad) y químico proximales (materia seca, proteína, grasa y ceniza). El análisis de datos se realizó con el programa Statgraphics © Plus versión centurión XV.II, mediante análisis de varianza y prueba de comparación utilizando la LSD de Fisher a un 95% de confianza.

Evaluación sensorial y proximal

Se utilizó el método de escala hedónica propuesto por Anzaldúa (13) utilizando 50 panelistas. El análisis químico proximal se realizó a las harinas y

productos terminados según el método de análisis de alimentos propuesto por Bernal (14).

RESULTADOS

Evaluación física productos

A medida que aumentó el porcentaje de sustitución el pan presenta una disminución de volumen, se torna duro y presenta fracturas en la corteza. En la evaluación de las galletas se observó que porcentajes superiores al 20% generan masas desmoronables. Así mismo tienden a fracturarse y generar cortezas más oscuras respecto de los testigos como se indica en figura 1.



Figura 1. Efectos de la sustitución de la harina de arveja en las galletas

Evaluación sensorial

No se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas al comparar los diferentes tratamientos en cada atributo evaluado (color, textura, sabor y aceptación) p-valor >0.05. Sin embargo, se

evidencio detrimentos en la percepción de dichas características conforme aumento el porcentaje de sustitución en los dos productos (figura 2). La valoración global de la evaluación sensorial arrojó que el pan al 5% de sustitución fue calificado con un valor promedio de 4.27 y la galleta al 15% con un puntaje de 4.36 que corresponden al segmento hedónico “Me gusta”.

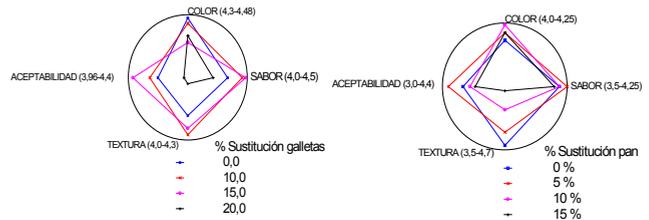


Figura 2. Valoración global medias de las calificaciones sensoriales.

Evaluación proximal

Tabla 1. Análisis químico proximal de harina trigo y de arveja (g/100g).

Componente	Harina arveja	Harina trigo
Humedad	11.02 ± 0.38	11.39 ± 0.98
Proteína cruda	22.44 ± 1.24	10.07 ± 1.83
Ceniza	2.93 ± 0.43	0.83 ± 0.82
Grasa	1.74 ± 0.18	1.04 ± 0.10

Tabla 2. Análisis químico proximal productos con harina de arveja (g/100g).

Pan				
% Sustitución	Materia seca*	Proteína*	Grasa*	Ceniza*
0	75.96 ± 2.20b	12.07 ± 1.15a	13.29 ± 0.69a	2.62 ± 0.19a
5	74.56 ± 3.56ab	13.38 ± 0.93ab	12.59 ± 1.52a	2.71 ± 0.23a
10	72.77 ± 1.80ab	14.87 ± 2.19bc	12.21 ± 1.53a	2.76 ± 0.32a
15	70.94 ± 0.56a	15.99 ± 0.29c	12.09 ± 1.41a	2.88 ± 0.25a
Galletas				
% Sustitución	Materia seca*	Proteína*	Grasa*	Ceniza*
0	94.72 ± 0.21a	11.03 ± 0.65a	19.64 ± 1.75c	0.98 ± 0.08a
10	93.69 ± 2.64a	14.73 ± 1.53b	18.26 ± 0.94bc	1.06 ± 0.06a
15	92.85 ± 3.76a	16.84 ± 1.97b	16.84 ± 1.58ab	1.35 ± 0.07b
20	91.96 ± 1.46a	17.36 ± 2.35b	15.02 ± 0.94a	1.85 ± 0.06c

*Valores promedio n=3 ± desviación estándar. Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza.

En la tabla 1 se muestra los resultados del análisis de las harinas. Mientras que en la tabla 2 se muestra el análisis de los productos. En los cuales se observó aumento en los porcentajes de proteína en un 32.47 % en pan y un 57.38 % en galletas en los niveles máximos, así mismo, aumento el contenido de ceniza y disminución en el contenido de grasa en 9.02% en pan y 23.52% en galletas en los niveles máximos. Así mismo, en la tabla 2 se muestra como las características estudiadas se ven modificadas con la sustitución.

DISCUSIÓN

Evaluación física

(7, 12, 15) reportan efectos similares a los observados en esta investigación (fracturas en las cortezas, disminución de volumen y masas desmoronables) afirmando que este tipo de harinas compuestas presentan disminución en el contenido de gluten. Según Parada y Aray (16) el gluten es una proteína de bajo valor nutritivo, cuyo uso se masificó debido a su capacidad de retener aire en la matriz proteica facilitando que la masa se adhiera mejor, fenómeno que favorece la elaboración del pan.

De otra parte, el oscurecimiento evidenciado en los productos con sustitución se puede explicar a través de la reacción de Maillard que se vio favorecida por la presencia de lisina presente en la harina de arveja. Según Gonzales y otros (17) la reacción de grupos amino primarios de aminoácidos, péptidos y proteínas con el grupo carbonilo de los azúcares reductores forma compuestos coloreados. Siendo la lisina uno de los aminoácidos más reactivos que además de su grupo amino primario posee en su cadena lateral grupos capaces de reaccionar con los azúcares reductores.

Evaluación sensorial

La no presencia de diferencias significativas entre tratamientos se debe al uso de jueces no entrenados. No obstante, Cerón y otros (12) presentan resultados similares en sustituciones con harina de papa evidenciando detrimento en la calidad sensorial conforme aumenta la sustitución. Según Alisano y otros (7) al 15% de sustitución se produce un alto grado de deterioro de las características sensoriales de productos elaborados con leudantes químicos, sobre todo en el sabor residual, sugiriendo la necesidad

de utilizar saborizantes apropiados para lograr un producto aceptable al utilizar harina de arveja.

Evaluación proximal

Alasino y otros (7) reportan valores similares en la evaluación química de la harina de arveja. Según (18) glucose, and fructose. The ratio of available starch to total starch increased as a consequence of processing. The content of vitamin B2 increased significantly, whereas no significant change was observed in vitamin B1 content in germinated peas. Protein digestibility assessed with an in vivo technique (apparent digestibility coefficient esta resulta interesante desde el punto de vista nutricional como fuente de proteína. Evidenciando incremento de esta en los productos terminados. Así mismo, la reducción de la grasa se torna atractiva. Según Maldonado y Pacheco (2000) citado por (12) la tendencia debe ser obtener una disminución calórica vía sustitución de las grasas, no obstante en este estudio se evidenció una reducción calórica por sustitución de harina de arveja.

CONCLUSIONES

Los resultados confirman la posibilidad de utilizar harina de arveja (*Pisum sativum* L.) de la variedad Sureña como sustituto parcial de la harina de trigo en la industria de pan y galletas.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Nariño, al Sistema General de Regalías por la aprobación del proyecto BPIN 20120001100188, al Grupo de Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario-GAIDA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Amarakoon D, Thavarajah D, McPhee K, Thavarajah P. Iron-, zinc-, and magnesium-rich field peas (*Pisum sativum* L.) with naturally low phytic acid: A potential food-based solution to global micronutrient malnutrition. *J Food Compos Anal.* 2012; 27(1):8-13.
2. Villalobos Solis MI, Patel A, Orsat V, Singh J, Lefsrud M. Fatty acid profiling of the seed oils of some varieties of field peas (*Pisum sativum*) by RP-LC/ESI-MS/MS: Towards the development of an oilseed pea. *Food Chem.* 2013; 139(1-4): 986-93.
3. Wang S, Sharp P, Copeland L. Structural and functional properties of starches from field peas. *Food Chem.* 2011; 126(4): 1546-52.
4. Cerón A, Latorre L, Bucheli M, Osorio O, Mejía D, Garcés L. Determinación de constantes de velocidad de rehidratación y cambios sobre algunas propiedades físicas en semillas de arveja (*Pisum sativum* L.). *Rev Lasallista Investig.* 2015; 12(1): 21-32.

5. Osorio L, Castaño J. Caracterización del agente causante de la pudrición de raíces de la arveja (*Pisum sativum* linneo), enfermedad endémica en el municipio de Manizales- caldas (Colombia). *Agron*. 2011;19(2):33–43.
6. Mondor M, Guévremont E, Villeneuve S. Processing, characterization and bread-making potential of malted yellow peas. *Food Biosci*. 2014;7:11–8.
7. Alisano M, Andrich O, Sabbag N, Costa S, de la Torre M, Sánchez H. Panificación con harina de arvejas (*Pisum sativum*) previamente sometidas a inactivación enzimática. *Arch Latinoam Nutr*. 2008; 58(5): 397-402.
8. ICONTEC. Arvejas Secas (NTC 791). Bogota; 2004.
9. ICONTEC. Harina de trigo (NTC 267). Bogota; 2007.
10. ICONTEC. Ensayo de panificación de la harina de trigo. método de referencia (NTC 291). Bogota; 2005.
11. ICONTEC. Productos de molinería. Galletas (NTC 1241). Bogota; 2007.
12. Ceron AF, Osorio O, Bucheli MA. Elaboración de galletas a base de harina de papa de la variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*). *Acta Agronómica*. 2014; 63(2): 101-9.
13. Anzaldúa M. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Acribia SA, editor. Zaragoza (España). 1994; 123-157 p.
14. Bernal I. Análisis de alimentos. 3rd ed. LTDA G, editor. Bogota; 1998. 58-60 p.
15. Cerón A, Hurtado A, Osorio O, Buchely M. Estudio de la formulación de la harina de papa de la variedad parda pastura (*Solanum tuberosum*) como sustituto parcial de la harina de trigo en panadería. *Biotecnol en el Sect Agropecu y Agroind*. 2011; 9(1): 105-11.
16. Parada A, Araya M. El gluten. Su historia y efectos en la enfermedad celíaca. *Rev Med Chil*. 2010; 138: 1319-25.
17. González L, Castello P, Gagliardino J, Rossi JP. La glucosilación no enzimática de proteínas. Mecanismo y papel de la reacción en la diabetes y el envejecimiento. *Cienc al Día Int*. 2000; 3(2):1-17.
18. Urbano G, López-Jurado M, Frejnagel S, Gómez-Villalva E, Porres JM, Frías J, et al. Nutritional assessment of raw and germinated pea (*Pisum sativum* L.) protein and carbohydrate by in vitro and in vivo techniques. *Nutrition*. 2005; 21(2): 230-9.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL LÍQUIDO DE COBERTURA ADICIONADO CON CALCIO EN ARVEJAS (*Pisum sativum* L.) ENLATADAS A DIFERENTES HUMEDADES

EVALUATION OF PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF A LIQUID MEDIUM SUPPLEMENTED WITH CALCIUM IN PEAS (*Pisum sativum* L.) CANNED A DIFFERENT HUMIDITY

Andrés CERÓN C. M.Sc. (c).^{1*}, Oswaldo OSORIO M. PhD.¹, Lizeth BARRIOS B. Ing.¹

RESUMEN

Antecedentes: Uno de los productos más consumido por la población han sido las arvejas secas remojadas, producto sometido a esterilización para asegurar su conservación. Así mismo, se requiere de la operación de rehidratación antes del tratamiento térmico para obtener un producto con características similares al producto fresco. No obstante, una vez se realiza el enlatado y esterilización la temperatura del proceso sigue favoreciendo la rehidratación. El líquido de cobertura ingresa en los tejidos del material vegetal ocasionando ruptura; liberando el contenido de las semillas y modificando las propiedades del líquido de cobertura. **Objetivo:** Evaluar el efecto del tratamiento térmico (esterilización) sobre algunas propiedades físico-químicas del líquido de cobertura adicionado con calcio en arvejas (*Pisum sativum* L.) enlatadas a diferentes contenidos de humedad. **Métodos:** Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, mediante el cual se evaluó cuatro tratamientos según el nivel de rehidratación de las semillas de arveja: T1 (35% humedad), T2 (40% humedad), T3 (45% humedad), T4 (50% humedad). Las variables de respuesta: físico-químicas del líquido de cobertura (sólidos solubles, pH, densidad (g/mL), turbidez (NTU) y viscosidad (cp)). **Resultados:** La adición del calcio lácteo al líquido de cobertura ocasionó disminución de pH de 8.0 a 6.80 y aumento en 372 veces la turbidez. Después del tratamiento térmico en la formulación de líquido de cobertura estándar, los sólidos solubles aumentaron 200 veces el valor inicial, el pH cayó de 8.0 a 5.98, la turbidez

aumento en un 25.71% y la viscosidad aumento en 91.33%. Respecto de los tratamientos T1, T2, T3 y T4 conforme aumento el contenido de humedad de las semillas los sólidos solubles aumentaron 14.94% y la turbidez aumento en 45.75 % entre T1 y T4. **Conclusión:** La adición de calcio ocasionó cambios en las propiedades físico-químicas del líquido de cobertura debido a la inhibición parcial de la rehidratación completa del material vegetal, evitando en gran medida el colapso de los tejidos (liberación del contenido de las semillas al líquido de cobertura).

Palabras clave: *Pisum sativum*, rehidratación, líquido de cobertura, esterilización.

ABSTRACT

Background: One of the products most consumed by the population have been dried peas soaked, product subjected to sterilization to ensure their conservation. Also, it requires rehydration operation before heat treatment to obtain a product with characteristics similar to fresh product. However, once canning and sterilization is performed the process temperature still favors rehydration. The liquid medium enters the tissue causing disruption of the plant material; releasing the contents of seeds and modifying the properties of a liquid medium. **Objectives:** Assess the effect of heat treatment (sterilization) on some physical-chemical liquid medium supplemented with calcium peas (*Pisum sativum* L.) canned at different moisture contents properties. **Methods:** An experimental design was completely randomized, in which four treatments was evaluated according to the level of rehydration

¹ Grupo de investigación de apoyo a la investigación y desarrollo agroalimentario (GAIDA). Facultad Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: andre5505@hotmail.com.

of pea seeds: T1 (35% moisture), T2 (40% moisture), T3 (45% moisture), T4 (50% humidity). Response variables: physical-chemical liquid medium (soluble solids, pH, density (g / mL), turbidity (NTU) and viscosity (cp)). **Results:** The addition of milk calcium liquid medium results in decreased pH of 8.0 to 6.80 and 372 times increase in turbidity. After heat treatment in liquid formulation Standard coverage, they increased soluble solids 200 times baseline, the pH fell from 8.0 to 5.98, the turbidity increased by 25.71% and the viscosity increased by 91.33%. Regarding the treatments T1, T2, T3 and T4 as increase the moisture content of the seeds increased soluble solids 14.94% and the turbidity of 45.75% increase between T1 and T4. **Conclusions:** The addition of calcium causes changes in the physicochemical properties of a liquid medium due to partial inhibition of plant material complete rehydration, largely avoiding the collapse of tissue (release of the contents of the seeds to the liquid medium).

Keywords: *Pisum sativum*, rehydration liquid medium, sterilization.

INTRODUCCIÓN

Según Mayer et al., (1) uno de los productos en conserva enlatada más consumido por la población son las arvejas secas remojadas; la NTC 4434 (2) las define como un producto que se elabora a partir de semillas secas, las cuales deben ser envasadas en un recipiente apto, con un medio de cobertura apropiado y sometido a esterilización para asegurar su conservación. Sin embargo, durante el proceso es necesario rehidratar el material. Brousse et al., (3) mencionan que esta es una operación compleja, que pretende obtener productos con características similares a los productos frescos. No obstante, Cerón et al., (4) resaltan la importancia de realizar estudios de enlatados y posterior esterilización debido a que la temperatura del proceso sigue favoreciendo la rehidratación. El líquido de cobertura ingresa en los tejidos del material ocasionando ruptura de los mismos liberando el contenido de las semillas y modificando las propiedades del líquido de cobertura. Ahora bien, en el estudio de Paredes et al., (5) se resalta que los iones de calcio alteran algunas moléculas dentro del material vegetal, por lo que la estructura que se forma no deja pasar el agua y el material permanece duro. El ión calcio (Ca⁺⁺) forma sales desde moderadamente solu-

bles a muy insolubles. Así mismo, mencionan que las aguas dulces suelen contener de 10 ppm a 250 ppm, pudiendo llegar hasta 600 ppm. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del tratamiento térmico (esterilización) sobre algunas propiedades físico-químicas del líquido de cobertura adicionado con calcio en arvejas (*Pisum sativum* L.) enlatadas a diferentes contenidos de humedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Se utilizó semillas de arvejas (*Pisum sativum* L.) de la variedad San Isidro (semilla verde, hilum blanco, lisa). En estado seco humedad entre 16 y 17 % (base húmeda). El material se inspeccionó de acuerdo a la norma técnica colombiana NTC 791 (6) solo se utilizó semillas con diámetro promedio mayor a 6.35 mm.

Rehidratación

La humedad de los materiales se llevó hasta un 14.21 ± 1.18% (base húmeda), empleando un secador de bandejas construido por Industrias Químicas FIQ LTDA, a una temperatura de 45 °C con velocidad de aire de 2 m/s durante 6 horas; posteriormente, se realizó la rehidratación por inmersión en recipientes de polietileno de alta densidad, utilizando agua a 18 °C en relación semillas/agua 1:4 (p/v) por espacio de 4.22, 5.81, 8.38 y 14.08 horas, según investigación previa (datos no mostrados). Para el control de la temperatura se utilizó un baño termostático Eyela OSB 2000, con precisión de ± 0.1 °C y un equipo de enfriamiento Chiller Polyscience SD28R, con precisión ± 0.1 °C.

Determinación humedad

Se eliminó la humedad superficial de las semillas mediante el uso de toallas de papel. Se utilizó la metodología de Bernal (7) empleando un horno eléctrico (Thermolab Dies) a 100 °C, por un tiempo de 24 horas hasta lograr un peso constante.

Formulación líquido de cobertura

Se utilizó agua destilada a la cual se le adicionó una solución al 3 % NaCl y 3 % sacarosa más la adición de 400 mg de lactato de calcio (TruCal® D-7) con 24% de Ca. Según el Codex (8) la cantidad máxima de calcio en el producto final debe ser 350 mg/kg.

Tratamiento térmico

Se utilizó la metodología descrita por Garrote et al., (9) con algunas modificaciones. El material rehidratado fue seleccionado y escaldado a 100 °C por 1 minuto. Se utilizó latas de 65 x 102 mm las cuales fueron llenadas con 165 g de arveja y completadas con líquido de cobertura (temperatura del líquido 92- 95 °C) hasta obtener espacios de cabeza de 8 mm aproximadamente. Enseguida se llevó a cabo el exhausting por 0.5 minutos a 92-95 °C y se realizó el sellado hermético de las latas con una cerradora Julius M.J. las latas se pasaron a un autoclave All American Epss modelo 75X donde se realizó la esterilización hasta obtener un producto comercialmente estéril. Posteriormente el producto fue enfriado en agua a 4 °C hasta alcanzar temperatura promedio de 20°C. Los tiempos de los tratamientos se calcularon con el método de Ball (10) datos no mostrados.

Caracterización líquido de cobertura

Se utilizó la metodología descrita por Mayer et al., (1) con algunas modificaciones. Se agitó las latas para homogeneizar el líquido de cobertura. Una vez abiertas las latas se volcó el contenido sobre un tamiz, y se mantuvo en reposo por diez minutos. Luego se homogeneizó el líquido y se determinó sólidos solubles °Brix (Refractómetro Brixco modelo 3030);

pH (pH-metro Tecpel 870); turbidez (Turbidímetro OAKTON T-100); viscosidad (Brookfield DV3T con aguja LV 61 para rangos de 500 cp velocidad del análisis 20 rpm); densidad (picnómetro de 25 mL).

Diseño experimental. Se evaluó cuatro tratamientos donde el factor de estudio fue el nivel de rehidratación de las semillas de arveja: T1 (35% humedad), T2 (40% humedad), T3 (45% humedad) y T4 (50% humedad). Las variables de respuesta medidas al líquido de cobertura fueron: físico-químicas (sólidos solubles, pH, densidad (g/mL), turbidez (NTU) y viscosidad (cp)). El análisis de datos se realizó con el programa Statgraphics © Plus versión centurión XV.II, mediante análisis de varianza y prueba de comparación utilizando la LSD de Fisher a un 95% de confianza.

RESULTADOS

Características líquidos de cobertura antes del tratamiento térmico

En la tabla 1 se muestra las características físico-químicas de dos líquidos de cobertura: líquido 1 (3% NaCl y 3% sacarosa) líquido 2 (3% NaCl, 3% sacarosa + calcio) los resultados solo muestran diferencias significativas en el pH y la turbidez atribuidas a la adición de calcio lácteo.

Tabla 1. Características físico-químicas líquido de cobertura sin tratamiento térmico.

Característica	Sólidos solubles	pH	Densidad (g/mL)	Turbidez (NTU)	Viscosidad (cp)
Formulación 1	3.10±0.14 ^a	8.00±0.01 ^a	1.013±0.00 ^a	0.61±0.01 ^a	1.49±0.01 ^a
Formulación 2 con Ca	3.05±0.07 ^a	6.80±0.03 ^b	1.015±0.01 ^a	227.50±0.71 ^b	1.50±0.01 ^b

*Valores promedio n=5 ± Desviación estándar. Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza

Características líquidos de cobertura después del tratamiento térmico

En la tabla 2 se muestra la caracterización del líquido de cobertura formulación 1 de esta investigación después del tratamiento térmico frente a una marca comercial. Las semillas de arveja se rehidrataron hasta el equilibrio humedad > al 50 %. Al comparar el líquido de cobertura antes del

tratamiento (tabla 1) versus después del tratamiento (tabla 2) se evidenció un aumento del 25.71% en los sólidos solubles y 91.33% en la viscosidad. Así mismo, se evidenció diferencias significativas (p-valor<0.05) entre algunas características físico-químicas del líquido comercial y el líquido de esta investigación (tabla 2).

Tabla 2. Características físico-químicas líquido de cobertura con tratamiento térmico.

Característica	Sólidos solubles	pH	Densidad (g/mL)	Turbidez (NTU)	Viscosidad (cp)
Marca comercial (Zenu)	10.15±0.07a	6.02±0.01a	1.05±0.01a	272.50±5.54a	2.65±0.07a
Formulación 1	9.52±0.07b	5.98±0.03a	1.03±0.01a	286.00±7.07b	2.87±0.21b

*Valores promedio n=5 ± Desviación estándar. Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza

Características líquidos de cobertura tratamientos

En la tabla 3 se muestra las características del líquido de cobertura en función del nivel de rehidratación de las semillas después del tratamiento térmico (esterilización). Los sólidos solubles au-

mentaron en un 14.94% y la turbidez aumentó en un 45.75 % entre T1 y T4. Las otras variables de estudio no tuvieron cambios significativos (tabla 3). Al comparar los resultados de sólidos solubles de la tabla 2 con los resultados del tratamiento T4 (tabla 3) se evidenció una reducción del 0.63% mientras que con el tratamiento T1 13.55%

Tabla 3. Características físico-químicas líquidos de cobertura después del tratamiento térmico (líquidos fortificados).

Tratamiento	Sólidos solubles	pH	Densidad (g/mL)	Turbidez (NTU)	Viscosidad (cp)
T1:35% humedad	8.23±0.07 ^a	6.01±0.01 ^a	1.03±0.00 ^a	347.50±47.37 ^a	2.88±0.03 ^a
T2:40% humedad	8.62±0.21 ^b	6.00±0.01 ^a	1.04±0.00 ^a	414.00±19.79 ^b	2.87±0.02 ^a
T3:45% humedad	9.21±0.14 ^c	6.00±0.00 ^a	1.04±0.00 ^a	462.50±12.02 ^c	2.90±0.30 ^a
T4:50% humedad	9.46±0.07 ^c	6.01±0.00 ^a	1.03±0.00 ^a	506.50±27.57 ^d	2.92±0.09 ^a

*Valores promedio n=5h ± Desviación estándar. Letras no comunes implican diferencias entre promedios, según prueba de LSD de Fisher a un 95% de confianza

DISCUSIÓN

Las diferencias observadas entre el líquido de cobertura de la marca comercial versus los observados en esta investigación, se explican a través de las diferentes formulaciones que se pueden emplear en el líquido de cobertura; desconociendo la formulación inicial de la marca comercial y conociendo que el líquido de cobertura puede contener edulcorantes nutritivos como (azúcar blanco, dextrosa, azúcar invertido o sus mezclas) y cloruro de sodio en cantidades tecnológicamente adecuadas (1). Así mismo, las diferencias se pueden explicar a través del material vegetal empleado. La variedad San isidro durante la experimentación (tratamiento térmico) sufrió colapso de los tejidos. Liberando el contenido de las semillas hacia el líquido de cobertura. Mayer y otros (1) citan que los materiales utilizados no deben tener tendencias a desarmarse. Efecto observado en el aumento de la turbidez del líquido de esta investigación frente a la marca comercial.

Ahora bien, los resultados obtenidos de densidad de todos los tratamientos de esta investigación difieren de los presentados por Mayer et al., (1) quienes evaluaron 19 marcas comerciales de la industria argentina encontrado valores de densidad de entre 0.828 y 0.873 g/mL, mientras que los resultados de viscosidad se encuentran dentro del rango reportado por dichos autores 1.1 a 3.8 cp.

El efecto observado de menor concentración de sólidos solubles en los tratamientos con menor contenido de humedad, se atribuyen a la adición del calcio. Según Paredes et al., (5) este forma moléculas dentro del material vegetal. Lo cual inhibiría considerablemente la velocidad de rehidratación y la rehidratación completa, logrando evitar en la mayoría de las semillas el colapso de los tejidos, manteniendo al material vegetal duro. Así mismo, estas moléculas dentro del material vegetal reducen la extracción o lixiviación de los sólidos solubles en la dirección opuesta al movimiento del agua. Explicando la reducción de los sólidos solubles en los tratamientos con calcio frente a la formulación 1.

CONCLUSIONES

La adición de calcio ocasionó cambios en las propiedades físico-químicas del líquido de cobertura debido a inhibición parcial de la rehidratación completa del material vegetal, evitando en gran medida el colapso de los tejidos (liberación del contenido de las semillas al líquido de cobertura).

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Nariño, al Sistema General de Regalías por la aprobación del proyecto BPIN 20120001100188, al Grupo de Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario-GAIDA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mayer L, Bertoluzzo M, Bertoluzzo S. Determinación de propiedades físicas del líquido de cobertura de arvejas enlatadas. *Invenio*. 2013; 17(32): 203-13.
2. ICONTEC. Arvejas (Guisantes) rehidratadas en conserva (NTC 4434). Bogotá; 2009.
3. Brousse MM, Nieto AB, Linares AR, Vergara ML. Artículo Cinética de adsorción de agua en purés deshidratados de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) Water adsorption kinetics in dehydrated mashed cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Rev Venez Cienc y Tecnol Aliment*. 2012; 3(1): 80-96.
4. Cerón A, Latorre L, Bucheli M, Osorio O, Mejía D, Garcés L. Determinación de constantes de velocidad de rehidratación y cambios sobre algunas propiedades físicas en semillas de arveja (*Pisum sativum* L .)*. *Rev Lasallista Investig*. 2015; 12(1): 21-32.
5. Paredes E, Quiroz M, Quispe K, Reyes B, Zavaleta N. Aplicación del modelo de Peleg para estudiar el efecto de la temperatura y dureza del agua durante la rehidratación de frijol caballero (*Phaseolus vulgaris*). *Agroindustrial Sci*. 2012; 1: 14-22.
6. ICONTEC. Arvejas Secas (NTC 791). Bogotá; 2004.
7. Bernal I. Análisis de alimentos. 3rd ed. LTDA G, editor. Bogotá. 1998. 58-60 p.
8. CODEX. Norma del codex para los guisantes (arvejas) verdes en conserva (CODEX STAN 58-1981). 1981.
9. Garrote RL, Silva ER, Roa RD. Diffusion and thermal degradation of ascorbic acid during canned fresh green peas sterilisation. *Int J Food Sci Technol*. 2009; 44(10): 1990-6.
10. Awuah GB, Ramaswamy HS, Economides a. Thermal processing and quality: Principles and overview. *Chem Eng Process Process Intensif*. 2007; 46(6): 584-602.

ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE ACEITES ESENCIALES DE *LIPPIA ALBA* Y *CYMBOPOGON CITRATUS* SOBRE *STREPTOCOCCUS MUTANS* Y CITOTOXICIDAD EN CÉLULAS CHO

MICROBIAL ACTIVITY OF ESSENTIAL OILS OF *LIPPIA ALBA* AND *CYMBOPOGON CITRATUS* ON *STREPTOCOCCUS MUTANS* AND CYTOTOXICITY IN CHO CELLS

Ortega-Cuadros M¹, Tofiño-Rivera, A^{2,3}, Mena-Álvarez O.³, Martínez-Pabón MC⁴, Galvis- Pareja, D⁵; Merini, L.⁶

RESUMEN

Antecedentes: La caries dental es una enfermedad infecciosa compleja de origen multifactorial en el cual se presentan interacciones entre la placa bacteriana, el diente, determinantes biológicos como el flujo salival, capacidad amortiguadora y pH de la saliva, microorganismos predominantes, la dieta y factores socioeconómicos conductuales; prevalece en el 60 a 90% de la población mundial en edad escolar. Las medidas de prevención y tratamiento existentes no son totalmente eficaces y generan algunos efectos adversos, por lo cual es necesaria la búsqueda de estrategias complementarias para su manejo. **Objetivo:** evaluar la capacidad de aceites esenciales de *Lippia alba* (Mill). N.E.Br y *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf para erradicar biopelículas de *S. mutans* y la toxicidad de los mismos sobre células eucariotas. **Metodología:** los aceites esenciales se extrajeron del material vegetal mediante destilación por arrastre con vapor y se determinó su composición química por cromatografía de gases con detector selectivo de masas (GC-MS). Se aplicó la técnica MBEC-high-throughput, para determinar la concentración de erradicación de biopelículas de *S. mutans* y la citotoxicidad fue evaluada sobre células CHO con la técnica MTT 3-(4,5 dimetiliazol-2-ilo)-2,5-difeniltetrazol. **Resultados:** Los componentes mayoritarios en ambos aceites esenciales fueron Geranial y Citral. El aceite esencial *L. alba* aplicada en concentración de 0.01 mg/100 mL removió el 95.8% de biopelículas de *S.*

mutans y el aceite esencial *C. citratus* mostró actividad de remoción de 95.4% en las concentraciones 0.1, 0.01 mg/100 mL y de 93.1% en la concentración 0.001 mg/100 mL. Ninguno de los aceites esenciales evidenció toxicidad sobre células CHO en un tratamiento de 24 horas, con diferencias significativas en relación al testigo con metanol (P = 0.00) que inhibe la mayoría de células. **Conclusión:** los aceites de *L. alba* y *C. citratus* mostraron actividad de remoción de biopelículas de *S. mutans* y citotoxicidad nula, evidenciando su potencial en el tratamiento y prevención de la caries dental.

Palabras clave: caries dental, biopelículas, *Streptococcus mutans*, citotoxicidad, aceites esenciales.

ABSTRACT

Background: Dental caries is a complex infectious disease of multifactorial origin in which interactions occur between plaque, tooth, biological determinants such as salivary flow, buffering capacity and pH of saliva, predominant organisms, diet and behavioral socioeconomic factors; prevails in the 60-90% of the world's school-age population. The existing prevention and treatment are not completely effective and generate some side effects, so the search for complementary strategies is necessary for handling. **Objectives:** To evaluate the capability of essential oils on *Lippia alba* (Mill). N.E.Br and *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf to eradicate *S. mutans* biofilms and its toxicity on eukaryotic cells. **Methods:** Essential oils were extracted from plant

¹ Microbióloga, Estudiante de Maestría en Microbiología y Bio-análisis, Universidad de Antioquia. Mailen.ortega@udea.edu.co

² PhD en Ciencias, Corporación Colombiana de Investigación, C.I Motilonia, Codazzi, Cesar, Colombia. atofino@corpoica.org.co

³ Grupo de investigación CienciaUDES, Facultad de la salud, Universidad de Santander, Valledupar, Colombia. omena@valledupar.udes.edu.co

⁴ Grupo de Investigación POPCAD, Laboratorio de Microbiología Oral, Facultad de Odontología, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. mcecilia.martinez@udea.edu.co

⁵ PhD en Farmacología, Universidad CES, Medellín, Colombia, dagalvis@ces.edu.co.

⁶ PhD en Bioquímica, CONICET Investigador en el INTA Estación Experimental Anguil, Argentina. merini.luciano@inta.gob.ar

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia atofino@corpoica.org.co

material through steam distillation. Its chemical composition was determined for gas chromatography with mass selective detector (GC-MS). It was used the MBEC-high-throughput technique to determine the removal concentration of *S. mutans* biofilms. Cytotoxicity was evaluated on CHO cells through The MTT 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium. **Results:** The major components in both essential oils were Geraniol and Citral. *Lippia alba* essential oil applied in concentration of 0.01 mg / 100 mL removed 95.8% of *S. mutans* biofilm and *C. citratus* essential oil showed a removal activity of 95.4% in the concentrations 0.1, 0.01mg/100 mL and 93.1% in concentration 0.001 mg / 100 mL. None of the essential oils showed toxicity to CHO cells in a 24-hour treatment, with significant differences in relation to the control with methanol (P = 0.00) which inhibits most cells. **Conclusions:** The *L. alba* and *C. citratus* essential oils showed eradication activity against *S. mutans* biofilms and null cytotoxicity, evidencing a potential use in treating and preventing dental caries.

Keywords: Dental caries, biofilms, *Streptococcus mutans*, cytotoxicity, essential oils

INTRODUCCIÓN

La caries dental es una alteración fisiológica de los minerales del tejido dental. Entre los factores biológicos responsables de la aparición de esta enfermedad está implicado el desarrollo de biopelículas, a conditioning film of proteins and glycoproteins is adsorbed rapidly to the tooth surface. Plaque formation involves the interaction between early bacterial colonisers and this film (the acquired enamel pellicle donde las bacterias obtienen mayor resistencia a antimicrobianos respecto al estado planctónico, destacándose como agente principal asociado a caries *Streptococcus mutans* (1). La caries es un problema de salud pública mundial, ocasiona dolor, ausentismo escolar y laboral, dificultades alimenticias, fonéticas y estéticas (2). Según la OMS el 60%-90% de los escolares del mundo tienen caries, en Colombia el 91,58% de las personas entre 12 y 79 años la han presentado (3). Para el control de la placa bacteriana y prevención de la caries, los métodos usados son cepillado, seda dental, sustancias fluoradas, enjuagues con clorhexidina, fenoles y derivados del amonio cuaternario. Sin embargo, algunos de éstos producen efectos secundarios sobre la mucosa o el esmalte o tienen una baja efectividad (4, 5).

En este sentido, es necesario ampliar la investigación sobre nuevas sustancias que permitan controlar la placa bacteriana sin efectos adversos sobre los tejidos orales. Los productos naturales, proporcionan esta oportunidad debido a su diversidad química (5). Investigaciones previas han evidenciado actividad antimicrobiana de aceites esenciales de *Lippia alba* (Mill). *N.E.Br* (pronto alivio) y *Cymbopogon citratus* (DC.) *Stapf* (Limoncillo) sobre *S. mutans* (6) (7). El objeto de este estudio fue generar información que respalde a futuro la introducción de aceites esenciales de plantas aromáticas cultivadas en la región Caribe Colombiana, como una alternativa terapéutica en salud oral.

MATERIALES Y MÉTODOS

Aceites esenciales

La extracción de aceites esenciales se realizó mediante destilación por arrastre con vapor. El aceite de *C. citratus* se extrajo en el resguardo Kankuamo en Valledupar. El aceite de *L. alba* se extrajo en la Universidad de Córdoba, a partir de plantas de CORPOICA C. I. Motilonia, Codazzi.

Análisis Fitoquímico: la composición química de los aceites se estableció por cromatografía de gases con detector selectivo de masas (GC-MS).

Cultivo de biopelículas de *S. mutans*

Se realizaron cultivos monomicrobianos de biopelículas de la cepa de *S. mutans* ATCC 35668 usando el sistema comercial MBEC-high-throughput (MBEC-HTP) (8). El sistema se inoculó con una suspensión correspondiente al patrón 1,0 de McFarland, suspendidas en 30 mL de Infusión Cerebro Corazón (BHI; Scharlau Chemie S.A., Barcelona, Spain). Con el inóculo se realizaron diluciones seriales de 10^{-1} a 10^{-6} cultivadas en cajas con agar BHI para establecer el recuento inicial de UFC. El sistema se cultivó en una mesa de agitación a 110 revoluciones por minuto y 37°C por 24 h, en atmósfera controlada con 5% de CO_2 . Las biopelículas en las clavijas de la tapa del aditamento MBEC-HTP se enjuagaron con solución salina al 0.9% por 2 min. Con las suspensiones resultantes se realizaron diluciones seriales de 10^{-1} a 10^{-6} y luego éstas se cultivaron en cajas de agar BHI. Para el control de crecimiento planctónico se tomaron 20 μL del cultivo, diluidos en 180 μL de solución salina 0.9% por triplicado.

Determinación de la concentración mínima de erradicación de biopelículas

Las pruebas de susceptibilidad se realizaron en platos de micro titulación (Nunclon Delta Surface; Nunc, Roskilde, Denmark). Como vehículo de los aceites se utilizó etanol. Para los aceites se utilizaron concentraciones de 0.1 mg/100 mL, 0.01 mg/100 mL y 0.001 mg/100 mL y se usó clorhexidina al 0.5%, 1% y 2% como control positivo. En el primer y el último pozo de cada fila se ubicaron los controles de esterilidad (BHI) y de crecimiento respectivamente. La tapa con las clavijas se sumergió en el plato reto por 5 min y las biopelículas se lavaron dos veces usando platos de microtitulación con 180 μ L de solución salina al 0.9%, por 2 min. Después, las biopelículas se ubicaron en otro plato, el cual se preparó con 180 μ L de BHI en cada pozo y en éste se sonicaron durante 30 minutos. Los productos de la sonicación se diluyeron serialmente de 10^0 a 10^{-5} con solución salina al 0.9% y se usaron alícuotas de 10 μ L para inocular cajas de agar BHI para realizar el recuento de células viables por la técnica de *spot*. Cada concentración de los aceites esenciales se evaluó en 8 réplicas y se realizó igual cantidad de controles positivos (clorhexidina) y negativos (agua destilada estéril). El efecto de cada aceite esencial sobre las biopelículas se determinó mediante el cálculo del porcentaje de células muertas: $[1 - (\text{Mean CFU}_{\text{irrigant}} / \text{Mean CFU}_{\text{initial bacterial number}})] \times 100\%$. Donde “mean CFU_{irrigant}” hace referencia a la medida de las unidades formadoras de colonias resultantes a la exposición con las sustancias antimicrobianas o irrigantes a evaluar (aceites esenciales, clorhexidina) y “Mean CFU_{initial bacterial number}” medida de las unidades formadoras de colonias bacterianas iniciales, antes de estar en contacto con las sustancias antimicrobianas.

Viabilidad de células por reducción de bromuro de 3-(4,5-dimetiltiazol-2-ilo)-2,5-difeniltetrazol (MTT)

Se realizó el ensayo, con Células Chínese Hámster Ovary cells (CHO) protocolo modificado (9; 10) y según la norma ISO 10993 de 2009. Se sembraron 10^3 células por pocillo, incubadas 24 horas con las soluciones 0.1 mg/100 mL, 0.01% mg/100 mL y 0.001 mg/100 mL de los aceites esenciales de *L. alba* y *C. citratus* en etanol, utilizándose metanol como control de muerte celular. Se midió la absorbancia por lector de Elisa a 570 nm. Para el análisis estadístico se empleó el programa SPSS®; los datos

expresados como media \pm SEM. La comparación entre las concentraciones y el control por ANOVA con una examinación post-hoc por Dunnet.

RESULTADOS

Composición fitoquímica de los aceites analizados

Los componentes mayoritarios en ambos aceites esenciales fueron Geranial y Neral (Citral), siendo más alta la concentración de dichos compuestos en *C. citratus* (31.3 y 26.7%) que en *L. alba* (18.9 y 15.9%). Se identificó un tercer componente de alta concentración para *L. alba* correspondiente a Geraniol (11.5%) y Mirceno (15,6%) en *C. citratus*.

Actividad de erradicación de biopelículas de los aceites esenciales mediante ensayo MBEC

Las concentraciones de clorhexidina al 0.5, 1 y 2% utilizadas como controles positivos presentaron un efecto de mortalidad sobre biopelículas de *S. mutans* según lo esperado (99.4-100% respectivamente). El control del diluyente (etanol) produjo un logaritmo de mortalidad de 1.9. El aceite esencial de *C. citratus* presentó un logaritmo de mortalidad de 1.3 (95%) a las concentraciones 0.1 mg/100 mL y 0.01 mg/100 mL y 1.2 (93%) a 0.001 mg/100 mL, mientras *L. alba* mostró un logaritmo de mortalidad de 0.4 (57-61%) a las concentraciones 0.1 mg/100 mL, 0.001 mg/100 mL y 1.4 (95%) a 0.01 mg/100 mL.

Viabilidad celular por ensayo MTT

La prueba de MTT en células CHO evidenció que ninguna de las concentraciones evaluadas para los aceites *L. alba* y *C. citratus*, inhibió la proliferación celular en un tratamiento de 24 horas, con diferencias significativas en relación al testigo con metanol ($P = 0.00$) inhibió la mayoría de células. Por el contrario, se observó mayor proliferación celular en las concentraciones de aceites esenciales que en el solo vehículo solvente a base de etanol al 0.1%, indicando el rol de los aceites como agentes protectores de las células CHO.

DISCUSIÓN

El análisis fitoquímico obtenido para *L. alba* fue similar al reportado en otros estudios (11); para *C. citratus* fue similar a otros reportes (12); pues ambas plantas pertenecen al quimiotipo “citral” compues-

to por neral y geranial, que presenta propiedades antioxidantes, antimicrobianas y bactericidas (13).

Los resultados positivos del aceite esencial de *C. citratus* fueron similares a otros registros en los que mediante microdilución encontraron actividad antimicrobiana y erradicación de biopelículas de *S. mutans* ATCC 35668 a una concentración de 0.5% del aceite esencial (6). La actividad antibacteriana de los aceites es sensible a variables diversas como método de evaluación, genética de la planta, condiciones agroecológicas y de manejo. Existen registros de actividad antimicrobiana de tinturas *C. citratus* sobre cepas *S. mutans* aisladas de saliva de pacientes mediante el método de difusión en agar en la cual no obtuvieron resultados positivos (14). Sin embargo, otras investigaciones sugieren zonas de inhibición de 7.0 mm usando el aceite esencial de *L. alba* en cultivos de *S. mutans* (7); También se ha identificado que el estrés ambiental puede contribuir con los cambios en la composición química de las hojas de *C. citratus* (15), aunque se ha encontrado que no hay diferencias significativas en cuanto a la composición de los fitoquímicos bioactivos y la actividad biológica de los diferentes quimiotipos de plantas (16). Adicionalmente, se ha evidenciado mayor eficacia antimicrobiana en aceites esenciales de *L. alba* obtenidos durante el periodo diciembre a febrero frente a la especie *S. aureus* (11).

De acuerdo con los resultados de citotoxicidad, los aceites esenciales analizados no presentan riesgo de producir muerte celular ni toxicidad en células CHO, por lo que se podría avanzar con otros ensayos preclínicos y posteriormente pruebas clínicas en pacientes. Se requiere evaluar la actividad antimicrobiana del aceite esencial de *C. citratus* y sus componentes mayoritarios para determinar si la erradicación de biopelículas encontrada, se puede atribuir al aceite completo, o a componentes fraccionados o asociados de éste; además repetir ensayos de citotoxicidad en células propias de los tejidos de la cavidad oral.

CONCLUSIÓN

La concentración mínima para erradicación de biopelículas de *S. mutans* –MBEC– de los aceites esenciales evaluados fue estimada con niveles de efectividad del 95%, en 0.1 mg/100 mL, 0.01 mg/100 mL para *C. citratus* y en 0.001 mg/100 mL para *L. alba*, con baja citotoxicidad y quimiotipo “citrato” para ambas especies que favorece su actividad antimicrobiana. Los resultados alcanzados a partir

de las técnicas MBEC y citotoxicidad, exhortan a continuar la investigación con los aceites esenciales, sus componentes y evaluar su posible toxicidad en células propias de tejidos de la cavidad oral.

REFERENCIAS

- 1- Jhaharia K, Parolia A, KVS, Mehta LK. Biofilm in endodontics : A review. J Internatioanal Soc Prev Community Dent. 2015; 5(1): 1-7.
- 2- Petersen PE, Bourgeois D, Ogawa H, Estupinan-Day S, Ndiaye C. The global burden of oral diseases and risks to oral health. Bulletin of the World Health Organization. -2005; 83(9): 661-669.
- 3- Ministerio Nacional de Salud y proteccion social. IV estudio nacional de salud bucal. Bogota: MINSALUD. 2014. [citado 10 de Agosto de 2015] Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/ENT/abc-salud-bucal.pdf>.
- 4- Jha S, Mishra V, Sharma D, Damodaran T. Fluoride in the environment and its metabolism in humans. Rev Environ Contam Toxicol. 2011; 211: 121-42.
- 5- Cos P, Vlietinck AJ, Berghe VD, Maes L. Anti-infective potential of natural products: How to develop a stronger in-vitro “proof-of-concept.” J Ethnopharmacol. 2006; 106, 290–302.
- 6- Almeida R, Akisue G, Cardoso L, Junqueira J, Jorge A. Antimicrobial activity of the essential oil of *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. on *Staphylococcus* spp., *Streptococcus mutans* and *Candida* spp. Rev. Bras. Pl. Med. 2013 Jan; 15(4): 474-482.
- 7- Nogueira M, Díaz G, Sakumo L, Tagami P. Antibacterial Activity of *Lippia alba* (Lemon Herb). Lat. Am. J. Pharm. 2007; 26 (3): 404-406.
- 8- Ceri H, Olson M, Stremick C, Read R, Morck D, Buret A. The Calgary Biofilm Device: New Technology for Rapid Determination of Antibiotic Susceptibilities of Bacterial Biofilms. J Clin Microbiol. 1999; 37(6): 1771-1776.
- 9- Mosmann T. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: application to proliferation and cytotoxicity assays. J Immunol Methods. 1983 Dec 16; 65(1-2):55-63.
- 10- Denizot, F., & Lang, R. Rapid colorimetric assay for cell growth and survival. J Immunol Methods. 1986; 89(2): 271-277.
- 11- Machado T, Nogueira N, Alves R, Sousa C, Batista V. The antimicrobial efficacy of *Lippia alba* essential oil and its interaction with food ingredients. Braz J Microbiol. 2014 Aug; 45(2): 699-705.
- 12- Gbenou JD, Ahounou JF, Akakpo HB, Laleye A, Yayi E, Gbaguidi F, et al. Phytochemical composition of *Cymbopogon citratus* and *Eucalyptus citriodora* essential oils and their anti-inflammatory and analgesic properties on Wistar rats. Mol Biol Rep. 2013 Feb; 40(2): 1127-1134.
- 13- Stashenko E, Martínez J, Durán D, Córdoba Y, Caballero D. Estudio comparativo de la composición química y la actividad antioxidante de los aceites esenciales de algunas plantas del género *Lippia* (Verbenaceae) cultivadas en Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 2014; 38(Supl.):89-105.
- 14- Da Silva NB, Alexandria AK, De Lima AL, Claudino LV, De Oliveira Carneiro TF, Da Costa AC, et al. In vitro antimicrobial activity of mouth washes and herbal products against dental biofilm-forming bacteria. Contemp. Clin. Dent. 2012; 3: 302-305
- 15- Silva MAL, Marques GS, dos Santos TMF, Xavier HS, Hígono JS, de Melo AFM. Avaliação da composição química de *Cymbopogon citratus* Stapf cultivado em ambientes com diferentes níveis de poluição e a influência na composição do chá. Health Sci. 2010; 32(1):67-72.
- 16- Vera RJ, Pastrana PF, Fernández K, Viña A. Actividad antimicrobiana in vitro de volátiles y no volátiles de *Lippia alba* y extractos orgánicos y acuoso de *Justicia pectoralis* cultivadas en diferentes pisos térmicos del departamento de Tolima. Scientia et Técnica. 2007; XIII(33):345-348.

VIABILIDAD DE LA UTILIZACION DE IMÁGENES TERMOGRAFICAS COMO CONTROL DE ALMACENAMIENTO DE CARNE FRESCA DE BOVINO

FEASIBILITY OF USING THERMAL IMAGE STORAGE
CONTROL AS FRESH MEAT OF STEER

O.L. TORRES-VARGAS, ¹A.J. GARCÍA-SALCEDO²; K.J. FIGUEROA-LÓPEZ³

RESUMEN

Antecedentes: La carne de bovino es un alimento fundamental en la dieta humana, fuente rica en proteínas, ácidos grasos, vitaminas y minerales. En Colombia el 75% de los comercializadores de carne fresca no cumplen con la normatividad exigida en el país, solo el 5% comercializa carnes refrigeradas y congeladas. Se crea una clara necesidad de implementar sistemas de control que garanticen la calidad de la carne durante el almacenamiento. La termografía infrarrojo es una técnica rápida y no invasiva que se ha utilizado con buenos resultados en la industria cárnica. **Objetivos:** Evaluar la utilización de imágenes termograficas como una herramienta de control durante el almacenamiento de lomos de bovino en refrigeración crudos y asados, con y sin película de recubrimiento y su efecto en las propiedades de color y de textura. **Métodos:** Los lomos fueron adecuados en cubos de 4cm de longitud y 2cm de espesor, la mitad de las muestras se asaron y recubrieron con películas de colágeno reforzado y las otras fueron almacenadas crudas y sin recubrimiento a $4^{\circ}\text{C} \pm 2.0^{\circ}\text{C}$. Posteriormente se realizaron a todas las muestras, las medidas de termografía infrarroja durante los días 2 y 4 de almacenamiento. Adicionalmente se realizaron medidas de pH, contenido de humedad, color y textura con el propósito de obtener información sobre los cambios generados durante el tiempo de almacenamiento y la utilización de la película de recubrimiento. **Resultados:** Las imágenes obtenidas permitieron identificar los cambios en el contenido de agua y temperatura en los lomos durante el almacenamiento, también se pudo identificar el

efecto de la película y el asado de los lomos antes del almacenamiento en los parámetros de textura y color. **Conclusiones:** Los resultados obtenidos son el principio para la implementación de las imágenes termograficas como una medida de control no invasiva durante el almacenamiento de lomos crudos y cocidos recubiertos con película de colágeno.

Palabras clave: termografía, lomos de bovino, color y textura.

ABSTRACT

Background: Beef is a basic food in the human diet; it is a rich source of protein, fatty acids, vitamins and minerals. In Colombia 75% of fresh meat marketers do not meet the standards required in the country, only 5% of them sell chilled and frozen meat. A clear need to implement control systems to ensure the quality of the meat during storage is created. Infrared thermography is a fast, non-invasive technique that has been used successfully in the meat industry. **Objectives:** evaluate the use of thermographic imaging as a control tool during cooling storage of fresh and roasts bovine loins, with or without coating films and their effect on the color and texture properties. **Methods:** bovine loins are cut off in cubes 2 cm long and 4cm thick, half of the samples are roasted and covered with reinforced collagen films; the other ones are stored fresh without coating at 4°C . Subsequently, infrared thermography measurements are conducted on all samples during days 2 and 4 of storage. Additionally pH, moisture content, color and texture measurements are performed in order to obtain information about changes generated during the time of storage

¹ Ph.D. Tecnología de Alimentos, Universidad del Quindío, Profesor de Planta, Armenia Colombia

² Msc Química, Ingeniera de Alimentos, Universidad del Quindío, Armenia Colombia

³ Msc Ingeniera Agroindustrial, Ingeniera de Alimentos, Universidad del Quindío, Armenia Colombia

* Autor de correspondencia: oltorres@uniuquindio.edu.co

and due to the use of the coating film. **Results:** The images obtained allowed the identification of changes in the water content and temperature in stored loins, also it could be identified the effect of the film and the roast over the steer before storage in the texture and color parameters. **Conclusions:** these are the first results in order to implement the thermographic imaging as a non-invasive measurement for control over the storage of raw and cooked steer coated collagen film fresh.

Keywords: thermography, steer loins, color and texture.

INTRODUCCION

La carne de bovino es un alimento fundamental en la dieta humana, por ser una fuente rica en proteínas, ácidos grasos esenciales, vitaminas y minerales, que lo convierten en uno de los alimentos de origen animal mejor valorado por los consumidores (1). La conservación de los alimentos en condiciones de refrigeración se refiere al almacenamiento a temperaturas superiores a las de congelación, desde unos 16°C hasta -2°C, con el propósito de disminuir la velocidad de las reacciones químicas que pueden originar deterioro o disminución de la calidad de la carne y sus derivados, generando disminución de peso, oxidación, contaminación microbiana y deterioro por procesos enzimáticos (2). El sistema de comercialización de la carne fresca en Colombia en un 75% se realiza con ausencia de higiene, sin garantizar refrigeración y un adecuado control oficial. Un 19 % se comercializa en frío y con exhibidores y solo el 5% lo representa la industria con carnes refrigeradas y congeladas cumpliendo a cabalidad con el Decreto 1500 (3) y el aseguramiento de la calidad en los diferentes estabones de la cadena agroalimentaria de la carne. El empaque en la industria cárnica ha tenido un mayor desarrollo, alcanzando incluso nuevos campos de aplicación que permita monitorear in situ y de una forma no invasiva las propiedades fisicoquímicas de la carne durante la etapa de almacenamiento. La utilización de películas poliméricas en la industria alimentaria ha logrado mejorar la barrera contra la humedad, las propiedades mecánicas y sensoriales, la protección microbiana, el transporte de solutos y retardar el transporte de gases (O₂, CO₂), logrando mantener la calidad de los alimentos (4). La termografía es una técnica no invasiva, rápida y de alta precisión utilizada en el control de los procesos alimentarios. Investigaciones recientes utilizando termografía para la predicción no destructiva

del contenido de sal y la actividad de agua de rodajas de porcino durante el salado (5), rendimiento de una película de recubrimiento elaboradas para la cocción de alimentos en el microondas (6), identificación de inyección de agua en carne como un método rápido y no destructivo (7) han sido realizadas en el área cárnica. Dada la necesidad de implementar técnicas que permitan mejorar la comercialización de la carne en Colombia, se presenta las medidas de termografía infrarroja como una técnica rápida no invasiva, y de bajo costo para el control del almacenamiento en refrigeración de lomos de bovino crudos y asados con y sin recubrimiento de películas poliméricas.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron lomos de bovino (*longissimus dorsi*) con 1 día de post-mortem obtenidos en la central de sacrificio de Armenia Frigocafé, que cuenta con certificación INVIMA para la realización de sacrificio de bovinos. Cubos de 2cm x 2 cm x 4cm fueron cortados en dirección paralela a las fibras del músculo, la mitad de los lomos fueron asados a una temperatura de 75°C durante 1 minuto en cada superficie. La mitad de los lomos crudos fueron recubiertos con películas de colágeno LBCCP, LBCSP y la otra mitad asados y recubiertos con película LBACP, LBASP y fueron almacenados en refrigeración a 4°C durante 2 y 4 días de postmortem o almacenamiento.

Película polimérica

La formulación y elaboración de la película polimérica que recubrió los lomos de bovino durante su almacenamiento, fue realizada siguiendo la metodología descrita por Figueroa *et al.* (8) para una matriz de 100g: 5g colágeno/100g, 2ml sorbitol/100g y 91,75ml H₂O/100g,

Termografía infrarroja

Las imágenes termográficas fueron tomadas con una cámara A40M Termovisión (Flir Sistemas de Infrarrojos, Inc) con una gama de espectros infrarroja de longitud de onda desde 7.5 - 13 μm y una sensibilidad < 0,15°C, la emisividad de las muestras se estableció en 0.920. Una vez calibrada la cámara se toman las imágenes rápidamente a igual distancia los días 2 y 4 de almacenamiento. La interfaz del sistema y software hizo posible grabar y analizar las imágenes.

Caracterización fisicoquímica

La medida del pH y humedad de los lomos de bovino fue realizada sin la película de recubri-

miento durante el tiempo de almacenamiento. La medida de pH se realizará mediante un pH-metro de punzón portátil CRISON PH25® (CRISON Instruments S.A., España). El contenido en humedad (x^w g/g) por desecación de las muestras en una estufa a 100°C hasta alcanzar un peso constante (ISO R-1442).

Medidas de color

La determinación de color se realizó en un espectrofotómetro Minolta CM-2002R (Minolta Cámara Co., Osaka, Japón), utilizando un iluminante D65 y un observador estándar 10° (UNE 40-080, 1984). La determinación y expresión del color se realizó en base a las coordenadas CIELAB y a los valores de reflectancia (CIE, 1976).

Medidas de textura

Una vez finalizado el tiempo de almacenamiento se realizó el análisis de fuerza de corte a los lomos de bovino, utilizando una cuchilla Warner-Bratzler con una ranura de corte triangular en el borde (1 mm de grosor) una velocidad de corte de 3,33 mm/s. Se obtuvo un afuerza máxima de corte (N) usando un analizador de textura equipada con una 30 kg célula de carga (TA.XT plus, StableMicro Systems, la Corte de Viena, Reino Unido). Los datos se obtenidos utilizando el software Textura Exponente 32 (Versión 1.0.0.68), Stable Micro Systems, la Corte de Viena, Reino Unido.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor con 3 réplicas con un nivel de significancia del 95% ($p \leq 0,05$) donde los LBCCP, LBCSP, LBACP y LBASP fueron el factor de entrada y las variables de respuesta fueron % de humedad, L^* , a^* , b^* y fuerza de corte, para los días 2 y 4 de almacenamiento. Las diferencias se consideraron significativas si $P < 0,05$. Los valores se da en términos de valores medios y el error estándar en la tablas

Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVII.

RESULTADOS

Análisis termográfico

Termogramas representativas de los cambios producidos en el contenido de agua y temperaturas de los lomos almacenados durante 2 y 4 días se presentan en las figuras 1 y 2. El contenido de humedad corresponde al color verde y la película que las rodea al color gris. Al lado derecho del los termogramas se observa una barra de diferentes colores que indica el valor de temperatura que registraron los lomos, el negro corresponde a la temperatrua intrnerna, magenta area del lomo de bovino, azul limite de cubo de lomo y cian representa el area formada por la película. La misma equivalencia de colores fue utilizada en todos los termogramas.

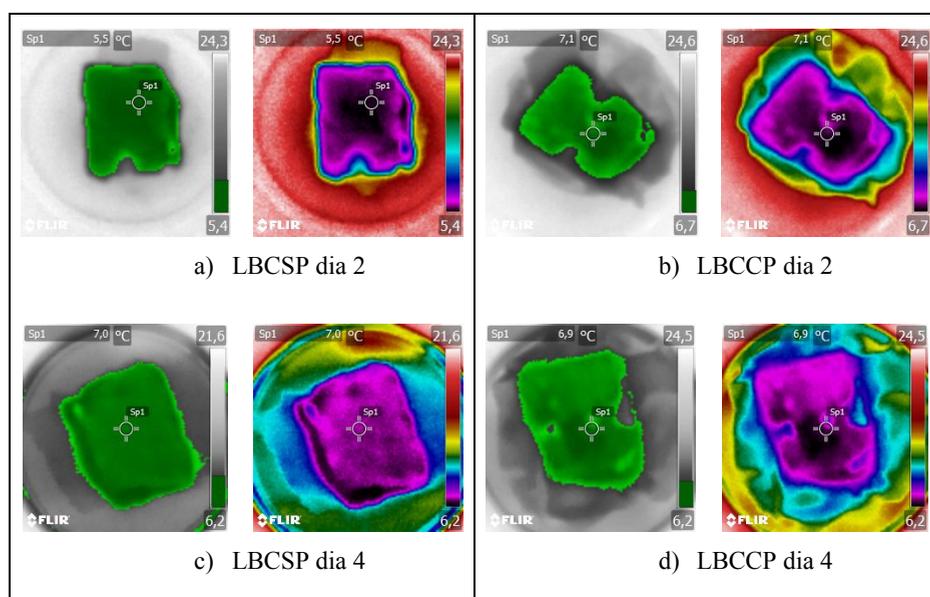


Figura 1. Termogramas de lomos de bovino crudos a) sin película y dos días de almacenamiento LBCSP b) con película y dos días de almacenamiento LBCCP, c) sin película y cuatro días de almacenamiento LBCSP b) con película y cuatro días de almacenamiento LBCCP.

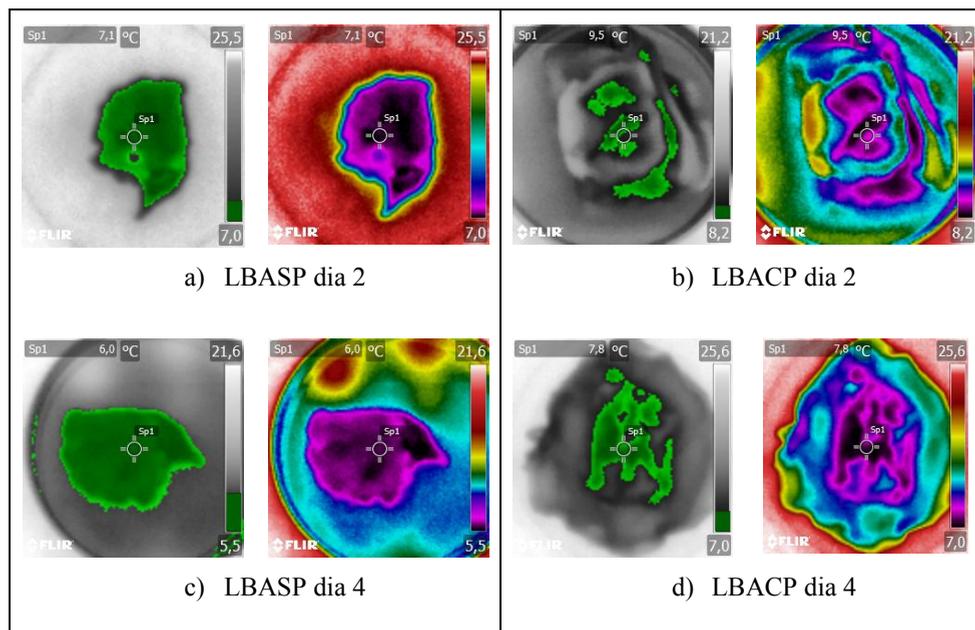


Figura 2. Termogramas de lomos de bovino asados a) sin pelicula y dos días de almacenamiento LBSPA b) con pelicula y cuatro días de almacenamiento LBCPA, c) sin pelicula y cuatro días de almacenamiento LBSPA b) con pelicula y cuatro días de almacenamiento LBCPA.

Caracterización fisicoquímica

La Tabla 1 muestra los valores obtenidos para el análisis de los parámetros de color L^* , a^* b^* y fuerza

de corte, en lomos de bovino con y sin pelicula, almacenados durante 2 y 4 días.

Tabla 1. Parámetros de color y la textura de lomos de bovino y sus correspondientes desviaciones estándar.

Parámetros de color	2 días de almacenamiento				4 días de almacenamiento			
	LBCSP	LBCCP	LBASP	LBACP	LBCSP	LBCCP	LBASP	LBACP
Luminosidad (L^*)	42,61±0,58	38,5±0,35	36,13±0,34	34,52±0,25	38,16±0,34	36,51±0,27	34,87±0,62	30,72±0,42
Rojos (a^*)	11,68±0,36	9,72±0,41	9,52±0,50	8,01±0,51	10,12±0,17	8,53±0,51	5,63±0,23	5,21±0,53
Amarillos (b^*)	8,17±0,42	7,02±0,25	12,65±0,47	10,27±0,23	7,01±0,41	5,03±0,20	8,87±0,18	6,04±0,16
Fuerza corte (N)	25,42±1,25	29,50±4,35	32,82±5,25	36,86±4,25	28,65±2,54	35,87±4,21	39,21±5,2	42,74±3,86

DISCUSIÓN

Las figuras 1 y 2 muestran la distribución de la temperatura durante el enfriamiento tomó la forma de cuadros concéntricos en movimiento hacia el interior de las muestras reflejando la uniformidad del enfriamiento en los puntos equidistantes del centro de los lomos durante 2 y 4 días de almacenamiento. Las películas usadas como recubrimiento en LBCCP (figura 1. b y c) permite la conservación del contenido de agua en el centro durante el tiempo de almacenamiento, confirmando su adecuada permeabilidad al vapor de agua. La disminución en el contenido de humedad fue significativa con el

tiempo de almacenamiento en LBACP este comportamiento es atribuido al proceso de asado previo al almacenamiento, que genera una disminución en la capacidad de retención de agua en los lomos (9) y se corrobora con un pH en el lomo de 5.1 (figura 2. b y c). Los cambios de temperatura fueron significativos para LBASP y LBACP figura 2 (c y d) donde se observa una mayor aproximación de las zonas calientes al centro de los lomos, debido a que en este punto hay más cantidad de moléculas de agua después del proceso de asado capaces de rotar/vibrar libremente y generar un aumento de temperatura con el tiempo de almacenamiento (10). Una disminución significativa presentaron los valores de L^*

en los lomos durante el tiempo de almacenamiento (11) provocada por la pérdida de humedad, lo que se traduce en una mayor opacidad de las muestras y, por tanto una menor luminosidad (12). LBACP no presenta cambios significativos para la coordenadas a^* y b^* y los días de almacenamiento, estos fueron observados en LBASP, los cuales son atribuidos a los cambios en la apariencia de los lomos durante el proceso de asado, en el cual se genera una reducción de la desoximioglobina y oximioglobina (Pérdida de color rojizo) y el aumento de intensidad de pico de las bandas de metamioglobina (De color marrón-rojo) (13, 14). El proceso de asado de los lomos previo al almacenamiento fue significativo para los valores de la fuerza de corte en LBACP y LBASP. De acuerdo con las categorías propuestas por Destefanis *et al.* (15), los lomos se consideran tiernos ya que se encuentran entre los rangos de fuerza de corte (32,93-42,72 N). Por lo tanto, la película no mostro un efecto significativo con el aumento de la dureza en los lomos de bovino.

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que la tecnología de imágenes térmicas es una herramienta prometedora, sencilla y no invasiva que permite en tiempo real la predicción y la visualización de la humedad y la evolución de la temperatura de la carne de bovino en diferentes períodos de almacenamiento con películas de recubrimiento. Esta técnica ofrece una nueva metodología para la evaluación y control de las variables de color y textura de lomos de bovino durante la etapa de comercialización, generando un importante desarrollo de la industria cárnica.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Interdisciplinario de las Ciencias y al Laboratorio de Post-Cosecha de la Universidad del Quindío, por contribuir al desarrollo de esta investigación y la realización de las pruebas fisicoquímicas.

REFERENCIAS

- García Mamen O, Sierra Sánchez V, García Espina P. Efecto del tiempo de maduración sobre la calidad organoléptica de la carne de vacuno. España: Tecnología Agroalimentaria. 12:125-132.
- Limpan N, Prodpran T, Benjakul S, Prasarnpran S. Thailand. Properties of biodegradable blend films based on fish myofibrillar protein and polyvinyl alcohol as influenced by blend composition and pH level. *Journal of Food Engineering*. 2010; 75(1): 100-105.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y de Certificación (ICONTEC). Industrias alimentarias. Productos cárnicos procesados no enlatados. No. NTC 1325. Quinta actualización. Bogotá: Icontec; 2008.
- Escobar, D, Sala A, Silvera C, Harispe R, Márquez R. Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base de aislado de proteínas de suero lácteo: estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador. *Revista del Laboratorio tecnológico del Uruguay*. 2009; 4 (1): 33-36.
- Liu D, Jiahuan Q, Da-Wen S, Hongbin P, Xin-An Z. Non-destructive prediction of salt contents and water activity of porcine, meat slices by hyperspectral imaging in a salting process. 2013; 6 (1): 30-34.
- Lorenzo J, Cittadini A, Munekata E, Domínguez R. Physico-chemical properties of foal meat as affected by cooking methods. *Meat Science*. 2015; (8): 50-54.
- Jinxia L, Yue C, Qiu W, Wenjuan P, Fei M, Changhong L, Wei C, Jianbo Y, Lei Z. Rapid and non-destructive identification of water-injected beef samples using multispectral imaging analysis. *Food Chemistry*. 2016; (9): 938-943.
- López K.J, Torres Vargas O.L, Prías-Barragán J.J, Ariza-Calderón H. Caracterización óptica y estructural de nanopartículas de *Allium sativum* L. impregnadas en lomo de bovino. *Revista Acta Agronómica*. 2014; 64(1):54-60.
- Álbert, A, Varela P, Salvador, A, Fiszman, M. S. Improvement of crunchiness of battered fish nuggets. *European Food Research and Technology*. 2009; (228):923-930.
- Offer G, Cousin, T. The mechanism of drip production-formation of two compartments of extracellular-space in muscle post-mortem. *Journal of the Science of Food and Agricultural*. 1992; 58:107-116.
- Honikel K. O. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*. 1998; 49(4):447-457.
- Arocas A, Sanz T, Hernando M.I, Susana M. Comparing microwave- and water bath-thawed starch-based sauces: Infrared thermography, rheology and microstructure. *Food Hydrocolloids*. 2011; 25(1):1554-1562.
- García P, Andrés A, Martínez J. Effect of cooking method on mechanical properties, color and structure of beef muscle (*M. pectoralis*). *Journal of Food Engineering*. 2007; 80(1): 813-821.
- Chiavaro E, Rinaldi M, Vittadini E, Barbanti D. Cooking of pork *longissimus dorsi* at different temperature and relative humidity values: Effects on selected Physico-chemical properties. *Journal of Food Engineering*. 2009; (93):158-165
- Destefanis G, Brugiapaglia A, Berge M, Dal E. Relationship between beef consumer tenderness perception and Warner-Bratzler shear force. *Meat Science*. 2008; (78): 153-156.

INFLUENCIA DE NANOPARTICULAS DE AJO EN LAS CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS DE HAMBURGUESAS

INFLUENCE OF GARLIC NANOPARTICLES IN HAMBURGER PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS

O.L. TORRES-VARGAS,¹A.J. GARCÍA-SALCEDO²; K.J. FIGUEROA-LÓPEZ³

RESUMEN

Antecedentes: El interés tecnológico por integrar nanopartículas a los alimentos se basa en la posibilidad de obtener nuevas formulaciones y nuevas tendencias en la elaboración de productos cárnicos, contribuyendo al avance de la cadena productiva del país. Es por ello que ha venido creciendo el interés por la realización de investigaciones para establecer los efectos de la adición de nanopartículas en los alimentos y su influencia en las propiedades fisicoquímicas. **Objetivos:** formular hamburguesas adicionando nanopartículas de polvo de ajo (nPA) y estudiar su influencia en las propiedades estructurales, fisicoquímicas y microbiológicas. **Métodos:** Las hamburguesas fueron formuladas siguiendo los parámetros establecidos por la NTC 1325 para productos premium y estándar, crudas y precocidas. Las nPA fueron obtenidas por el método de molienda mecánica y selección de tamaño por tamizado. Las hamburguesas obtenidas fueron analizadas de acuerdo a sus características estructurales: rayos X y FTIR, parámetros fisicoquímicos: pH, humedad, color y textura (fuerza de corte, FC) y análisis microbiológicos, realizados según los parámetros establecidos por la NTC 1325, durante 240 horas de almacenamiento a 4°C. **Conclusiones:** La adición de nPA no afectó la estructura de las hamburguesas precocidas y crudas, produjo un aumento en la tonalidad roja a* en las hamburguesas premium HnACP. El efecto de cocción produjo disminución en el parámetro L* de las diferentes formulaciones y un aumento en la FC durante el tiempo de almacenamiento. Los resultados del análisis de microbiológica cumplieron los parámetros exigidos por la Norma Técnica Colombiana (NTC) 1325.

Palabras clave: nanopartículas, ajo, hamburguesas, color, textura.

ABSTRACT

Background: the technological interest in integrating nanoparticles into the food is based on the possibility of obtaining new formulations and new trends in the production of meat products, contributing to the advance of agroindustrial chains in the country. That is why it has been growing the interest in conducting researches to determine the effects of the nanoparticles addition in food and its influence on the physicochemical properties. **Objectives:** prepare hamburgers adding garlic powder nanoparticles (nPA) and study their influence on structural, physical, chemical and microbiological properties. **Methods:** hamburgers were prepared in accordance with the parameters set by the NTC 1325 standard for premium and standard, raw and precooked products. nPA were obtained by mechanical milling and size selection by sieving. The burgers obtained were analyzed according to their structural characteristics through X and FTIR, physical and chemical parameters pH, moisture, color and texture (shear force, SF) and microbiological analyzes following the parameters set by the NTC 1325 for 240 hours storage at 4 ° C. **Conclusions:** The addition of nPA did not affect the structure of pre-cooked and raw hamburger, but it produced an increase in the a* red hue in HnACP premium burgers. The effect of cooking produced a decrease in the L* parameter of the different formulations and a SF increase during storage time was also determined. The microbiological results met the parameters required by the Colombian Technical Standard (NTC) 1325.

¹ Ph.D. Tecnología de Alimentos, Universidad del Quindío, Profesor de Planta, Armenia Colombia

² Msc Química, Ingeniera de Alimentos, Universidad del Quindío, Armenia Colombia

² MsC Ingeniera Agroindustrial, Ingeniera de Alimentos, Universidad del Quindío, Armenia Colombia

* Autor de correspondencia: oltorres@uniuquindio.edu.co

INTRODUCCION

El ajo (*Allium sativum* L.) perteneciente a la familia de las liliáceas, presenta en su estructura carbohidratos, compuestos azufrados, proteínas, fibra, minerales, vitaminas A y C y complejo B; además es una fuente importante de antioxidantes (1). La acción antimicrobiana de la alicina se produce cuando los ajos se someten a cocción (2) actuando como un potente inhibidor de algunas enzimas, entre ellas, cistein-proteinasas y alcohol deshidrogenasas, empleado en la industria cárnica por su alto poder antimicrobiano, aroma y sabor. En la industria cárnica la nanotecnología puede ser considerada como una herramienta para la detección de sustitución de una pieza de carne por harinas cárnicas, frescura del alimento, determinación y cuantificación de aditivos (3). También puede ser empleada para establecer diferencias en las líneas de procesamiento de la carne, diseño de envases inteligentes para carne fresca y productos cárnicos, favorecen la inclusión de pre y probióticos en los productos cárnicos, formulación de grasas a base de nanoemulsiones para producir antioxidantes, nanosensores para ser utilizados en bioseguridad y seguimiento de los productos cárnicos con funciones nanoestructuradas definidas (4). Asimismo, la hamburguesa es un producto cárnico procesado, homogenizado o picado o ambos, moldeado, sometido o no a tratamiento térmico, elaborado a base de carne y con la adición de sustancias de uso permitido de acuerdo a la NTC 1325 (5). Se encuentra en el grupo de los productos cárnicos frescos cuyo proceso de manufactura consta simplemente de la mezcla de los diferentes ingredientes entre sí, y que posteriormente pueden ser embutidos o no. Estos productos deben conservarse bajo refrigeración por

periodos cortos y congelación por periodos largos, deben ser sometidos a un tratamiento térmico antes de su consumo. Dado el potencial tecnológico de las nPA y la importancia de las hamburguesas en una dieta nutritiva, mediante esta investigación se formularon hamburguesas premium y estándar crudas y precocidas con adición de nPA y se estudió su influencia en las propiedades estructurales, fisicoquímicas y microbiológicas durante un tiempo de almacenamiento de 240 horas.

MATERIALES Y METODOS

Para el estudio se formularon hamburguesas con y sin nPA crudas y precocidas premium, HnACP- HCP, HnAPP-HPP, hamburguesas con nPA crudas y precocidas estándar, HnACE- HCE, HnAPE-HPE, teniendo en cuenta la NTC 1325, la concentración de ajo utilizada se tomo de acuerdo a los resultados de citotoxicidad obtenidos por Figueroa *et al.* (6).

Preparación de las hamburguesas

Se realizaron tres replicas para cada tipo de hamburguesa. Las carnes y los condimentos fueron pesados en una balanza analítica marca Ohaus-Traveler, según las cantidades establecidas en la formulación presentada en la Tabla 1. La carne y la grasa se picaron (grano 5 mm) y se mezclaron durante 5 min en una amasadora atmosférica RM-60 (Mainca Granollers, Spain). La temperatura de la carne durante el amasado no sobrepasó los 12 °C. Posteriormente se moldearon las hamburguesas con un diámetro de 10 cm diámetro por 1.5 de grosor y fueron cubiertas por una lámina de plástico transparente e impermeable y almacenadas a 4°C durante 240 horas.

Tabla 1. Formulación hamburguesas tipo premium y estándar con y sin adición de nPA.

Ingredientes / Tipo de hamburguesa.	Premium	Estándar
Carne de bovino	67.00	63.5
Tocino De Cerdo	10.00	16,55
Miga Hamburguesa	4.00	5.33
Agua fría	16.25	11.50
Sal refinada	0.84	0.84
Lactato de sodio	0.08	0.08
Ajo en nanopartícula (nPA)	0.15	0.15
Proteína Supro 500E	1.84	1.78
Humo liquido poly C-8.5	0.03	0.03
Prep. Sabor hamburguesa carbón	0.24	0.24

Obtención de nanopartículas de ajo (nPA)

Las nanopartículas de ajo fueron obtenidas por el método de reducción y selección de tamaño, a partir de 10 g de micro-partículas de polvo de ajo comercial 100% natural de la empresa TECNAS siguiendo la metodología descrita por Figueroa *et al.* (7).

Determinación de propiedades estructurales, ópticas, fisicoquímicas y microbiológicas

Caracterización estructural

Para la caracterización estructural se utilizó un difractómetro de rayos X (DRX) marca Bruker D8-Advance provisto de un tubo con ánodo de Cu que emite radiación de tipo λ (1.543 nm); un detector con un voltaje de 40 kV y una corriente de 40 mA. Las muestras de hamburguesa fueron compactado en el porta-muestras del equipo y las mediciones se realizaron con un ángulo de 3-60°, donde cada 3 segundos se medían 0.02°, siendo el tiempo promedio de medida para cada muestra de 2.5 h.

Caracterización óptica

La caracterización óptica fue realizada por Espectroscopia Infrarroja Transformada de Fourier (FTIR). Las muestras de las hamburguesas fueron compactadas con un dado con KBr en proporción 1:10 que fue colocado en una celda adaptada en un espectrofotómetro marca IR Prestige 21 Shimadzu. Los espectros de las muestras se obtuvieron en rangos de números de onda comprendidos desde 4000 hasta 400/cm, que corresponden al rango espectral del infrarrojo medio (MIR).

Caracterización fisicoquímica

La medida del pH y humedad fueron realizada durante 48-240 horas de almacenamiento. Para la medida de pH se utilizó un pH-metro de punzón portátil CRISON PH25® (CRISON Instruments S.A., España) y el contenido en humedad (x^w g/g) fue determinando por desecación de las muestras en una estufa a 100°C hasta alcanzar un peso constante (ISO R-1442).

Medidas de color

La determinación de color se realizó en un espectrofotómetro Minolta CM-2002R (Minolta Cámara Co., Osaka, Japón), utilizando un ilumina-

nante D65 y un observador estándar 10° (UNE 40-080, 1984). La determinación y expresión del color se realizó en base a las coordenadas CIELAB y a los valores de reflectancia (CIE, 1976).

Medidas de textura

El análisis de textura fue realizado a 48 y 240 horas de almacenamiento, se realizó el análisis de corte a las hamburguesas formuladas utilizando una cuchilla Warner-Bratzler, una velocidad de corte de 3,33 mm/s. Se obtuvo una fuerza máxima de corte (N) de 30 kg célula de carga (TA.XT plus, StableMicro Systems.). Los datos se obtenidos utilizando el software Textura Exponente 32 (Versión 1.0.0.68), Stable Micro Systems, la Corte de Viena, Reino Unido.

Análisis microbiológico

Para el análisis microbiológico se evaluaron hamburguesas con 48 y 240 horas de almacenamiento. Para el análisis de aerobios mesófilos se siguió el procedimiento descrito en la norma NTC 4519 (8), recuento de coliformes fecales y totales NTC 4516 (9), Staphylococcus aureus, NTC 4779(10), esporas de Clostridium NTC 4834(11) sulfito reductoras y Salmonella sp, NTC 4574(12) respectivamente. Todos estos análisis fueron realizados por triplicado.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor con 3 réplicas con un nivel de significancia del 95% ($p \leq 0,05$) donde el tipo de hamburguesa formuladas fueron el factor de entrada y las variables de respuesta fueron % de humedad, L^* , a^* , b^* y fuerza de corte, para 48 y 240 horas de almacenamiento. Las diferencias se consideraron significativas si $P < 0,05$. Los valores se da en términos de valores medios y el error estándar en la tablas. Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVII.

RESULTADOS

Caracterización Estructural

En la figura 1. a y b se observan los difractogramas de rayos X tomados a las HnAPP-E y HnACP-E, la figura 1. c y d presenta los difractogramas para HPP-E y HCP-E.

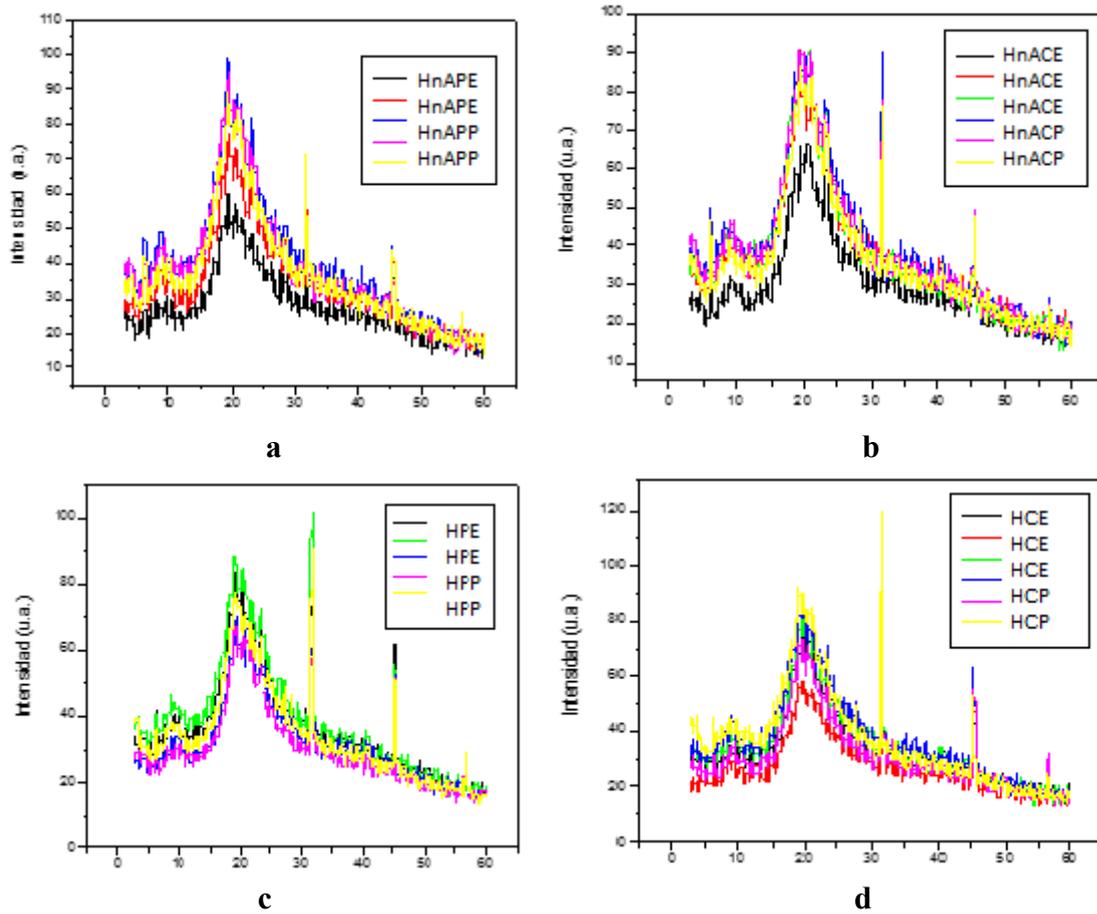


Figura 1. Difractogramas de rayos X en hamburguesas. a) precocidas con nPA, HnAPE - HnAPP. b) crudas con nPA HnACE y HnACP. c) precocidas sin nPA. HFE y HPP d) crudas sin nPA HCE y HCP.

Caracterización Óptica

En las Figuras 2. a y b se presentan los espectros de HnACP- HCP, HnAPP- HPP durante el almacenamiento, usando Espectroscopia Infrarroja con

Transformada de Fourier FTIR, la interpretación del espectro se realizó siguiendo los lineamientos establecidos para la identificación de grupos funcionales reportados en la literatura especializada (13).

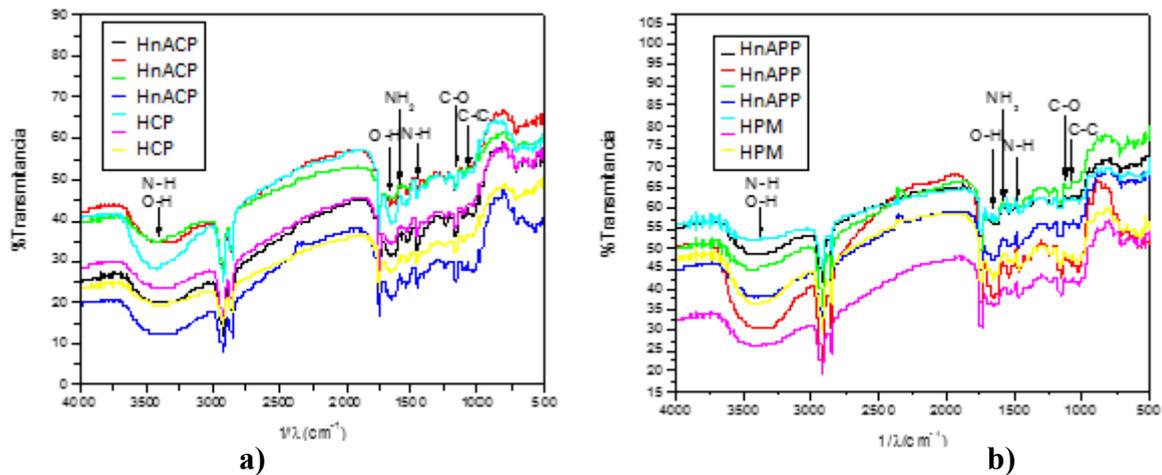


Figura 2. Espectros IR de hamburguesas a) cruda con y sin adición de nPA, HnACP, HCP magra. b) precocidas con y sin adición de nPA, HnAPP, HPP.

Humedad y pH

La Figura 3 muestra el comportamiento de los diferentes tipos de hamburguesa con relación al pH y el contenido de humedad, almacenados durante 48-240 horas.

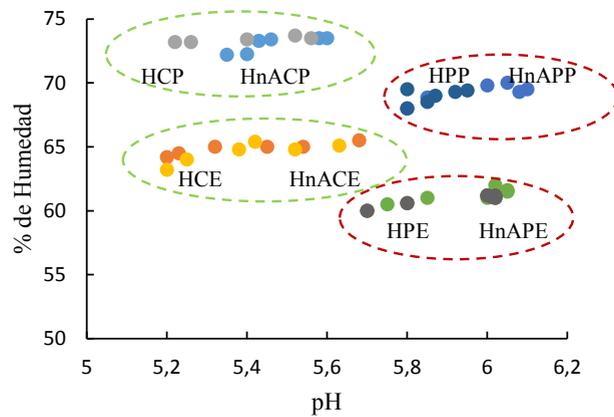


Figura 3. Evolución del contenido de humedad frente al pH en las hamburguesas formuladas.

Propiedades de color y textura

La Tabla 2 muestra los valores obtenidos para el análisis de los parámetros de textura y color para las hamburguesas formuladas durante el almacenamiento a 4°C.

Tabla 2. Valores de L*, a* y b* en las hamburguesas formuladas.

Muestras	48 horas de almacenamiento				240 horas de almacenamiento			
	FC	L*	a*	b*	FC	L*	a*	b*
HnACP	21.45±0.23	53.52±0.45	8.48±0.63	9.55±0.36	18.59±0.58	55.87±0.57	11.21±0.45	5.51±0.25
HnACE	39.51±0.25	51.27±0.36	7.52±0.25	10.51±0.24	38.65±0.64	46.52±0.73	8.01±0.35	5.52±0.35
HCP	30.42±0.13	50.2±0.54	7.50±0.62	8.53±0.32	32.58±0.72	45.28±0.65	6.85±0.62	7.52±0.42
HCE	41.24±0.25	55.5±0.72	7.02±0.52	8.56±0.28	39.58±0.62	42.15±0.58	7.68±0.52	6.42±0.65
HnAPP	37.25±0.52	47.8±0.24	6.58±0.36	10.24±0.54	32.54±0.65	42.51±0.62	6.85±0.35	7.05±0.35
HnAPE	45.32±0.57	40.5±0.45	6.02±0.24	8.21±0.61	46.35±0.67	35.45±0.82	6.32±0.52	6.58±0.41
HPP	31.14±0.24	49.5±0.58	4.58±0.65	9.25±0.53	22.54±0.82	36.57±0.72	4.01±0.42	6.04±0.52
HPE	42.56±0.36	41.3±0.65	4.02±0.27	8.01±0.36	39.56±0.73	38.56±0.86	3.95±0.36	5.06±0.32

DISCUSIÓN

Los difractogramas obtenidos para el análisis de RX (figura 1. a y b), permitieron observar los picos más altos para las hamburguesas elaboradas con mayor contenido de carne magra, HnAPP, HPP entre 15-30° y una intensidad 65 y 90 μa , presentando sistemas amorfos. Los cuales se caracterizan por no presentar una estructura periódica, debido a la variedad de compuestos que conforman, la carne y los condimentos utilizados en las formulaciones. Los espectros de IR (figura 2. a y b) no muestran diferencias relacionadas con la formulación o el pro-

ceso de cocción. Los grupos funcionales observados corresponden a los aminoácidos característicos de la carne (14). Dos grupos definidos con diferencias significativas se observan entre hamburguesas premium y estándar con relación al contenido de humedad (figura 3), HCP-HnACP presentaron valores de pH entre 5.2-5.7 y una mejor capacidad de retención de agua que se ve reflejado en el contenido de humedad 72.1-74.5%. Las formulaciones estándar HPE-HnAPE presentaron porcentajes de humedad entre 60.0-62.5% y valores de pH entre 5.7-6.1, **éstos cambios** son atribuidos a un

mayor contenido de grasa que afecta el contenido de humedad y su disminución durante el tiempo de almacenamiento. La adición de nPA fue significativa en la coordenada a* provocando un aumento en la tonalidad rojiza y una disminución a los colores marrón-rojo, como se observa en las HnACP (Tabla 1), estas diferencias son consecuencia de los cambios de color causada por la reacción de Maillard durante la cocción (15). Diferencias significativas para L* en HnACE y HPE fueron observadas durante el tiempo de almacenamiento, la reducción de L* es atribuida al proceso de precocción, que estaría relacionado con los cambios en la mioglobina y la pérdida de agua. El proceso de precocción de las hamburguesas provocó diferencias significativas en FC de HnAPE y HPE (Tabla 1) indicando que el tratamiento térmico afecta el tejido, influyendo en la dureza de la hamburguesa. Los resultados del análisis de microbiológica de las hamburguesas formuladas con y sin nAP cumplieron con el índice máximo permisible para identificar un nivel de buena calidad en productos cárnicos procesados crudos frescos, exigidos por la Norma Técnica Colombiana (NTC) 1325.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos son un primer acercamiento para la utilización de nAP en la industria cárnica. Con esta investigación se logró obtener la formulación de una hamburguesa tipo premium y económica con nPA y establecer el efecto en la características estructurales, fisicoquímicas y microbiológicas.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Interdisciplinario de las Ciencias y el Laboratorio de Poscosecha de la Universidad del Quindío, por contribuir al desarrollo de esta investigación y la realización de las pruebas fisicoquímicas.

REFERENCIAS

1. Lawrence R. Antioxidant activity of garlic essential oil (*Allium Sativum*) grown in north Indian plains. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 2011; (1):51-54.
2. Lanzotti V. The analysis of onion and garlic. *Journal Chromatography*. 2006; (1):3-22.
3. Almengor, L. 2009. Nanotecnología en la industria alimentaria. *Ingeniería y ciencia* [serial online]; 13:35-52. Disponible en: www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_13_QUI01.
4. Ozimek L, Pospiech E, Narine S, Nanotechnologies in food and meat processing, *Acta Sci Pol Technol Aliment*. 2010; (9): 401-412.
5. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y de Certificación (ICONTEC). Industrias alimentarias. Productos cárnicos procesados no enlatados. No. NTC 1325. Quinta actualización. Bogotá: Icontec; 2008.
6. Figueroa K, Torres O, Ariza H. Caracterización óptica y estructural de nanopartículas de *allium sativum* L. impregnadas en lomo de bovino. *Acta Agronómica*. 2015; 54: 54-60.
7. Figueroa K, Torres O, Ariza H. Películas poliméricas reforzadas con nanopartículas de polvo de ajo. *Revista Facultad Nacional De Agronomía*. 2014; 67(1):1032-1034.
8. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y de Certificación (ICONTEC). Microbiología de los alimentos para consumo humano y animal. Método horizontal para el recuento de microorganismos. Técnica de recuento de colonias A 30 °C. No. NTC 4519. Primera Actualización. Bogotá: Icontec; 2009.
9. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y de Certificación (ICONTEC). Método horizontal para la detección y enumeración de coliformes técnica del número más probable. No. 4516. Primera Actualización. Bogotá: Icontec; 2009.
10. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y de Certificación (ICONTEC). Microbiología de alimentos y alimentos para animales. Método horizontal para el recuento de estafilococos coagulasa positiva (*Staphylococcus aureus* y otras especies). No. NTC 4779. Primera Actualización. Bogotá: Icontec; 2007.
11. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y de Certificación (ICONTEC). Microbiología de alimentos y alimentos para animales. Método horizontal para el recuento de clostridium sulfito reductor e identificación de clostridium perfringens - técnicas de recuento de colonias. No. NTC 4834. Bogotá: Icontec; 2000.
12. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y de Certificación (ICONTEC). Microbiología de alimentos y alimentos para animales. Método horizontal para la detección de salmonella SPP. No. NTC 4574. Primera Actualización. Bogotá: Icontec; 2007.
13. Skoog A, Holler F, Nieman T. Principios de análisis instrumental. Quinta edición: Madrid, España: Mac Graw Hill. 2001; 256 p.
14. Warriss P.D. Ciencias de la Carne. Zaragoza, España: Acribia. 2003; 309p.
15. Garcia P, Andrés A, Martinez J. Effect of cooking method on mechanical properties, color and structure of beef muscle (*M. pectoralis*). *Journal of Food Engineering*. 2007; 80(1): 813-821.

EFICIENCIA BIOLÓGICA COMO VARIABLE DE BIOPROCESAMIENTO DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS PARA LA PRODUCCIÓN DEL HONGO COMESTIBLE Y MEDICINAL (*Pleurotus ostreatus*)

BIOLOGICAL EFFICIENCY AS VARIABLE OF BIOPROCESSING OF LIGNOCELLULOSIC WASTE FOR PRODUCTION OF EDIBLE AND MEDICINAL FUNGUS (*Pleurotus ostreatus*)

Olga L. BENAVIDES CALVACHE^{1*}, Hugo RUIZ ERASO², Daniel ARAUJO³

RESUMEN

Antecedentes: El procesamiento de residuos lignocelulósicos que se generan en el departamento de Nariño (Colombia) como resultado de la actividad agrícola, es difícil debido a su alto contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa; por lo cual son dispuestos en el mismo sitio de cultivo ocasionando problemas de contaminación ambiental. Sin embargo, el uso de hongos de pudrición blanca tal como *Pleurotus ostreatus* es una alternativa eficiente para su transformación biológica, con la ventaja adicional de producir setas comestibles con alto valor nutricional y medicinal. **Objetivo:** Determinar la eficiencia biológica como variable de bioprocesamiento de residuos lignocelulósicos de origen nariñense obtenidos de cultivos de café, fique, palma de aceite y avena forrajera, empleando el hongo *Pleurotus ostreatus*. **Método:** Se cultivó micelio comercial de *P. ostreatus* en siete sustratos de crecimiento: tres preparados individualmente con pulpa de café (PC), bagazo de fique (BF) y raquis de palma de aceite (RP); tres enriquecidos con 30% de granza de avena forrajera (GA) y un testigo de granza de avena forrajera (GA). Se determinó la eficiencia biológica (EB) como variable de bioprocesamiento para dos cosechas. **Resultados:** La mayor eficiencia biológica acumulada (EBA) en dos cosechas fue obtenida en el tratamiento testigo T7, seguido del tratamiento de raquis de palma enriquecido con granza de avena T6 y la menor se dio en el tratamiento de bagazo de fique T3. **Conclusiones:** Se presentó un

notable incremento en los valores de EBA durante el bioprocesamiento de residuos lignocelulósicos preparados totalmente o parcialmente con granza de avena forrajera, seguido de los tratamientos de raquis de palma de aceite y pulpa de café, mientras que los sustratos elaborados con bagazo de fique evidenciaron una mínima EB.

Palabras clave: *Pleurotus ostreatus*, setas, sustrato, bioprocesamiento, eficiencia biológica.

ABSTRAC

Background: Processing of lignocellulosic waste generated in the department of Nariño (Colombia) as a result of agricultural activity, is difficult due to its high content of lignin, cellulose and hemicellulose; so these are arranged in the same place of growing causing problems of environmental pollution. However, the use of white rot fungi such as *Pleurotus ostreatus* is an efficient alternative to biological transformation, with the additional advantage of producing edible mushrooms with high nutritional and medicinal value. **Objectives:** To determine the biological efficiency as variable of bioprocessing of lignocellulosic waste in Nariño obtained in crops of coffee, fique, palm oil and forage oats, using the fungus *Pleurotus ostreatus*. **Methods:** Commercial mycelium *P. ostreatus* cultivated in seven growth substrates, three individually prepared with coffee pulp (PC), fique bagasse (BF) and oil palm rachis (RP); three were enriched with 30%

¹ M.Sc. Docente Investigadora, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Grupo de Investigación en Biotecnología Agroindustrial y Ambiental BIOTA, Universidad de Nariño, Pasto - Colombia.

² Ph.D. Docente Investigador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de Investigación en Cultivos Andinos, Universidad de Nariño, Pasto - Colombia.

³ Ingeniero Agroindustrial, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Grupo de Investigación en Biotecnología Agroindustrial y Ambiental BIOTA, Universidad de Nariño, Pasto - Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: olgalucia@udenar.edu.co

chaff of forage oat (GA) and a control chaff of forage oat (GA). Biological efficiency (EB) was determined as bio-processing variable for two harvests. **Results:** Most EB accumulated in two harvests was obtained in the control treatment T7, followed by treatment of oil palm rachis enriched with chaff of forage oat T6 and lowest occurred in the treatment of fique bagasse T3. **Conclusions** A significant increase of accumulated EB during bioprocessing of lignocellulosic waste fully or partially prepared with chaff of forage oat was presented, followed by treatment of rachis palm oil and coffee pulp, while the substrates made from fique bagasse showed a minimum EB.

Keywords: *Pleurotus ostreatus*, mushrooms, substrate, bioprocessing, biological efficiency.

INTRODUCCION

En países en donde la economía se basa en la agricultura se generan grandes cantidades de residuos lignocelulósicos, los cuales se convierten en contaminantes cuando son dispuestos inadecuadamente. Por tal razón, en los últimos años se han desarrollado procesos biotecnológicos que utilizan estos desechos para la producción de alcohol, enzimas, ácidos orgánicos, extractos naturales, abonos orgánicos y hongos comestibles, en búsqueda de la protección del ambiente y de productos con valor agregado (1).

En el departamento de Nariño (Colombia) la generación de residuos lignocelulósicos es amplia debido a su tradición agrícola, tal como sucede en los cultivos de fique, café, palma de aceite y cereales: En el año 2011 el departamento de Nariño presentó una superficie cultivada de 6.518 ha de fique (*Furcraea sp.*) con un rendimiento de 1,50 ton/ha/año. De su beneficio se obtiene la fibra aprovechable comercialmente y que representa el 4% de la planta. El restante 96% corresponde a residuos líquidos (jugo) y sólidos (bagazo y ripio), causantes de la contaminación del suelo y fuentes de agua (2). Los residuos sólidos de café (*Coffea arabica*), obtenidos durante el procesamiento de café cereza a café pergamino, pueden generar cerca de 114 g de contaminación en términos de DQO/kg de cereza. En el municipio de la Unión (Nariño) se produce alrededor de 5.620 t café pergamino/año, lo que genera un valor cercano a 21×10^6 kg de residuos sólidos/año, que por lo general son vertidos a los ríos o nacimientos de agua (3). La explotación de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) en Colombia genera entre

0,2 y 0,25 t de raquis (tusas vacías) que se obtienen luego del proceso de desfrutado, aprovechables por su contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina (4). En los departamentos de Colombia con tradición cerealista se ha incrementado la investigación en el cultivo de avena (*Avena sativa*) con fines de generación de forraje de alta calidad para alimentación animal y de su cosecha se obtienen alrededor de 70% de residuos lignocelulósicos (5).

Los residuos lignocelulósicos constituyen una excelente biomasa para el crecimiento de diferentes hongos superiores. Estos organismos presentan un sistema enzimático capaz de descomponer lignina, celulosa y hemicelulosa, sustancias que no son degradadas por la mayoría de organismos presentes en los ecosistemas (6). Un ejemplo de ellos es *Pleurotus ostreatus* que es una seta comestible y medicinal capaz de degradar materiales lignocelulósicos. Este hongo es susceptible de cultivo sobre sustratos preparados y su nivel de degradación depende de la calidad del sustrato, lo que cual puede cuantificarse a través de la Eficiencia Biológica (7). Su cultivo ha sido de importancia económica en países como España, Italia o Francia y en Latinoamérica su cultivo presenta mucho potencial como alternativa de alimentación con producción amigable con el medio ambiente y a bajo costo, si se tiene en cuenta que la producción de residuos agrícolas y agroindustriales en los países en desarrollo, se calcula alrededor de 2.500 millones de toneladas al año (8). En este estudio se determinó la eficiencia biológica (EB) como variable de bioprocésamiento de sustratos preparados con bagazo de fique (BF), pulpa de café (CF) y raquis de palma de aceite (RP) enriquecidos y no enriquecidos con granza de avena (GA), mediante el hongo *P. ostreatus*.

MATERIALES Y METODOS

Obtención y tratamiento de residuos lignocelulósicos

Los residuos lignocelulósicos fueron adquiridos en diferentes municipios del departamento de Nariño (Colombia): BF en El Tambo, RP en Tumaco, PC en La Unión y GA en Pasto (Corpoica - Centro de Investigación Obonuco). El tratamiento de dichos residuos se hizo según la metodología de (9), con acondicionamiento químico de 2% de CaCO_3 grado analítico Merck (Alemania) y 1% de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ grado analítico Merck (Alemania).

La suplementación se realizó con 30% de GA y la relación de inoculación con micelio de *P. ostreatus* comercial fue de 2%.

Cultivo y determinación de Eficiencia Biológica

El cultivo de *P. ostreatus* se llevó a cabo en condiciones controladas en la ciudad de Pasto (Colombia), empleando un diseño experimental DCA, con siete tratamientos y tres repeticiones (Tabla 1). La incubación se mantuvo a 22°C bajo penumbra. Después de la invasión micelial se retiraron las bolsas y la penumbra para permitir la fructificación del hongo, manteniendo la temperatura entre 15 y 20°C y la humedad relativa entre 80 y 90%. El porcentaje de eficiencia biológica se determinó relacionando la masa de hongos cosechados con la masa de sustrato seco.

Análisis estadístico

Se determinó la media, desviación estándar y se realizó el análisis de varianza de EB en los diferentes tratamientos, según el modelo estadístico para DCA. El análisis de medias fue realizado mediante

prueba de Fischer. Se empleó el programa estadístico INFOSTAT V. 2012.

Tabla 1. Tratamientos empleados en el cultivo de *P. ostreatus*

Tratamiento	Descripción porcentual en base seca
T1	97 % PC
T2	67 % PC + 30 % GA
T3	97 % BF
T4	67 % BF + 30 % GA
T5	97 % RP
T6	67 % RP + 30 % GA
T7	97% GA

PC: Pulpa de café, GA: Granza de avena forrajera, BF: Bagazo de fique, RP: Raquis de palma de aceite.

RESULTADOS

En la Tabla 2 se presentan los valores de eficiencia biológica (EB) obtenidas para la primera y segunda cosechas de *P. ostreatus*, así como la eficiencia biológica acumulada.

Tabla 2. EB del cultivo de *P. Ostreatus*

TRATAMIENTO	EBC1 (%)	EBC2 (%)	EBA (%)
T1	173,75 ± 64,82 bc	98,84 ± 28,97 a	272,59
T2	252,37 ± 47,33 ab	85,63 ± 18,13 a	338,00
T3	49,59 ± 10,48 d	8,08 ± 4,50 c	57,67
T4	140,94 ± 43,19 c	38,23 ± 40,24 bc	179,17
T5	250,66 ± 56,28 ab	40,39 ± 15,66 bc	291,05
T6	312,99 ± 55,63 a	63,30 ± 14,06 ab	376,29
T7	326,41 ± 19,29 a	81,24 ± 15,91 a	407,65

EBC1: Eficiencia biológica cosecha 1. EBC2: Eficiencia biológica cosecha 2.

EBA: Eficiencia biológica acumulada. Datos expresados como media ± SD de tres repeticiones. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos (Prueba Fischer).

DISCUSIÓN

EBC1 resultó superior a EBC2 en todos los tratamientos, este mismo fenómeno se ha descrito en otras investigaciones (7). Los valores EB más altos con diferencias significativas para la cosecha 1 los presentaron los tratamientos T7 y T6, mientras que el más bajo lo presentó T3. En la cosecha 2, los tratamientos de EB más altos los presentó T1, T2 y nuevamente el tratamiento testigo T7 y el más bajo

fue T3. La disminución de EB entre la primera y segunda cosechas se atribuye al agotamiento de nutrientes en el sustrato y a la forma en la que el hongo se adapta al medio de cultivo (10).

El comportamiento de EBA indica que los tratamientos enriquecidos con la granza de avena presentan mayores resultados de EB respecto a los tratamientos sin enriquecer. Enriquecer los sustratos con granza de avena resultó favorable en la producción de *P. ostreatus*, debido a que posee

características físico-químicas óptimas para el crecimiento y desarrollo del hongo (11). El tratamiento T6 presentó un valor de EBA de 376,29% comparable con la investigación de (12), quien encontró la mejor eficiencia biológica para *P. ostreatus* con el sustrato de raquis de palma aceitera debido a su alto contenido de lignina, lo que facilita el desarrollo y adaptabilidad del hongo. El tratamiento T1 presentó EBA de 272,59%, valor superior al hallado por (13) (168%) para el mismo sustrato, indicando que es viable la producción de *P. ostreatus* sobre pulpa de café. El dato de EBA más bajo lo presentó el tratamiento con bagazo de fique T3 con un valor de 57,67%, posiblemente debido a las saponinas con actividad fungicida propias del género *Furcraea* (14) y la mayor compactación que presentaron sus unidades productivas en relación al resto de sustratos. Por otro lado, todos los tratamientos presentaron eficiencias biológicas superiores al 50%, valor considerado como el mínimo aceptable para la calidad productiva de un sustrato (15), lo cual puede atribuirse al acondicionamiento químico de nitrógeno y calcio que se incluyó en todas las unidades productivas.

CONCLUSIONES

Se logró determinar la eficiencia biológica como variable de bioprocesamiento de diferentes residuos lignocelulósicos, mediante el hongo comestible y medicinal *P. ostreatus* y se obtuvo como tratamiento más eficiente en dos cosechas al testigo con granza de avena T7 (EBA= 407,65%), mientras que el mejor tratamiento de mezcla con granza de avena forrajera fue T6, preparado con raquis de palma aceitera, el cual presentó un valor de EBA de 376,29% y el tratamiento menos promisorio para ser empleado como sustrato de *P. ostreatus* fue el bagazo de fique, cuya EBA fue de 57,67%.

REFERENCIAS

- Baldrian P, Valásková V. Degradation of cellulose by basidiomycetous fungi. *FEMS Microbiol. Rev.* 2008; 32: 501-521.
- Cadefique. Guía ambiental del subsector fiquero. 2^{da} ed. Bogotá, Colombia. 2006; 12.
- Rebolledo I, Vento L. Propuesta de agroindustrialización del proceso de beneficio del café en el municipio de la Unión (Nariño) de acuerdo a las características de calidad esperadas por el cliente a nivel internacional. [Trabajo de Pregrado]. [Bogotá, Colombia]: Pontificia Universidad Javeriana. 2004; 85 p.
- Wanrosli W. Pulp from oil palm fronds by chemical processes. *Industrial crops and products.* 2007; 25(1): 89-94.
- Yepes D.B. Selección de nuevos genotipos de avena (*Avena sativa* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.) forrajeras en la región natural andina del sur de Colombia. [Trabajo de Maestría]. [Pasto, Colombia]: Universidad de Nariño. 2013; 64 p.
- Papinutti L. Enzimas ligninolíticas en *Fomes sclerodermeus*. [Tesis de Doctorado]. [Buenos Aires, Argentina]: Universidad de Buenos Aires. 2003; 93 p.
- Benavides OL. Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos para el cultivo de orellanas *Pleurotus ostreatus*. [Trabajo de Maestría]. [Pasto, Colombia]: Universidad de Nariño. 2013; 111 p.
- Montoya J. Hongos: Riqueza de la naturaleza poco explotada. [Internet]. Cali, Colombia: Universidad del Valle. 1997. [Citado 20 de enero de 2016]. Disponible en: <http://aupec.univalle.edu.co/informes/abril97/boletin34/hongos.html>
- Benavides OL, Cabrera E, Villota A, Perdomo D. Ácidos grasos del hongo funcional *Pleurotus ostreatus* cultivado en residuos sólidos agroindustriales. *P+L.* 2015; 10(1): 73- 81.
- Ríos M, Hoyos J, Mosquera S. Evaluación de los parámetros productivos de la semilla de *Pleurotus ostreatus* propagada en diferentes medios de cultivo. *Rev. Bio. Agro.* 2010; 8(2): 86-94.
- Iqbal S, Rauf C, Iqbal M. Yield performance of oyster mushrooms grown on different substrates. *Int. J. Agri. Biol.* 2005; 7(6): 900-903.
- Ramos G. *Pleurotus ostreatus* cultivado en residuos de la palma aceitera. [Trabajo de Pregrado]. [Riobamba, Ecuador]: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2007; 85 p.
- García N, Bermúdez C, Serrano M. Formulación de sustratos en la producción de setas comestibles en *Pleurotus*. Santiago de Cuba, Cuba: Centro de Estudio de Biotecnología Industrial (CEBI) - Universidad de Oriente. 2011; 42 p.
- Benavides OL, Arango O, Hurtado A, Rojas M. Cuantificación de saponinas del jugo fresco y fermentado de fique (*Furcraea gigantea*) mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC-PDA). *Inf. Tec.* 2012; 23(3): 67-76.
- Garzón J, Cuervo J. Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre residuos sólidos lignocelulósicos de diferente procedencia. *Nova.* 2008; 6(10): 126-140.

PRODUCCIÓN DE UN MEJORADOR DE SUELOS A PARTIR DE LA TRANSFORMACIÓN BIOLÓGICA DE PULPA DE CAFÉ (*Coffea arabica*), CEPA DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) Y ESTIERCOL DE CUY (*Cavia porcellus*)

RODUCTION OF A SOIL IMPROVER FROM BIOLOGICAL TRANSFORMATION OF COFFEE (*Coffea arabica*) PULP, BANANA (*Musa paradisiaca*) STRAIN AND GUINEA PIG (*Cavia porcellus*) DUNG

Danilo BETANCOURT¹, Carlos RODRÍGUEZ¹, Olga L. BENAVIDES^{2*}

RESUMEN

Antecedentes: Debido a la incursión de nuevos materiales para la elaboración de abonos orgánicos y acondicionadores de suelo de origen natural y dado que existe una elevada producción de residuos de cosecha altamente contaminantes, en países donde la economía se basa en la agricultura; se busca mediante la investigación biotecnológica el aprovechamiento de dichos deshechos para la generación de productos con valor agregado como una alternativa de desarrollo rural. **Objetivo:** Aprovechar los residuos agropecuarios de origen nariñense: pulpa de café, cepa de plátano y estiércol de cuy, para la elaboración de un mejorador del suelo mediante su transformación biotecnológica por compostaje, empleando microorganismos eficientes (EM). **Método:** Los residuos agropecuarios se obtuvieron de diferentes fincas productoras del municipio de Samaniego (Nariño – Colombia), se picaron, mezclaron con cal agrícola, se pusieron en contacto con caldo fermentativo preparado con leche, melaza, frijol, agua, EM y se apilaron hasta su compostaje total. Se prepararon 3 tratamientos con 3 repeticiones y se evaluó el contenido de N, P y K de los materiales compostados en el Laboratorio de Bromatología de la Universidad de Nariño, como variables de respuesta. **Resultados.** El mejor tratamiento fue el preparado con pulpa de café y cal agrícola, el cual resultó con una composición fue de 3,23 g/100g de N; 0,37 g/100g de P y 6,21 g/100g de K, en base seca. **Conclusiones** Los materiales compostados cumplen con las cantidades mínimas

exigidas por la norma NTC 5167 para N y K, mas no para P, por lo cual se recomienda el enriquecimiento con sales de uso agrícola que mejoren la calidad nutricional del compost, antes de ser usado como fertilizante del suelo.

Palabras clave: Café, plátano, cuy, compostaje, suelo.

ABSTRACT

Background: Due to the incursion of new materials for the production of organic fertilizers and soil conditioners of natural origin and since there is a high production of highly polluting crop residues, in countries where the economy is based on agriculture; is sought through biotechnology research the use of such waste to generate products with added value as an alternative for rural development. **Objective.** Harnessing agricultural residues of Nariño: coffee pulp, banana strain and guinea pig dung, for the development of a soil improver by composting biotechnological transformation with effective microorganisms (EM). **Methods:** Agricultural waste were collected from different producing farms in the municipality of Samaniego (Nariño - Colombia), were chopped, mixed with agricultural lime is contacted fermentation broth prepared with milk, molasses, beans, water, EM and stacked up their total composting. 3 treatments with 3 replications were prepared and the content of N, P and K of materials composted were evaluated at the Laboratory of Food Science, University of Nariño, as response variables. **Results:** The best

¹ Ingeniero Agroindustrial. Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño, Pasto – Colombia.

² M.Sc., Docente Investigadora, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Grupo de Investigación en Biotecnología Agroindustrial y Ambiental BIOTA Universidad de Nariño, Pasto.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: olgalucia@udenar.edu.co

treatment was prepared with coffee pulp and agricultural lime, which resulted in a composition was 3.23 g/100 g N; 0.37 g/100g P and 6.21 g/100g K, dry basis. **Conclusions:** Composted materials meet the minimum amounts required by the NTC 5167 for N and K, but not for P, thus is recommended to enriching the compost with salts of agricultural use to improve the nutritional quality, before being used as soil fertilizer.

Keywords: Coffee, banana, guinea pig, composting, soil.

INTRODUCCIÓN

Dada la creciente demanda de productos orgánicos y los altos precios de los insumos químicos tradicionales, se ha despertado un interés en el sector agrícola de buscar alternativas que permitan disminuir los daños que han causado el uso excesivo de fertilizantes químicos, así como la pérdida de las propiedades físicas y biológicas del suelo. Para ello en los últimos años, ha incrementado la tendencia en el uso de residuos agrícolas, tales como, la pulpa y cáscara de café, bagazo de yuca, bagazo de caña de azúcar, pulpa de remolacha, pulpa de manzana, entre otros (1, 2, 3). La utilización de los residuos agroindustriales tiene dos objetivos fundamentales: su reciclaje como sustratos alternativos mediante bioprocesos, y el aporte a la mitigación de los problemas de contaminación que estos ocasionan (4). En esta investigación se compostaron residuos de procesos agropecuarios (pulpa de café, cepa de plátano y estiércol de cuy) empleando EM, para la obtención de un mejorador de suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima y lugar de experimentación

Este estudio se llevó a cabo en la vereda La Meza en el municipio de Samaniego, Nariño (Colombia), durante el periodo de cosecha principal de café, comprendido entre Abril y Junio de 2011. La pulpa de café, la cepa de plátano y el estiércol de cuy se emplearon frescos y su recolección se hizo completamente al azar en fincas productoras del municipio de Samaniego. Dichos materiales se picaron y mezclaron homogéneamente según los tratamientos propuestos en el diseño de experimentos.

Diseño Experimental

Se empleó un diseño completamente al azar (DCA), con tres tratamientos y tres réplicas, teniendo como base de cálculo 100 kg de producto a fermentar. El Tratamiento 1 se preparó con un 95% de pulpa de café y 5% de cal agrícola; el Tratamiento 2 con 80% de pulpa de café, 15% de mezcla (cepa de plátano y estiércol de cuy) y 5% de cal agrícola; y el Tratamiento 3 con 65% de pulpa de café, 30% de mezcla (cepa de plátano y estiércol de cuy) y 5% de cal agrícola; a cada tratamiento se le adicionó 10 L de caldo fermentativo, el cual fue elaborado con 1L de EM comercial Marca Bioterre, 4L de leche, 4kg de melaza, 3kg de frijol cocinado y macerado y 120L de agua. Los tratamientos fueron dispuestos en pilas de compostaje con respiradero durante 30 días, se realizaron volteos frecuentes y se controló la temperatura y la humedad. Las variables de respuesta que se analizaron con el fin de evaluar las características químicas de los materiales compostados fueron Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K). Dichos elementos fueron cuantificados en el Laboratorio de Bromatología de la Universidad de Nariño.

Análisis Estadístico

Los resultados fueron analizados con el programa estadístico STATGRAPHICS 5.1 PLUS. Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) y la determinación de significancia entre medias LSD para P-valor $\leq 0,05$, de las variables de respuesta.

RESULTADOS

En la tabla 1 se presentan las medias obtenidas para las variables de respuesta Nitrógeno, Fósforo y Potasio, correspondientes a cada uno de los tratamientos de compostaje.

En las figuras 1, 2 y 3 se observan los intervalos de LSD (95%) para los resultados de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, respectivamente, de los diferentes materiales biotransformados.

Tabla 1. Valor de medias para N, P y K por tratamiento, expresados en g/100g (base seca).

TRATAMIENTO	N	P	K
T1	3,23	0,37	6,21
T2	2,67	0,37	4,75
T3	2,68	0,50	5,68

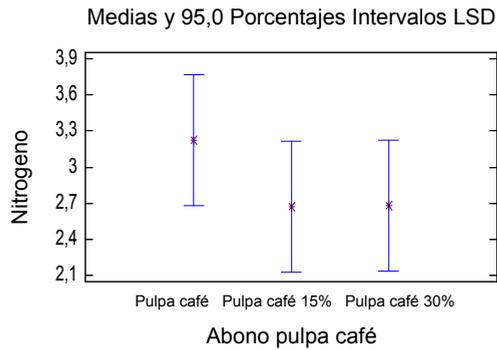


Figura 1. Gráfico de medias de N para los diferentes tratamientos

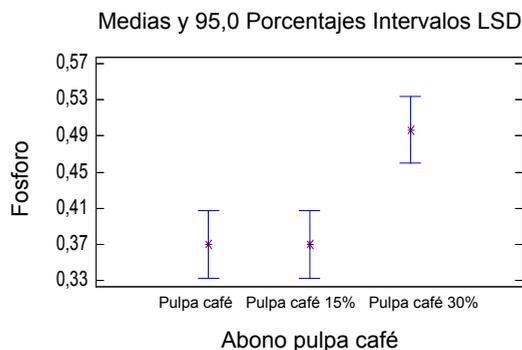


Figura 2. Gráfico de medias de P para los diferentes tratamientos

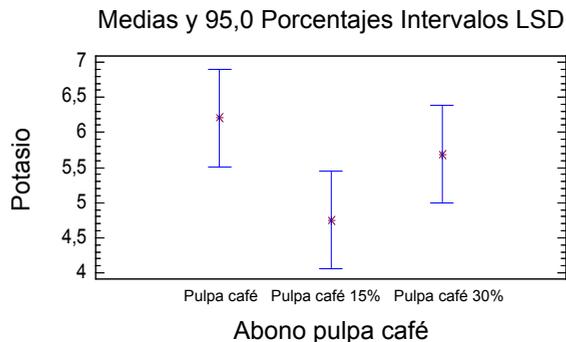


Figura 3. Gráfico de medias de K para los diferentes tratamientos

DISCUSIÓN

Los resultados del ANOVA obtenidos para la variable N en los tres tratamientos, indican que no hay diferencia estadísticamente significativa (P-valor = 0,4178).

De acuerdo a los resultados del ANOVA para la variable P, existe diferencia estadísticamente significativa entre los tres tratamientos evaluados (P-valor = 0,0086). El gráfico de LSD indica entre T1 y T2 no hay diferencia significativa, mientras que T3 si evidencia diferencia significativa con respecto a los otros dos tratamientos.

Del ANOVA para la variable K en los tres tratamientos, se observa que no hay diferencia estadísticamente significativa (P-valor = 0,1043).

Al comparar las concentraciones de N, P y K de los diferentes materiales compostados con los valores de la Norma Técnica Colombiana 5167 para productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo (5), se evidencia que los tres tratamientos cuentan con la composición mínima requerida de N y K, excepto en la composición de P, cuyo valor está por debajo de la norma requerida. Por lo cual, el mejor tratamiento como mejorador de suelos es T1 por tener las mayores concentraciones de N y K, sin embargo es recomendable reformular el caldo de cultivo empleado en el compost o la composición final del material biotransformado, mediante la adición de una sal agrícola que contenga P en su composición, con el fin de cumplir con los requerimientos mínimos de la Norma Técnica Colombiana 5167.

CONCLUSIONES

Los diferentes tratamientos no mostraron diferencias estadísticas entre sí respecto a las variables de respuesta N y K, mientras que la variable P fue mayor en T3. El mejor tratamiento para la elaboración de un mejorador de suelos, que cumple con los requerimientos de Nitrógeno y Potasio establecidos en la NTC 5167 fue T1 (95% de pulpa de café y 5% cal orgánica), sin embargo no cumple con el mínimo nivel de P. Se recomienda establecer una nueva formulación del caldo nutritivo que contiene los EM o la adición de una sal agrícola rica en P, para cumplir la totalidad de los requerimientos establecidos por la NTC 5167. Los materiales compostados obtenidos en esta investigación pueden catalogarse como mejoradores del suelo, en términos de su estructura física y microbiológica, pero en términos de fertilización orgánica cumplirían solamente para los elementos mayores N y K.

REFERENCIAS

1. Pandey A, Soccol C. Bioconversion of biomass: a case study of lignocellulosics bioconversions in solid state fermentation. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 1998; 41(4): 379-390.
2. Pandey A, Soccol C, Nigam P, Soccol V. Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*. 2000b; 74: 69-80.b
3. Pandey A, Soccol C, Nigam P, Soccol V, Vandenberghe L, Mohan R. Biotechnological potential of agro-industrial residues. II: cassava bagasse. *Bioresource Technology*. 2000c; 74: 81-87.
4. Pandey A, Soccol C, Nigam P, Brand D, Mohan R, Roussos S. Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. *Biochemical Engineering Journal*. 2000a; 6: 153-162.
5. Normas Técnicas Colombianas. 2011. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. NTC 5167.

ACEITE ESENCIAL DE *Lippia origanoides* COMO POSIBLE PRODUCTO BIORRACIONAL EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum*)

ESSENTIAL OIL OF *Lippia origanoides* POSSIBLE PRODUCT BIORRACIONAL IN THE POTATO CROP (*Solanum tuberosum*)

David E. ALVAREZ SÁNCHEZ M.Sc.¹, Andrés M. HURTADO BENAVIDES Ph.D.², Julián M. ACOSTA Martínez. I.A.³

RESUMEN

Antecedentes: *Lippia origanoides* H.B.K. (Verbenaceae) es un arbusto silvestre con altos contenidos de aceite esencial (A.E.); esta fracción reporta diferentes propiedades biológicas entre las que se destaca su efecto biocida sobre microorganismos. Debido a que los aceites esenciales pueden integrarse al concepto de productos biorracionales se propuso la presente investigación como una alternativa para disminución de pesticidas en el cultivo de papa. **Objetivos:** evaluar la actividad biocida del aceite esencial de *L. origanoides* frente a los fitopatógenos de papa: *Phytophthora infestans* y *Alternaria solani* a nivel *in vitro*. **Métodos:** el aceite esencial fue obtenido de hojas de *L. origanoides* mediante arrastre con vapor, la composición química volátil se determinó por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC/MS). Se valoró la actividad biocida del aceite esencial mediante la técnica de dilución en medio de cultivo, calculando el valor de porcentaje de inhibición. Finalmente, se determinó la sensibilidad de los fitopatógenos al aceite esencial mediante cambios en las estructuras reproductivas a través de análisis morfométrico. **Resultados:** El compuesto mayoritario del aceite esencial fue timol con 60,7%. Los fitopatógenos *P. infestans* y *A. solani* presentaron alta sensibilidad al extracto, se estableció que la relación 300 $\mu\text{l.ml}^{-1}$ causa la inhibición en el crecimiento micelial a nivel *in vitro*. El análisis morfométrico mostró diferencias en las estructuras reproductivas de los fitopatógenos que se sometieron al aceite esencial, presentando un menor tamaño en comparación al control. **Conclu-**

siones: Existe un alto potencial para la utilización de aceite esencial de *L. origanoides* como un producto biorracional frente a los fitopatógenos *P. infestans* y *A. solani* aislados en cultivos de papa.

Palabras clave: *Solanum tuberosum*, pesticidas, aceite esencial, *Lippia* sp., biocida.

ABSTRACT

Background: *Lippia origanoides* H.B.K. (Verbenaceae) is a wild bush with high essential oil (A.E.) contents, this fraction reports different biological properties including biocidal effect on microorganisms. Because essential oils can be integrated into the concept of biorational products, this research was proposed as an alternative to pesticide reduction in potato cultivation. **Objectives:** Evaluate the biocidal activity of the *L. origanoides* essential oil against potato pathogens: *Phytophthora infestans* and *Alternaria solani* at *in vitro* level. **Methods:** Essential oil was obtained from *L. origanoides* leaves by steam distillation, the volatile chemical composition was determined by gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS). The biocidal activity of essential oil was assessed by culture medium dilution technique calculating the percent inhibition. Finally, the sensitivity of plant pathogens versus the essential oil was determined by changes in reproductive structures by morphometric analysis. **Results:** The major component of essential oil was thymol 60,7%. Phytopathogenic *P. infestans* and *A. solani* showed high sensitivity to the extract, which was established the relationship 300 $\mu\text{l.ml}^{-1}$ cause's inhibition in mycelial growth of pathogens. The morphometric

¹ Investigador grupo Tecnologías Emergentes en Agroindustria. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.

² Director grupo de investigación Tecnologías Emergentes en Agroindustria. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.

³ Profesor. Universidad Mariana. Pasto, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: dacalvarezsa@unal.edu.co

analysis showed differences in reproductive structures that underwent to essential oil, presenting a smaller size compared to the control. **Conclusions:** There is a high potential for the use of *L. origanoides* essential oil as a biorational product against phytopathogenic *P. infestans* and *A. Solani* in potato crops.

Keywords: *Solanum tuberosum*, pesticides, essential oil, *Lippia* sp., biocide.

INTRODUCCIÓN

Gran parte de los cultivos de papa en Colombia se basan en un sistema de manejo tradicional en el que prevalece el uso intensivo de insumos dirigidos asegurar el rendimiento sin considerar la calidad del producto final, llegando a detectarse residuos de plaguicidas en tubérculos frescos como en aquellos sometidos a lavado, cocción y fritura, convirtiéndose en potencialmente peligrosos para los consumidores (1).

En este contexto, el productor no cuenta con suficientes alternativas para el manejo de problemas fitosanitarios especialmente los causados por microorganismos, usando como única medida de control la aplicación de plaguicidas sintéticos. Actualmente el cultivo de papa posee la mayor demanda de pesticidas en el país y representa en promedio 14% de los costos totales de producción (2).

Si bien las enfermedades en el cultivo están relacionadas con las condiciones climáticas, la virulencia de los patógenos y las prácticas agronómicas, se destacan la enfermedad del “tizón tardío” causada por el Oomicete *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary y el “tizón temprano” causada por el hongo *Alternaria solani* (Cooke) Wint. como los problemas foliares de mayor importancia (2, 3).

La búsqueda de alternativas para el manejo de problemas fitosanitarios debe entenderse como una necesidad vigente para la agricultura; sobresaliendo la evaluación y uso de aceites esenciales (A.E.), los cuales tienen un gran potencial biocida frente a microorganismos, integrándose además, al concepto de productos biorracionales para la protección de cultivos (4).

Al respecto diferentes investigaciones han valorado la riqueza fitoquímica del aceite esencial obtenido de la especie *Lippia origanoides*, un arbusto de la familia Verbenaceae conocido como “oregano silvestre” el cual ofrece alto rendimiento de extracción y la presencia de los compuestos timol, car-

vacrol y ρ -cimeno reportados por sus propiedades fungicidas (5, 6).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la actividad biocida del aceite esencial de *L. origanoides* sobre los fitopatógenos de papa *P. infestans* y *A. solani* a nivel *in vitro*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fitopatógenos

El tejido vegetal con presencia de los patógenos fue obtenido de cultivos comerciales de papa. Las muestras se llevaron al laboratorio de Sanidad Vegetal de la Universidad de Nariño en donde se aisló *P. infestans* en medio nutritivo agar tomate y *A. solani* en medio nutritivo PDA (Papa Dextrosa Agar), mediante replicación continua se obtuvieron crecimientos puros (3).

Obtención de aceite esencial de *L. origanoides*

Se colectaron hojas de oregano silvestre en la zona del Alto Patía, municipio de Taminango, Nariño (1°41'25,2''N y -77°19'25,5' O). El material vegetal obtenido se llevó a una humedad promedio de 5%.

El aceite esencial se extrajo mediante la técnica de arrastre con vapor, utilizando vapor saturado a presión atmosférica de 3,7 psig, densidad del lecho de 80,0 g/L, empleando un tiempo de extracción de 2 horas (5); se identificó la muestra como TEA-001.

Perfil cromatográfico del aceite esencial

El aceite esencial se analizó mediante cromatografía de gas acoplada a espectrometría de masas, utilizando un equipo Shimadzu QP-20105 GC-MS, siguiendo la metodología con modificaciones de Barbosa *et al.* (8).

Actividad biocida del aceite esencial

El potencial biocida del aceite esencial se determinó mediante la respuesta de sensibilidad de los fitopatógenos usando la técnica de dilución (3). Para esto, medio nutritivo fue enmendado con una solución de aceite esencial y Tween 20 relación 1:1 (v/v) bajo una concentración final de: 0, 100, 150, 200, 250, 300, 400 y 500 $\mu\text{L}\cdot\text{mL}^{-1}$; una vez solidificado el agar se dispuso un disco de micelio con el fitopatógeno a evaluar por cada plato de Petri.

Se utilizó un diseño completamente al azar con quince repeticiones por tratamiento, el ensayo se de-

sarrolló por duplicado en el tiempo. El crecimiento micelial se midió mediante el programa ImageJ® (9) a las 192 horas $\pm 20^{\circ}\text{C}$.

Variables evaluadas

Porcentaje de inhibición. Se calculó esta variable a través de la relación: $PH = [(DCC - DCT)/DCC] \times 100$; donde: DCC = diámetro del crecimiento control y DCT = diámetro del tratamiento. Los valores se analizaron aplicando análisis de varianza y prueba de comparación de Tukey ($\alpha=0,05$).

Análisis morfométrico de los fitopatógenos. Una muestra de *P. infestans* y *A. solani* que se desarrolló en la concentración $100 \mu\text{L.mL}^{-1}$ de aceite esencial se dispuso en placas de observación de vidrio; con ayuda de un microscopio óptico (40X) se tomaron fotografías digitales determinando cambios en esporangios y conidias mediante comparación morfométrica en el contorno, diámetro y longitud de las estructuras usando el software ImageJ® (9).

Mediante series de Fourier elípticas se recreó el contorno de la estructura analizada (Outlines) el ajuste de los puntos se tomó de diez mediciones. Los coeficientes del análisis elíptico de Fourier producto de las armónicas realizadas sobre la elipse inicial se consignaron en una matriz de evaluación para finalmente comparar mediante análisis multivariado, los valores obtenidos con los valores de una estructura control (sin presión del aceite esencial). Se usó el análisis canónico discriminante

para la variable contorno de la estructura y análisis de varianza con prueba de Tukey ($\alpha=0,05$) para el análisis del diámetro y la longitud de estructura.

RESULTADOS

Perfil cromatográfico del aceite esencial

Bajo las condiciones de extracción utilizadas en este estudio se obtuvo aceite esencial con un rendimiento promedio de $2,7 \% \pm 0,05$ del peso del material vegetal. El análisis de GC/MS identificó diez compuestos los cuales representan el 93,7% del área relativa del extracto; el compuesto principal fue timol con 60,7 %, seguido de los compuestos ρ -cimeno 8,8 %, γ -terpineno 6,3 % y mirceno 5,7 %.

Actividad biocida del aceite esencial

En la tabla 1 se presentan los resultados de porcentaje de inhibición micelial de *P. infestans* y *A. solani* por efecto del aceite esencial, en esta se puede observar una relación directa entre el incremento de la concentración del aceite esencial enmendando el medio nutritivo y el porcentaje de inhibición de los microorganismos. De esta manera se encontró que los fitopatógenos evaluados presentaron alta sensibilidad, para los dos fitopatógenos la concentración que impide el crecimiento a nivel *in vitro* fue $300 \mu\text{L.ml}^{-1}$ reportándose como la concentración letal.

Tabla 1. Efecto del aceite esencial sobre el porcentaje de inhibición micelial de *P. infestans* y *A. solani**.

Concentración A.E. ($\mu\text{L.ml}^{-1}$)	Porcentaje de inhibición micelial (%)			
	<i>P. infestans</i>		<i>A. solani</i>	
100	29,6	a	49,50	a
150	62,4	b	55,21	a
200	64,1	bc	63,15	b
250	79,0	c	72,48	c
300	100	d	100	d
400	100	d	100	d
500	100	d	100	d

*Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey 5%).

En la tabla 2, se resumen los resultados del análisis morfométrico de las estructuras reproductivas indicando diferencias estadísticas para la variable longitud, presentándose un menor tamaño cuando

los fitopatógenos se desarrollaron en presencia del aceite esencial. La variable diámetro de estructura solamente mostró diferencias para *P. infestans* en el cual existe una reducción promedio de $0,9 \mu\text{m}$

entre un esporangio que se desarrolló en medio enmendado y el control. Para el caso de *A. solani* el aceite esencial no afectó el diámetro de conidia.

El análisis de contorno confirmó los resultados obtenidos en las variables anteriores, expresando un coeficiente de Wilks' lambda de 0,30 y 0,18 para *P.*

infestans y *A. solani* respectivamente, indicando diferencias entre los dos tratamientos evaluados (A.E. 100 $\mu\text{L.mL}^{-1}$ y control), concluyendo que el aceite esencial afecta directamente la forma y tamaño del órgano responsable de propagación del microorganismo como se observa en la figura 1.

Tabla 2. Evaluación morfométrica de estructuras reproductivas de *P. infestans* y *A. solani* sometidas a A.E. de *L. origanoides**.

Tratamiento	<i>Phytophthora infestans</i>				<i>Alternaria solani</i>			
	Diámetro (μm)	Longitud (μm)	Wilks' lambda	P(valor)	Diámetro (μm)	Longitud (μm)	Wilks' lambda	P(valor)
A.E. (100 $\mu\text{L.mL}^{-1}$)	6,47 a	11,67 a	0,30	0,0031	4,97 a	11,98 a	0,18	0,0148
Control	7,36 b	13,90 b			5,09 a	14,61 b		

*Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey 5%).

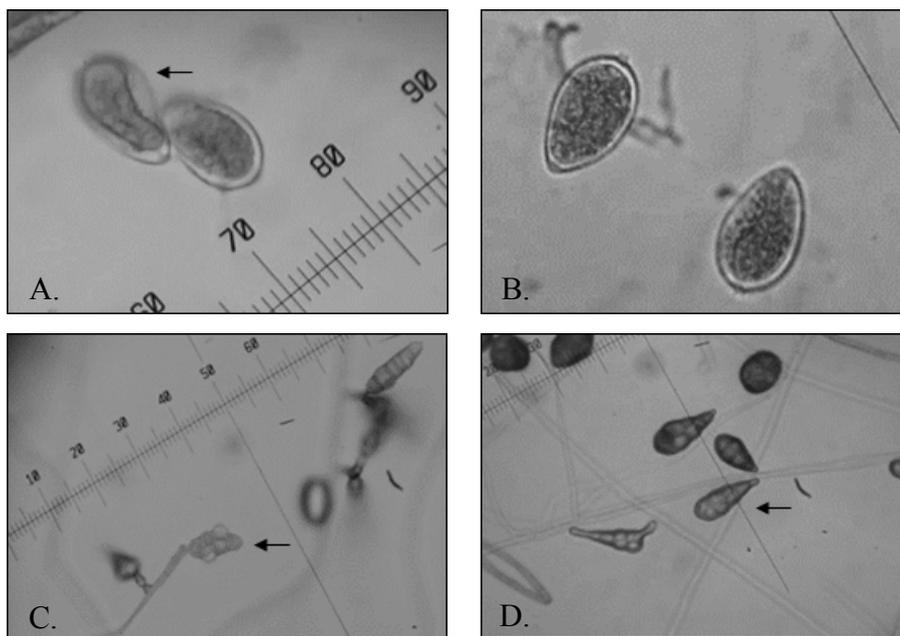


Figura 1. Efecto del A.E. sobre esporangios de *P. infestans* y conidias de *A. solani**.

* A= Esporangios de *P. infestans* con deformación a causa de A.E. de *L. origanoides*; B= Esporangios de *P. infestans* normales; C= Conidia de *A. solani* con deformación a causa de A.E. de *L. origanoides*; D= Conidias de *A. solani* normales y conidias germinadas.

DISCUSIÓN

El fenilpropano timol ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$), se destaca en esta investigación como el compuesto principal del aceite esencial TEA-001; la alta proporción relativa 60,7% clasifica a esta fracción como *Quimiotipo C.* ó *Quimiotipo timol* (6). El estudio bibliográfico indicó que en promedio este compuesto se encuentra en una proporción del 54% en el aceite esencial de *L.*

origanoides, este valor se obtuvo al promediar once reportes de literatura, esto hace que se destaque agroindustrialmente el material vegetal usado en este estudio por el alto contenido de este compuesto mayoritario al cual se le atribuye la actividad biocida del aceite esencial (5, 8, 10).

Cabe destacar que a nivel *in vitro* el timol presentó la mayor eficiencia de inhibición microbiana, al compararse con los compuestos: citral, eugenol,

metil cinnamate, linalol, α -pineno, o-cimeno, 1,8-cineol, γ -terpineno, α -fenaldreno y canfeno, los cuales se reportan como mayoritarios en diferentes aceites esenciales (7), respaldando la utilización de la especie *L. origanoides* como materia prima para el desarrollo de productos biorracionales para el control de enfermedades agrícolas.

Referente a los resultados de sensibilidad de los fitopatógenos *P. infestans* y *A. solani* estudiados en esta investigación, Gasparin *et al.* (10) demostraron que el extracto crudo de la especie *Lippia alba* inhibe el crecimiento de *Phytophthora* sp. y *Alternaria alternata*; si bien no es posible comparar los resultados de las dos investigaciones, es posible ratifican la propiedad biocida del género *Lippia* sobre los blancos biológicos evaluados.

Finalmente una de las preguntas planteadas en este estudio, se centraba en determinar si el aceite esencial de *L. origanoides* afectaba los esporangios y conidias de los fitopatógenos evaluados, ya que estas estructuras son las responsables de la dispersión en campo, por tanto su afección podría reducir el grado de severidad de la enfermedad en el cultivo de papa; el análisis microscópico de la morfología de *P. infestans* y *A. solani* determinó que existen diferencias estadísticas relacionadas a modificaciones en las estructuras reproductivas y en el cuerpo de los microorganismos a causa del contacto con el aceite esencial. En la figura 1 A. y C. se pueden observar malformaciones y aspecto flácido en comparación al control.

Se han encontrado reportes que indican que los aceites esenciales con altos contenidos de timol causan alteraciones en la morfología de las hifas y estructuras reproductivas de varios hongos, generando una disminución en los diámetros así como lisis de las mismas; estas estructuras afectadas pierden su capacidad de germinación y crecimiento (11). Lo anterior se explica por el mecanismo de acción de los aceites esenciales contra hongos y oomycetos el cual está relacionado por su capacidad general para disolver o perturbar la integridad de las paredes celulares y membranas (4).

CONCLUSIONES

El aceite esencial de *Lippia origanoides* descrito como TEA-001 en esta investigación, presentó alta actividad biocida sobre los fitopatógenos *P. infestans* y *A. solani*; la concentración de 300 $\mu\text{l}.\text{ml}^{-1}$ inhibió el crecimiento a nivel *in vitro* y se propone como parámetro inicial para nuevas investigaciones a nivel de campo. En este estudio se pudo evidenciar el efecto del aceite esencial sobre las estructuras reproductivas de los dos fitopatógenos aislados de papa.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Pertuz S, León T. Aspectos ambientales de la cadena productiva de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la zona sur de la localidad Ciudad Bolívar de Bogotá D.C., relacionados con la contaminación química del tubérculo con plaguicidas organofosforados y carbamatos. León N. editor. Desarrollo y ambiente: contribuciones teóricas y metodológicas. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 2013; 420 p.
- Instituto Colombiano Agropecuario. Manejo fitosanitario del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* subsp. *Andigena* y *S. phureja*): Medidas para la temporada invernal. Bogotá, Colombia: ICA. 2011; 35 p.
- Álvarez D, Salazar C, Hurtado A, Delgado D, Arango O. Sensibilidad *in vitro* de *Phytophthora infestans* al extracto de fique (*Furcraea gigantea* Vent.) y fungicidas sistémicos. Rev.Bio.Agro. 2011; 9(2): 96-104.
- Isman M, Machial C. Pesticides based on plant essential oils: from traditional practice to commercialization. Rai M, Carpinella M. editors. Naturally Occurring Bioactive Compounds. Elsevier, BV. 2006; 29-44 p.
- Arango O, Bolaños F, Villota O, Hurtado A, Toro I. Optimización del rendimiento y contenido de timol de aceite esencial de orégano silvestre obtenido por arrastre con vapor. Rev.Bio.Agro. 2012; 10(2): 217-226.
- Ruiz C, Tunarosa F, Martínez J, Stashenko E. Estudio comparativo por GC-MS de metabolitos secundarios volátiles de dos quimiotipos de *Lippia origanoides* H.B.K., obtenidos por diferentes técnicas de extracción. Sci. Et Tec. 2007; 033 (1): 325 – 328.
- Camel I, Altieri L, De Martino L, De Feo V, Mancini E, Luigi G. In vitro control of post-harvest fruit rot fungi by some plant essential oil components. Int. J. Mol. Sci. 2012; 13(1): 2290-2300.
- Barbosa F, Barbosa L, Melo E, Botelho F, Santos R. Influência da temperatura do ar de secagem sobre o teor e a composição química do óleo essencial de *Lippia alba* (Mill). Quím. Nova. 2006; 15(1): 1-5.
- Rohlf F. TpsDig: Digitize landmarks and outlines, version 2.05. E.E.U.U.: Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook. 2005.
- Gasparin M, Moraes L, Schwan-Estrada K, Stangarlin J, Cruz M. Effect of crude extract of *Lippia alba* and *Rosmarinus officinalis* on phytopathogenic fungi. Anu.CCA. 2000; 1: 33-44.
- Rasooli I, Rezaei M, Allameh A. Growth inhibition and morphological alterations of *Aspergillus niger* by essential oils from *Thymus eriocalyx* and *Thymus xporlock*. Food Control. 2006; 17: 359-364.

EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE CHIPS DE 12 VARIEDADES DE MUSÁCEAS GENOTIPO AAB SOMETIDAS A FRITURA POR INMERSIÓN

EVALUATION OF QUALITY PARAMETERS OF CHIPS 12 VARIETIES OF BANANAS AAB GENOTYPE UNDER DEEP FRYING

Magda Ivonne PINZÓN F.^{1*}, Jairo MONTOYA L.², Juan Carlos LUCAS A.³

RESUMEN

Antecedentes: En el procesamiento de Musáceas a través de la fritura por inmersión, las investigaciones se han enfocado a la calidad de los chips y se han basado en el efecto de diferentes variables del proceso como tiempo, temperatura, agitación, presión, espesor de la rebanada, tipo de aceite y se ha evaluado los efectos de estos parámetros sobre las variables de respuesta como contenido de aceite, humedad, color y textura. **Objetivos:** Determinar y evaluar la calidad de chips de Musáceas sometidos a la fritura por inmersión a presión atmosférica como una alternativa de procesamiento y desarrollo para estas variedades. **Métodos:** Se seleccionaron 12 variedades de musáceas del genotipo AAB de la Colección Colombiana de Musáceas, las cuales se sometieron a fritura por inmersión a presión atmosférica, evaluando el comportamiento en las variables de respuesta (% Humedad, % Grasa, textura y color) en los chips. **Resultados:** Se pudo determinar que las variedades Dominico Caoba, Dominico Hartón Enano y Hartón Enano presentaron el mejor comportamiento frente a las variables de respuesta. **Conclusiones:** Las materias primas con un bajo contenido de humedad, alto porcentaje de materia seca y con dedos grandes podrían ser utilizados en los procesos de fritura industrial.

Palabras clave: Fritura, variable de respuesta, plátano, humedad, grasa.

ABSTRACT

Background: In the processing of bananas through frying by immersion, investigations have

focused on the quality of the chips and have been based on the effect of different variables of the process as time, temperature, shaking, pressure, thickness of the slice, oil type and has assessed the effects of these parameters on the response variables as oil content, humidity, color and texture. **Objectives:** To determine and evaluate the quality of bananas chips subjected to frying by immersion at atmospheric pressure as an alternative of processing and development for these varieties. **Methods:** 12 were selected varieties of bananas of the genotype AAB OF THE COLOMBIAN COLLECTION OF BANANAS, which were submitted to frying by immersion at atmospheric pressure, evaluating the behavior in the response variables (% humidity, % fat, texture and color) in the chips. **Results:** We could determine that the varieties Dominican Mahogany, Dominico Harton Dwarf and Harton Dwarf presented the best behavior compared to the response variables. **Conclusions:** Raw materials with a low moisture content, high percentage of dry matter and with big fingers could be used in the processes of industrial frying.

Keywords: Frying, the response variable, banana, moisture, grease.

INTRODUCCIÓN

La fritura profunda es un proceso de cocción que involucra la transferencia simultánea de calor y masa. La calidad del producto freído se ve afectado por una combinación de diversos factores, las propiedades termofísicas del producto y el aceite, la geometría del producto, la temperatura del aceite, y las condiciones que conducen a la degradación

¹ PhD. En Ciencia y Tecnología de Alimentos. Programa de Ingeniería de Alimentos. Universidad del Quindío. Armenia. Colombia.

² Magister en Química. Programa de Química. Universidad del Quindío. Armenia. Colombia.

³ Magister en Ingeniería de Alimentos. Programa de Ingeniería de Alimentos. Universidad del Quindío. Armenia. Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: mipinzon@uniquindio.edu.co.

del aceite durante el proceso (1). Durante la fritura el color de los productos se ve afectado por las condiciones del proceso, en especial por el tiempo, la temperatura y el tipo de aceite, así como por las características del producto, tamaño y variedad; La escala más ampliamente usada en la determinación del color de chips es la CIELAB, ya que esta permite determinar los cambios de color en la misma forma que lo hace el ojo humano (2). En esta escala de color se miden los valores L^*a^*b para expresar la diferencia de color entre muestras (3). Igualmente la fritura modifica las características de textura de los productos, es así como el punto de quiebre (fuerza de dureza) de los productos se usa para medir la crujencia de un producto frito. La textura depende de la estructura del alimento, relacionándose con

la deformación, desintegración y flujo del alimento sometido a una fuerza, y son medidos en función de la masa, el tiempo y la distancia (3).

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se evaluó el comportamiento de 12 tipos de material genético de musáceas AAB (Tabla 1) en el proceso de fritura por inmersión a presión atmosférica, de la Colección Colombiana de Musáceas ubicada en la Hacienda Las Vegas denominada Centro para la Excelencia del Plátano y Musáceas Afines, municipio de Chinchiná Caldas (1360 m.s.n.m., 4° 58' N y 75° 20' O), Colombia, ccccon el propósito de poder conocer su comportamiento sobre cuatro variables de respuesta (% Humedad, % Grasa, textura y color).

Tabla 1. Clasificación taxonómica del material trabajado.

Variedad	Genotipo	Clasificación genética	Sub-grupo	Tipo
Mysore	AAB	Triploide	Mysore	Banano de postre
Pratta 1	AAB	Triploide	Silk	Platano de postre
Bennedetta	AAB	Triploide	Saba	Indefinido
Dominico blanco	AAB	Triploide	Plantain - Dominico	Platano coccion
French sombre	AAB	Triploide	Plantain	Platano coccion
Cubano negro	AAB	Triploide	Plantain – clase cuerno	Platano coccion/ fritura
Dominico caoba	AAB	Triploide	Plantain	Alimentacion animal
Pratta PA 0322	AAB	Triploide	Silk	Platano postre
Dominico harton enano	AAB	Triploide	Plantain	Coccion/ fritura
Harton enano	AAB	Triploide	Plantain	Coccion / fritura
Guayabo	AAB	triploide	Red	Banana postre
Guayabo	AAB	Triploide	Mahia-maoli	Fritura, Asado, dulces
Africa 1	AAB	Triploide	Mbouroukou	Fritura y platano de coccion

Para la selección de los racimos se tuvo en cuenta la procedencia del cultivo, los cultivos y plantas que estén en plena cosecha, las variedades y el estado fitosanitario del cultivo o planta, una vez identificados los racimos de musáceas (Tabla 1), se cosecharon, transportaron a la planta piloto de procesamiento de alimentos de la Universidad del Quindío y se almacenaron a 13°C y 90% HR; las variedades seleccionadas para la fritura, se limpiaron, pelaron manualmente con un cuchillo y luego empleando una cortadora mecánica marca OMEGA F250E se obtuvieron rebanadas con forma y espesor uniforme de 2,5 mm de diámetro.

El aceite de trabajo fue aceite de palma marca Oleo pacifico, cuyo tiempo de trabajo fue máximo

de 10 horas a una presión atmosférica; la relación másica aceite / producto utilizada fue de 1/60, la temperatura de trabajo fue de 180°C durante 2,5 minutos en una freidora con capacidad máxima de 2,5 litros de aceite marca (Trisa) modelo (XJ-3K043), con un sistema de captura de datos: datalogger thermometer marca (Omega) referencia (HH 309/309A) con cuatro termocuplas tipo k, conectadas a un sistema de adquisición de datos y este a su vez a un computador el cual posee un software (SE 309) diseñado para llevar el control y registro de las temperaturas de proceso; los chips una vez fritos se colocaron en papel absorbente para ayudar a eliminar el exceso de aceite.

La determinación del contenido de humedad y/o materia seca se realizó siguiendo el método oficial AOAC 925.10, AOAC, 2000 (4), la longitud se realizó con una cinta métrica (precisión $\pm 0,1\text{mm}$), a cada uno de los dedos de plátano sin cáscara y se realizó a la sección transversal externa debido a la curvatura que presenta el plátano, calculando el diámetro intermedio por el método de perímetro de un círculo con cinta métrica.

Para la determinación del contenido de humedad del producto final se siguió el método descrito en la caracterización de la materia prima, la determinación del contenido de extracto etéreo se utilizó el método oficial 30-25, AACC, 2000, en un determinador de grasas marca J. P. Selecta de 6 plazas 400842; la textura se realizó en un analizador de textura TA.XT plus texture analyser, con un soporte móvil de apoyo en dos puntos y un punzón cilíndrico con base plana con un diámetro de 3 mm (pinza volodkevich) en newton; para la medición del color se utilizó el sistema CIELAB en el cual se miden los valores L^*a^*b para expresar la diferencia

de color entre muestras, utilizando para ello un espectrocolorímetro HUNTER Lab Colorquest XE. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar y se aplicaron pruebas de Tukey y comparación de medias (t-Student, ANOVA) para determinar las diferencias entre las variables de respuesta (Humedad (%), grasa (%), textura y colorimetría (ΔE)).

RESULTADOS

Teniendo en cuenta los criterios de selección usados por la industria de fritura que son longitud pulpa (mínimo 14 cm) y diámetro medio de la pulpa de los dedos de plátano pelados (mínimo 3.5 cm) encontrándose que en promedio, de las 12 variedades analizadas solo la variedad Bennedetta no cumple con los anteriores requerimientos exigidos por la industria ni el Pratta 1 en cuanto a diámetro ecuatorial, resaltando que el resto de variedades cumplen, y en especial, la variedades Hartón enano y África 1 que tienen longitudes mayores a 27 cm. y diámetros superiores 4.1 cm, Tabla 2, (5).

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica de las variedades estudiadas.

Variedad	Longitud pulpa (cm)	Diámetro pulpa (cm)	% Humedad Pulpa	% Materia Seca
Mysore	24,22 \pm 1,76	3,54 \pm 0,10	69.78 \pm 1.79	30,22 \pm 1,79
Pratta 1	15,02 \pm 1,23	2,81 \pm 0,95	65.45 \pm 0.69	34,55 \pm 0,69
Bennedetta	10,52 \pm 1,68	2,73 \pm 0,23	60.96 \pm 5.21	39,04 \pm 5,21
Dominico blanco	22,29 \pm 0,95	3,44 \pm 0,21	64.44 \pm 0.92	35,56 \pm 0,92
French sombre	22,5 \pm 1,06	3,23 \pm 0,09	56.73 \pm 0.79	43,27 \pm 0,79
Cubano negro	18,65 \pm 1,91	3,23 \pm 0,11	54.85 \pm 1.38	45,15 \pm 1,38
Dominico caoba	18,63 \pm 2,25	3,34 \pm 0,17	54.69 \pm 2.63	45,31 \pm 2,63
Pratta PA 0322	13,86 \pm 1,43	3,42 \pm 0,20	71.44 \pm 1.06	28,56 \pm 1,06
Dominico hartón enano	22,95 \pm 1,88	3,59 \pm 0,17	59.65 \pm 1.03	40,35 \pm 1,03
Hartón enano	27,38 \pm 2,43	4,10 \pm 0,22	56.83 \pm 1.22	43,17 \pm 1,22
Guayabo	19,85 \pm 0,35	3,70 \pm 0,09	67.43 \pm 1.30	32,57 \pm 1,30
África 1	26,77 \pm 2,54	4,33 \pm 0,44	63.40 \pm 1.46	36,60 \pm 1,46

Caracterización de los chips

Al comparar las diferentes variedades estudiadas se encontró que tienen en promedio un contenido de humedad de los chips fritos de 3.19%.

Contenido de grasa producto frito

En la tabla 3, se reportan los datos para cada una de las variedades, destacando que la industria prefiere materias primas que absorban poca grasa durante el proceso de fritura.

Evaluación de la textura de los chips freídos

En la industria de los chips la medida de textura debe tener valores altos ya que esto repercute en la crocancia. Los chips analizados en las 12 variedades no tuvieron diferencias estadísticamente significativas (1.66-4.61%); dichas variedades estudiadas en el presente trabajo presentaron un valor de textura promedio de 4.6 N (ver tabla 3).

Tabla 3. Parámetros de calidad del material sometido a fritura.

Variedad	Chips fritos			
	% Humedad	% Grasa	Textura (N)	ΔE
Mysore	3.87±0.04	17.33±1.40	3.89±0.78	13.73±0.01
Pratta 1	3.38±0.55	28.02±0.26	3.02±0.43	19.57±0.01
Benedetta	2.98±0.06	37.37±0.20	2.77±0.47	11.96±0.01
Dominico blanco	3.09±0.03	32.65±0.19	3.11±0.72	11.33±0.01
French sombre	3.02±0.11	28.46±1.51	4.08±0.78	14.47±0.01
Cubano negro	3.1±0.08	27.71±0.15	3.37±0.25	15.06±0.01
Dominico caoba	2.17±0.07	14.03±3.47	4.16±0.88	1.39±0.01
Pratta PA 0322	5.46±0.32	28.69±0.40	5.11±0.58	7.72±0.02
Dominico hartón enano	3.29±0.12	23.12±0.94	5.58±0.75	5.95±0.01
Hartón enano	3.28±0.23	21.93±0.98	6.77±1.25	9.91±0.01
Guayabo	3.64±0.03	39.55±0.05	3.59±0.32	7.13±0.29
África 1	1.03±0.08	20,51±1.41	4.45±0.94	15.47±0.01

Evaluación del color en los chips freídos

Durante la fritura el color de los productos se ve afectado por las condiciones del proceso, en especial por el tiempo, la temperatura y el tipo de aceite, así como por las características del producto, tamaño y variedad. (6).

En la tabla 3, se observa el comportamiento en cuanto al cambio de color de cada una de las variedades resaltándose la variedad Dominico Caoba, fue el que tuvo menor cambio de color general con respecto al plátano testigo, con un ΔE de 1.39.

DISCUSIÓN

La industria de los productos fritos siempre busca materiales con menor cantidad de agua para evitar la penetración de aceite en el producto (7); para lo cual tiene establecido un rango de humedad entre el 61 al 57%, destacándose las variedades French sombre, Cubano negro, Dominico caoba, Dominico hartón enano y Hartón enano con valores entre 54 al 58%, mientras las variedades restantes presentaron valores por encima de los requerimientos de la industria con el 60 al 72%; comparando estos datos con los reportados por Dufour *et al.*, 2008 (8) y Lucas *et al.*, 2012 (5), se presenta similitud entre los datos arrojados (ver tabla 2).

El contenido de humedad final de un producto frito es un importante indicador de calidad, ya que de este dependen otros factores como textura, color y contenido de grasa y al mismo tiempo puede afectar la vida útil del producto, de acuerdo con lo anterior la industria requiere contenidos de humedad entre el 0.5 al 1.1% (5), encontrándose que solo la variedad África 1 con un valor de 1.03%, cumple con este requerimiento (Ver tabla 3).

Varios estudios han mostrado que la mayor parte del aceite absorbido en los productos fritos se ubica en la región superficial del producto (2), y existe evidencia de que el aceite es absorbido en mayor proporción luego de la fritura, durante el período de enfriamiento (9). La industria maneja un rango entre el 22 – 28% de grasa; destacándose las variedades Mysore, Dominico caoba, Hartón Enano y guayabo que presentan valores por debajo a este rango, las variedades Pratta 1, French Sombre, Cubano Negro y Dominico Hartón Enano se encuentran dentro de dicho rango a comparación del resto de variedades que se encuentran por encima, coincidiendo esto, con lo reportado por Lemaire *et al.*, 1997 (8), quienes plantearon que a mayores contenidos de agua en el producto crudo, mayor será la cantidad de aceite absorbida durante el proceso de fritura, lo que coincide perfectamente con esta variedad.

La variedad tradicionalmente utilizada en la industria de los chips es el Dominico – hartón el

cual se utilizó como patrón para calcular el ΔE , que indica que tanto varía el color de los chips fritos de las demás variedades con respecto a este. Es así como se utilizó un producto comercial frito (Dominico – hartón), donde los valores de L^*a^*b fueron: 64.55, 7.41, 31.36, respectivamente, que sirvieron como referencia para la comparación.

CONCLUSIONES

Las materias primas que posean un bajo contenido de humedad, alto porcentaje de materia seca y altos valores de longitud y diámetro pueden ser utilizadas en los procesos de fritura industrial. Los productos fritos con buenos criterios de aceptación deben de poseer contenidos de humedad y grasa final bajos. Mencionado lo anterior las variedades Dominico Caoba, Dominico Hartón Enano y Hartón Enano servirían como alternativas de materia prima para la industria actual. Se requiere elaborar un estudio complementario en donde se involucren otras características tales como °Brix, pretratamientos, diferentes estados de madurez entre otras a dichas variedades.

REFERENCIAS

1. Gómez-Daza J. Evaluación de las propiedades físicas de la masa de las donas durante la fritura profunda a diferentes temperaturas – Análisis crítico. .Revista UGCiencia. 2014; 20: 87-95.
2. Pedreschi F, Aguilera J, M. and Brown C. A. Characterization of food surfaces using scale-sensitive fractal analysis. En: Journal of Food Process Engineering. 2007 23(2): 127-134.
3. Moreira R, Castell-Perez M, Barrufet M. Deep-fat frying. Fundamentals and Applications. An Aspen publisher, Inc. Gaithersburg, Maryland. 1999; 1-75.
4. Lucas J, Quintero V, Vasco J, Mosquera J. Evaluación de los parámetros de calidad de chips en relación con diferentes variedades de plátano (*Musa paradisiaca* L.). Revista Lasallista de Investigación. 2012; 9(2): 65-74.
5. AOAC. Official Methods of Analysis. Determinación de humedad AOAC 925.10 y Determinación de grasa AACC 30-25. 18th Edition. 2005.
6. Bravo J, Ruales J, Sanjuan N, y Clemente J. Innovaciones en el proceso de fritura. La fritura al vacío. Alimentación Equipos y Tecnología 2006; 25(209): 87-94
7. Lemaire H, Reynes M, Ngalani JA, Guillaumont A. The suitability of plantain and cooking bananas for frying. Fruits. 1997; 52(4): 273-282.
8. Dufour D, Giraldo A; Giber, O; Sánchez T, Reynes M, González, A, Fernández A, Díaz A. Propiedades físico-químicas y funcionales de los bananos de postres, plátanos de cocción y FHIA híbridos: preferencia varietal de los consumidores en Colombia. In Memories of XVIII ACORBAT meeting, November 10 – 14. Borja J. S., Nogales C, Orrantia C, Paladines R, Quimi V, Tazan L, Eds., Guayaquil: Ecuador. 2008: 33.
9. Castellanos G, Ochoa M, Vélez P. Metodología de superficie de respuesta en la fritura por inmersión de rodajas de plátano. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 2014; 67(2) Supl. II: 126-128.

EVALUACIÓN DE LA TEXTURA DE UNA EMULSIÓN CÁRNICA EMPLEANDO MEZCLAS DE HARINA DE ARROZ (*Oryza sativa*) PARTIDO Y ALMIDÓN COMERCIAL

EVALUATION OF THE TEXTURE OF A MEAT EMULSION USING MIXTURES RICE FLOUR (ORYZA SATIVA) PARTY AND COMMERCIAL STARCH

Pedro ROMERO Msc.¹*Armando ALVIS Ph.D.^{1*}, Carlos GARCIA Msc.²

RESUMEN

Antecedentes: El arroz paddy verde (arroz con cascavilla) es la materia prima de la cadena arrocería en el país; el producto principal es el arroz blanco y el arroz partido como subproducto. En la industria alimentaria la harina de arroz partido no ha sido aprovechada como aglutinante en emulsiones cárnicas a pesar de tener un alto contenido de almidón, al igual que la yuca, quien actúa como aglutinante en emulsiones cárnicas ayudando a la capacidad de retención de agua y cohesión de las partículas. **Objetivo:** El objetivo de este trabajo fue el de evaluar el efecto de la sustitución total y parcial del almidón de yuca por harina de arroz partido sobre las propiedades texturales en una emulsión cárnica tipo salchicha. **Métodos:** Experimental, mediante la comparación de medias por análisis de varianza (ANOVA) de los resultados del análisis de Perfil de textura (dureza, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad) de los diferentes tratamientos (mezclas de almidón de yuca-harina de arroz, en las siguientes proporciones: C100, T1 80-20, T2 60-40 y T3 100), para tal fin se utilizó un texturómetro TXT plus. **Resultados:** ninguno de los parámetros analizados (dureza, gomosidad, cohesividad, elasticidad y masticabilidad), presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos y el control, ni entre los tratamientos, sin embargo, se observa un leve incremento en dureza, la gomosidad y la cohesividad del tratamiento T2 frente a los demás. **Conclusiones:** desde el punto de vista de factibilidad tecnológica en cuanto a propiedades texturales es posible emplear harina de arroz partido mezclado con almidón de yuca como aglutinante en la industria cárnica.

Palabras clave: Emulsión cárnica, paddy, TPA.

ABSTRACT

Background: Green paddy rice (rice husk) is the raw material of the rice chain in the country; the main product is white rice and broken rice as a byproduct. In the food industry broken rice flour has not been exploited as a binder in meat emulsions despite having a high starch content, as cassava, which acts as a binder in meat emulsions helping the water holding capacity and particle cohesion. **Objective:** The purpose of this study was to evaluate the effect of total and partial substitution of cassava starch flour broken rice on the textural properties in a sausage-meat emulsion. **Methods:** Experimental, by comparing averages for analysis variance (ANOVA) of the results of the texture profile analysis (hardness, cohesiveness, springiness, gumminess and chewiness) of the different treatments (mixtures cassava starch-rice flour, in the following proportions: C100, T1 80-20, T2 and T3 60-40 100), for this purpose, a TXT plus texture analyzer was used. **Results:** None of the analyzed parameters (hardness, gumminess, cohesiveness, elasticity and chewiness) showed significant differences ($p > 0.05$) between treatments and control, or between treatments, however, a slight increase was observed in hardness, gumminess and cohesiveness of treatment T2 in front of others. **Conclusions:** from the standpoint of technological feasibility in terms of textural properties is possible to employ broken rice flour mixed with cassava starch as a binder in the meat industry.

Keywords: Meat emulsion, paddy TPA.

¹ Docente Programa Ingeniería de Alimentos. Universidad de Córdoba, Montería, Colombia.

² Docente Programa Ingeniería Agroindustrial. Universidad de Sucre. Sincelejo, Sucre, Colombia

* Autor de correspondencia: perban_54@outlook.es

INTRODUCCIÓN

El arroz es el cereal que más se consume en el mundo, después del trigo constituye uno de los principales alimentos para el 60% de la población mundial, (1). Es la mayor fuente proteica en países como los Asiáticos que más consumen este cereal, según (2) para el segundo semestre de 2015 la producción mundial de arroz se encuentra alrededor de 742,6 millones de toneladas

En Colombia, el arroz es uno de los cultivos de ciclo corto más importante. Se obtiene principalmente arroz blanco y subproductos como arroz partido y salvado, entre otros (3, 4). En el comercio Colombiano el arroz partido, se vende como insumo para la fabricación de pastas alimenticias, sopas y cervezas o concentrados para animales (5)

De acuerdo con (6), el contenido de almidón tanto el grano pulido entero como el partido es alto (90,2 %) constituyéndose en una materia potencial para diferentes usos en la industria de los alimentos La norma técnica Colombiana (7), considera como arroz partido a la fracción de grano de arroz descascarado, menor de 0,75 (3/4) de la longitud total del grano entero; su composición química y valor nutricional es igual a la del arroz entero y la harina que se obtiene por molienda (8) Su empleo en la industria alimentaria dependerá de sus características funcionales como el pH, capacidad de absorción de agua y solubilidad en agua (9); así mismo la calidad de cocción de productos alimenticios, en los que se emplea almidones y/o harinas provenientes de los granos de cereales, depende de sus propiedades funcionales (CRA y de solubilidad en agua), las que dependen del contenido de humedad, del tamaño de sus partículas, de la temperatura y del tiempo de calentamiento. Las propiedades reológicas como el poder de hinchamiento y la solubilidad de las harinas de arroz, se ven afectados por el tipo y método de molienda que se utiliza para elaborarlas (10). Las estructuras de los almidones fundamentales son la amilopectina y la amilosa su relación es fundamental para definir muchas de las propiedades reológicas y termofísicas de un almidón en estudio (11). Por otra parte los aglutinantes son mezclas de almidones que tienen la habilidad de esponjarse al incorporarles agua, también mejoran la cohesión de las partículas de los diferentes ingredientes con los que son mezclados (12). Además afectan la textura, estabilidad, la gelificación y en la retención

de agua de los productos cárnicos y por lo tanto contribuyen con la disminución de los costos de producción (13).

Las pastas cárnicas finas contienen emulsiones aceite en agua, las proteínas cárnicas actúan como emulsificantes, otros ingredientes contribuyen con ciertas propiedades texturales, organolépticas y tecno funcionales, el almidón forma parte de estos ingredientes como aglutinante. Hay una relación entre el emulsificado y el tratamiento térmico, en el primero se forma una matriz proteica, en el segundo se da una coagulación gradual de las proteínas y gelificación del almidón (14 y 15). La calidad textural de las emulsiones cárnicas se evalúa mediante el análisis de perfil de textura TPA, (16). El objetivo del presente trabajo fue el estudiar el efecto de la sustitución total y parcial de almidón de yuca por harina de arroz partido, sobre las propiedades texturales de una emulsión cárnica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las materias primas (almidón, arroz partido y carne de vacuno) fueron adquiridas en almacenes locales del municipio de Cereté (Colombia). La carne se adecuó y se molió, posteriormente se prepararon las diferentes mezclas de emulsión cárnica considerando la (17), para tal fin se empleó un cutter marca FELSINEA, de capacidad 5 l. La formulación que se empleó en esta investigación fue la propuesta por (18) se mantuvieron constantes los porcentajes de todos los ingredientes; lo que se varió fue la mezcla de aglutinantes en las siguientes proporciones: 100% de almidón de yuca (Control). 60 % de harina de arroz partido - 40 % de almidón de yuca (tratamiento T1), 80 % de harina de arroz partido - 20 % de almidón de yuca (T2) y 100 % de harina de arroz partido (T3).

Posteriormente las diferentes mezclas se embutieron en tripa sintética (colágeno calibre 28), en una embutidora marca FELSINEA, se obtuvieron porciones de 10 cm y se escaldaron por inmersión en una marmita (72 °C/30 min), hasta alcanzar la temperatura interna del producto (70 °C.), posteriormente las muestras se enfriaron y se empacaron al vacío, se marcaron y se almacenaron en cava de enfriamiento nevera (4 °C).

A las muestras almacenadas y codificadas por tratamiento se les efectuó un Análisis de perfil de textura TPA, empleando un texturómetro marca TX-T plus, se ajustó la compresión a 30 %, velocidad

de caída de 1mm/s, fuerza de 5 g y distancia de 8 mm, las muestras se cortaron con una longitud de 1,7 cm, y se colocaron horizontalmente para efectuar el procedimiento de la doble compresión, simulando la masticación humana, donde fue obtenida la curva fuerza/tiempo y calculados los siguientes parámetros: cohesividad, dureza, adhesividad, gomosis, masticabilidad y elasticidad.

Los datos obtenidos en esta investigación se procesaron mediante la comparación de medias con un sólo factor (Porcentaje de inclusión de mezclas de harina de arroz partido y almidón de yuca) y una muestra control (100% almidón de yuca)

Los porcentajes de inclusión de las mezclas se evaluaron en tres niveles de sustitución o tratamientos, valorando cada una de estos con 3 réplicas para un total de 12 unidades experimentales. Para el

análisis de datos se empleó un análisis de varianza (ANOVA)

RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos a partir del análisis de Perfil de textura TPA. Como se puede observar no hay diferencias significativas ($p>0,05$) entre el control y los diferentes tratamientos para todos los parámetros del TPA,

De la misma forma no se presentaron diferencias significativas ($p>0,05$) de estos parámetros entre los tratamientos. Por otra parte, se observa que la dureza, la gomosis y la cohesividad son levemente más altas en la mezcla del tratamiento T2, cuya relación de harina de arroz-almidón de yuca es de 80-20,

Tabla 1 Resultados del Análisis de perfil de textura

Parámetros	Control	T1	T2	T3
Dureza (N)	13,682±2,388 ^a	16,742±1,395 ^a	17,828±4,044 ^a	15,866±2,783 ^a
Cohesividad	0,856±0,0005 ^a	0,86±0,001 ^a	0,859±0,014 ^a	0,848±0,004 ^a
Gomosis (N)	11,961±1,98 ^a	14,413±1,193 ^a	15,23±3,212 ^a	13,492±2,237 ^a
Adhesividad (N)	-0,011±0,008 ^a	-0,0014±0,002 ^a	-0,016±0,007 ^a	-0,018±0,005 ^a
Masticabilidad (Kg)	11,4±0,1,913 ^a	13,257±1,288 ^a	14,085±2,781 ^a	12,442±2,042 ^a
Elasticidad	0,921±0,007 ^a	0,926±0,004 ^a	0,924±0,003 ^a	0,922±0,011 ^a

DISCUSIÓN

Estos resultados pueden ser atribuidos por una parte a que el arroz pulido contiene un porcentaje alto de amilosa, mayor que el del almidón de yuca, por otra por que la temperatura de gelatinización es característica para cada tipo de almidón y depende fundamentalmente de la transición vítrea de la fracción amorfa del almidón siendo más alta la temperatura de gelatinización en la harina de arroz (19, 10).

Las propiedades reológicas del almidón dependen del origen y de la relación amilosa/amilopeptina; estos componentes de los almidones afectan las propiedades, funcionales, texturales y sensoriales en los alimentos la capacidad de hidratación y gelatinización son las más afectadas (19).

Además, las emulsiones elaboradas presentaron fuerzas intermoleculares muy similares en cada una de las matrices de los tratamientos después de la

cocción considerando el balance entre la amilosa y la amilopeptina aportados por cada tipo de insumo. Para el presente estudio no se encontraron referencias bibliográficas empleando harinas como la de arroz partido, lo cual permite que este sea novedoso, en trabajos con alguna similitud como el de (20) quienes utilizaron como extensor, harina de frijol común (*Phaseolus spp.*), una variedad sabanera, en proporciones de 3%, 6% y 9%, para la elaboración de salchicha tipo Frankfurt, y encontraron que al aumentar la concentración del aglutinante, el producto presenta un aumento de la fuerza de corte, dureza y pérdida de adhesividad y elasticidad.

De otro lado, (21), reportaron valores con 20N de dureza, 20,99N de gomosis, 38,7N de masticabilidad, 0,51 de cohesividad, 0,65N de adhesividad y 5,89 de elasticidad. en emulsiones cárnicas utilizando almidón de clones promisorios (*S. tuberosum* grupo *Phureja*). Según (22) valores por debajo a los reportados anteriormente en estas propiedades

de textura, son deseables en productos cárnicos porque dichas características están relacionadas con la jugosidad del producto y su rendimiento. Las emulsiones menos cohesivas tendrán una integridad débil y en un segundo ciclo de compresión no son capaces de retornar a su forma original (20). En el caso de productos de alta adhesividad se considera un defecto que está relacionado con el porcentaje de grasa en el mismo (18).

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los resultados del presente estudio se puede concluir que es viable el empleo de la harina de arroz partido, sustituyendo parcialmente a otros aglutinantes que actualmente emplea la industria cárnica como es el caso del almidón de yuca o la harina de trigo.

Por lo anterior se puede afirmar que la harina de arroz partido es una alternativa para ser tenida en cuenta por la industria cárnica, con lo que se podrían disminuir costos de producción empleando este aglutinante sin afectar sensiblemente las propiedades texturales del producto final

REFERENCIAS

- Katsube-tanaka T, Duldulao J B A, Kimura Y, Iida S, Yamaguchi T, Nakano J, Utsumi S. The two subfamilies of rice glutelin differ in both primary and higher-order structures. *Biochimica et Biophysica*; 2004. Acta .1699; 95-102.
- FAO 2015. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en internet. <http://www.fao.org/economic/est/publications/publicaciones-sobre-el-arroz/seguimiento-del-mercado-del-arroz-sma/es/> (Accedido 10/11/2015).
- DANE. Estudio de índice de pobreza en las regiones Colombianas. Sistema de información de precios y abastecimientos del sector agropecuario (SIPSA). Boletín mensual. Bogotá, Colombia. 2013.
- Pinciroli M. Proteínas de arroz, propiedades estructurales y funcionales. Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos (CIDCA). Tesis para ingeniero agrónomo, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina. 2010; 45 P.
- Espinal C, Martínez H, Gaitán X. 2005. La cadena del arroz en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Documento de trabajo No. 52. Observatorio Agrocadenas Colombia. (En línea) Disponible en: http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/caracterizacion_arroz.pdf. (12 Agosto 2015).
- Pomeranz Y, Ory R L. Rice processing and utilization. In *CRC Handbook of Processing and Utilization in Agriculture*; Wolff, I. A., Ed.; CRC Press: Boca Raton, FL; Vol. II, 1982. 139–186. Citado por Pinciroli, M. Proteínas de arroz propiedades estructurales y funcionales. Centro de Investigación y desarrollo en criotecología de alimentos CIDCA, 2010
- NTC, 1719. Norma técnica colombiana, Arroz partido para consumo humano, 4-5, Bogotá, Colombia (2002).
- Techeira N Elaboración y caracterización de harinas obtenidas a partir de granos de arroz entero de origen comercial. Tesis para optar ingeniero agrónomo, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela. 2006; 57 P.
- Chen, and Houston, D. F. Solubilization and recovery of protein from defatted rice bran. *Cereal Chemistry*; 47: 72. Chen, L. and Houston, D. F. 1970. Solubilization and recovery of protein from defatted rice bran. *Cereal Chemistry*. 1970; 47: 72.
- Eerlingen R C, Delcour J A. Formation, analysis, structure and properties of type III enzyme resistant starch. *Journal of Cereal Science*. 1995; 22(2): 129-138.
- Rojas M. Estudio de las características fisicoquímicas de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y sus efectos en la calidad de hojuelas fritas para su procesamiento en la empresa PRONAL S.A. Tesis para optar Tecnología Química, Universidad Tecnológica De Pereira, Pereira, Colombia. 2012; 37 P.
- Martínez, Y. y Arrieta, B.. Elaboración de chorizos de carne de res y de cerdo con adición de proteasas. Tesis para optar ingeniero de alimentos, Facultad de ingenierías, Universidad de Cartagena. Programa de ingeniería de alimentos, Cartagena de indias. 2013
- Restrepo, D. Elementos de industria de carnes. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. . 1991
- Álvarez, D., Castillo, M., Garrido, D., Bañón, S., Nieto, G. y Díaz, P.. Efecto de la composición y el tiempo de procesado sobre las propiedades tecnológicas y ópticas de las emulsiones cárnicas. 2007. 23:25-34.
- Girard, J,P., Daudin J. D., Bucharles, C., Denoyer, C., Goutefongea, R., Laroche, M, Maillard,T, Ramihone, M, 1991. Technologie de la viande et des produits carnes, ACRBIA, 260-290. Citado por: **Romero, B. P.E.**, , Efecto de los campos Magnéticos y Ultrasonido Sobre una Emulsión de carne de Búfalo (*Bubalus bubalis*), tesis de maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad de Pamplona. 2009. 101 P.
- Szczesniak, Alina, General food texture profile revised-Ten years perspective. *J Texture Studies*. 1975 Vol 6, 5-17, citado por IGOR, J. YVELASCO, V.. Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis sp.*), *Revista de Biotecnología Agroalimentaria*. 2010. 8(2):48-62.
- NTC, 1325. Norma Técnica Colombiana, Industrias alimentarias, Productos cárnicos procesados no enlatados, 4-5, Bogotá, Colombia (2008).
- Cury, k., Martínez, A., Aguas, Y., y Olivero, R.. Caracterización de carne de conejo y producción de salchicha. *Revista Colombiana Ciencia Animal*. 2011. 3(2):275-279.
- Taggart, P. Starch as an ingredient: manufacture and applications. In *Starch in food: Structure, function and applications*. Cambridge: Ann-Charlotte Eliasson. (2004).
- Albarracín, W., Acosta, L. Y Sánchez, I.. Elaboración de un producto cárnico escaldado utilizando como extensor harina de frijól común (*phaseolus spp*). *Revista de la Facultad de Química farmacéutica* 2010. 17(3):265-271.
- Zárate, L.; Otálora, N.; Ramírez, L.; Prieto, L.; Cerón, M. y Poveda, J. Sustitución del almidón en la formulación de mortadela por almidón de clones promisorios (*S. tuberosum* grupo *Phureja*). *Revista epsilon*, ISSN: 1692-1259, (en línea), (20), 2013. Disponible en: <https://www.google.com.co/search>: 25 de octubre (2015).
- Alvarado, M. Efecto de la adición de los derivados de *Lupinus spp* (aislado, harina y concentrado proteico) sobre las características de textura de salchichas. Tesis para obtener título de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. 2006. 68 P

COLESTEROL EN QUESOS PRODUCIDOS MEDIANTE REEMPLAZO DE GRASA LÁCTEA POR LÍPIDOS DE AGUACATE (*Persea americana var. Hass*)

CHOLESTEROL IN CHEESES PRODUCED BY REPLACING MILK FAT BY LIPID AVOCADO (*Persea americana var. Hass*)

Rosa N. AGUIRRE C.^{1*}, José V. HIGUERA M.², Fernando ARENAS G.³, Guillermo A. CORREA L.⁴

RESUMEN

Antecedentes: Estudios previos han demostrado la influencia del aguacate como reductor de colesterol de baja densidad (LDL) y que aumenta el colesterol de alta densidad (HDL) en sangre, asociado a la prevención de enfermedades del corazón, además el aguacate no contiene colesterol y los lípidos en su mayoría son saludables, mientras la leche de vaca contiene colesterol y ácidos grasos saturados que aumentan el colesterol en plasma, en especial LDL, por lo tanto se planteó como **Objetivo:** Determinar el contenido de colesterol de los quesos elaborados por sustitución de grasa láctea con lípidos de aguacate a partir de pulpa. **Métodos:** Se empleó leche desnatada, estandarizada con pulpa de aguacate en tres niveles de acuerdo con los tratamientos. Se evaluó el contenido de colesterol de los quesos con base en el método AOAC 994.10. **Resultados:** El contenido de colesterol en los quesos se reduce tras la adición de pulpa, en el T.4 redujo en un 72,7 %, con 10,3 mg/100g de queso respecto al T.1. **Conclusiones:** El contenido de colesterol se redujo de forma significativa e inversamente proporcional a la adición de pulpa en los quesos.

Palabras clave: Saponificación, cromatografía de gases, 5 α -colestano.

ABSTRACT

Background: Previous studies have shown the influence of avocado as lowering low-density

cholesterol (LDL) and increases high-density cholesterol (HDL) in the blood, associated with the preventing heart disease, moreover, the avocado did not contains cholesterol and lipids most are healthy, whereas cow milk contains cholesterol and saturated fatty acids that increase plasma cholesterol, especially LDL, therefore it proposed as **Objective:** Determine the cholesterol content of cheeses made by replacing milk fat with lipids from avocado pulp. **Methods:** Skimmed milk was used, standardized with avocado pulp into three levels according to the treatments. Cholesterol content of cheeses based on the AOAC 994.10 method was evaluated. **Results:** The cholesterol content in cheese is reduced with addition of pulp, in the T.4 is reduced by 72.7% cholesterol with 10.3 mg cholesterol per 100 g of cheese, with respect T.1. **Conclusions:** The cholesterol content was reduced significantly and inversely proportional to the addition of pulp in cheese form.

Keywords: Saponification, gas chromatography, 5 α -cholestane.

INTRODUCCIÓN

En el 2012 las enfermedades cardiovasculares fueron la principal causa de muerte en el mundo como enfermedades no transmisibles (ENT), responsables de 17,5 millones de fallecimientos (46 %), de las cuales 7,4 millones fueron por ataque cardíaco (cardiopatía isquémica) y 6,7 millones a accidentes cerebrovasculares.(2), y la leche entera por el con-

¹ Estudiante de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Calle 59ª No 63-20, Medellín, Colombia

² MSc. en Tecnología Lechera. Profesor Asociado. Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Calle 59ª No 63-20, Medellín, Colombia.

³ MSc. en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Profesor Universidad Nacional Abierta y a Distancia Medellín. Cra. 45 #55-19, Medellín, Colombia

⁴ PhD Estadística Multivariante Aplicada. Profesor asociado, Departamento de ciencias Agronómicas, Facultad de ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Calle 59ª No 63-20, Medellín, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: rnaguirreca@unal.edu.co

tenido de colesterol de 8,51 mg/ 100 g) (3), junto a los ácidos grasos saturados(SFA) que constituyen el 44,8 % de la grasa láctea, que aumentan el colesterol en plasma, especialmente LDL(4) están asociados como factores de riesgo controlables(dieta) de enfermedades cardiovasculares.

La sustitución de grasa por carbohidratos en la dieta, reduce el nivel de LDL y también HDL e incrementa los triglicéridos(5), de ahí la importancia de optar por fuentes de ácidos grasos monoinsaturados como lo es aguacate Hass, puesto que investigaciones han demostrado, que una dieta enriquecida o que incluye aguacate Hass redujo significativamente el nivel de colesterol total, LDL, sin reducir el nivel de HDL en plasma(6,7). En la actualidad la sustitución de la grasa láctea por aceites vegetales en productos lácteos como queso, para reducir colesterol e incrementar ácidos grasos insaturados es frecuente(8–10); aunque no se han reportado investigaciones de adición directa de pulpa de aguacate en quesos, pero han utilizado aceite de aguacate para bajar el contenido de colesterol en queso manchego(10), por lo tanto el objetivo de esta investigación fue determinar el contenido de colesterol de los quesos elaborados por sustitución de grasa láctea con lípidos de aguacate a partir de pulpa.

MATERIALES Y METODOS

Localización

Esta investigación se realizó en la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, en el Laboratorio de Frutas y Hortalizas y el Laboratorio de Análisis Instrumental.

Materiales

Se compró, la leche a la distribuidora Colanta, el aguacate (*Persea americana var. Hass*), en la finca Sabana Larga (Bello- Antioquia), la sábila (*Aloe barbadensis Miller*) en la minorista con el mismo proveedor. El colesterol y 5 α -colestano se adquirieron de Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EE.UU.).

Determinación de grasa en pulpa de aguacate

Extracción Soxhlet con base en la NTC 668 (11).

Perfil de Ácidos Grasos del aceite de aguacate

Se realizó con base en la NTC 5013 (12).

Elaboración de los quesos

Los quesos se elaboraron por coagulación ácida, después de ensayos previos para estandarizar cantidades de acuerdo con los tratamientos (T. 1: leche entera sin pulpa, T. 2: Leche desnatada + 4,5 % de pulpa, T.3: leche desnatada + 9 % de pulpa y T.4: leche desnatada + 18 % de pulpa) y tal como se muestra en la Figura 1. Diagrama de flujo elaboración de los quesos.

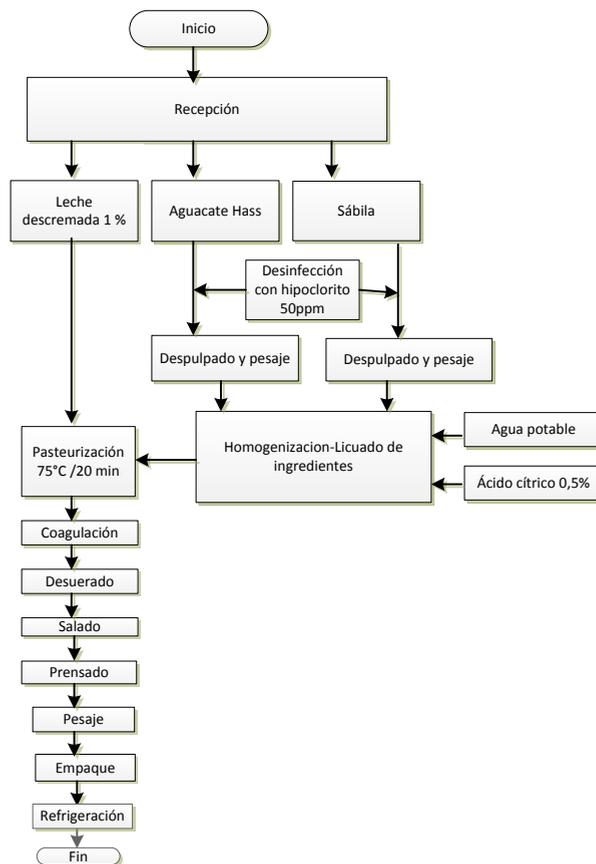


Figura 1. Diagrama de flujo elaboración de los quesos

Determinación de colesterol por cromatografía gaseosa

Se realizó con base en la norma AOAC 994.10 y el procedimiento del instituto de salud pública del ministerio de salud de Chile con algunas modificaciones(13). El método consiste en una saponificación de los lípidos de la muestra a alta temperatura con una solución de KOH. La fracción no saponificable es la que contiene el colesterol y otros esteroides que son extraídos con hexano, finalmente son cuantificados por medio de cromatografía de gases, utilizando un estándar interno (5 α -colestano) (1)

Determinación de grasa en los quesos

Con base en la Método van Gulik (14) con algunas modificaciones.

Análisis estadístico

Se aplicó un diseño de bloques completos al azar con 4 tratamientos y tres repeticiones, los datos obtenidos fueron analizados con el programa Statgraphics Centurion XV, se hizo el ANDEVA donde se compararon las medias de los tratamientos para encontrar diferencias significativas. Se empleó la prueba de rango múltiple de Duncan para determinar entre que medias existen diferencias significativas. $P \leq 0.05$.

RESULTADOS

Análisis de lípidos y ácidos grasos del aguacate Hass

El contenido de lípidos de la pulpa de aguacate en promedio fue de 19,98 %, con un 80,2 % de ácidos grasos monoinsaturados(MUFA), 19,5 % de ácidos grasos saturados (AGS) y 0,09 % de ácidos grasos poliinsaturados(AGPI), siendo el ácido oleico el principal AMI, con una abundancia relativa de 68.65 %, seguido del ácido palmitoleico en menor proporción 10,93 % y el ácido palmítico entre los AGS con una abundancia relativa de 19,4 %, principalmente entre otros como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Grasa y Perfil de ácidos grasos de pulpa de aguacate Hass

Ácidos grasos	Abundancia relativa(%)	Ácidos grasos (%)	Lípidos en pulpa (%)
Oleico	68,65±3,20	AGMI	80,2±1,58
Palmitoleico	10,93±1,81	AGPI	0,09±0,05
Palmítico	19,4±1,43	AGS	19,5±1,20
Linoleico	0,055±0,05		
Gondoico	0,285±0,09		
Behénico	0,015±0,01		
Lignocérico	0,025±0,01		

Promedio de tres repeticiones ± (DS)

Análisis de colesterol

Los quesos elaborados con leche entera (3,2%) presentaron el contenido de colesterol más alto, a diferencia de aquellos en los que se hizo sustitución de la grasa láctea, elaborados con una leche descremada (1%). El ANDEVA muestra significancia estadística en el contenido de colesterol entre los tratamientos, con un efecto significativo de los niveles de pulpa sobre colesterol con una confianza del 95%. con la prueba de Duncan se encontró que el T.1 es diferente de todos los tratamientos, el T.2 y T.3 es diferente del T. 4 pero los T.2 y T.3 no son estadísticamente diferentes. Se presenta tendencia a reducir el contenido de colesterol tras la adición de pulpa de aguacate como en el T.4 con un contenido de colesterol inferior a todos los tratamientos; se evidencia que la sustitución de grasa láctea está directamente relacionada con una reducción del contenido de colesterol en los quesos como se observa en la Figura 2.

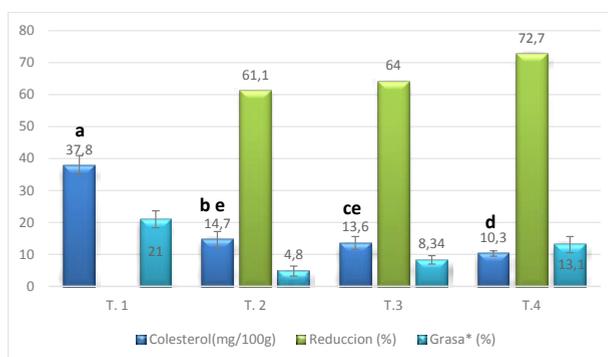


Figura 2. Contenido de colesterol y lípidos (medias ± DS) de los quesos.

Barras con diferente letra indican que hay diferencia significativa ($p < 0,05$). N=24

*media de tres repeticiones±(DS)

DISCUSIÓN

Entre los ácidos grasos del aguacate Hass el ácido oleico tuvo mayor participación, seguido del ácido

palmitoleico y palmítico, pero bajo en ácido linoleico que fue de 0,055 %, de acuerdo con lo reportado para variedad Hass según (15), quienes reportan valores secuencialmente de (67,7; 2,7; 13,1 y 11,7 %). Asimismo, se obtuvo valores superiores en ácidos grasos monoinsaturados de 80,2 % y saturados de 19,5 %, pero bajo en ácidos grasos poliinsaturados con 0,09% respecto a lo reportado por (16) con porcentajes secuencialmente de (72; 14,9 y 12,2).

El contenido de colesterol en el T.4 fue 10,3 mg/100 g de queso que es inferior a todos los tratamientos pero superior a lo reportado en queso Kashar elaborado con leche descremada y una mezcla de grasa vegetal comercial que reportan un contenido de colesterol de 0.49 mg/100 y 56,60 mg/100 en quesos elaborados con leche entera superior al T. 1 que fue de 37,8mg/100g (8).

Con la adición de pulpa de aguacate como sustituto de grasa láctea obtuvo una reducción de colesterol de 61,1; 64 y 72,7% para los tratamientos 2, 3 y 4 respectivamente, con tendencia a bajar tras aumentar el cantidad de pulpa en el queso, aunque este pierde dureza, porque se debilita la estructura de la proteína presente en el queso que es la que le da la forma rígida (17), mientras que en quesos manchego se evidencia reducción colesterol, y reportan que en quesos de leche baja en grasa (4,1 %) y entera (6,5%) enriquecidas con 2% de aceite de aguacate, el contenido de colesterol fue de 63,72 y 56,40 mg/100 g de muestra respectivamente a diferencia de quesos de leche entera (6,5%) en el que contenido de colesterol es superior 69,36 mg/100 g (10).

El colesterol se encuentra en alimentos de origen animal (18), pero no es exclusivo puesto que en aceites vegetales reportan contenidos de colesterol para aceite de oliva con 177 mg/L y 167 mg/L aceite de palma (19), es decir los aceites vegetales no están libres de colesterol. No obstante en el aceite de aguacate Hass han reportado cantidades trazas de colesterol, y entre los fitosteroles más importantes esta campesterol 4,7 % y 95,2 % de β -sitosterol relacionados con la reducción de colesterol en sangre (20) o cero colesterol (21), hecho que se puede relacionar con la reducción de colesterol en los quesos, y las diferencias entre los tratamientos pueden ser explicadas por el contenido de grasa de los quesos, pero en general el colesterol de la dieta se encuentra en alimentos de origen animal, por lo tanto la sustitución de la grasa láctea debido al contenido de colesterol y ácidos grasos saturados que aumentan la síntesis de colesterol endógeno (18)

por grasa a partir de pulpa de aguacate rica en ácidos grasos monoinsaturados que regulan o disminuyen el colesterol hacen de este producto una alternativa saludable para incluir en la dieta, siendo este estudio una base para investigaciones clínicas posteriores.

CONCLUSIONES

- La adición de pulpa de aguacate como sustituto de grasa logra reducir el contenido de colesterol en los quesos hasta en un 72,7% versus el control.
- El contenido de colesterol en el T.4 fue de 10,3 mg/100g inferior a todos los tratamientos e inversamente proporcional al contenido de pulpa adicionada.
- La obtención de quesos con lípidos de aguacate Hass es una alternativa para la elaboración de un producto funcional a partir de dos alimentos de la canasta familiar como son el queso fresco o campesino y el aguacate.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, por proveer los recursos humanos, algunos implementos e instalaciones necesarias para desarrollar este proyecto.

REFERENCIAS

1. AOAC International 994.10. Cholesterol in Foods. Direct Saponification- Gas Chromatographic Method. 1994.
2. Mendis S. Informe sobre la situación mundial de las enfermedades no transmisibles 2014. Organización Mundial de la Salud. 2014; 1-18 p.
3. Faye B, Bengoumi M, Al Masaud A, Konuspayeva G. Comparative milk and serum cholesterol content in dairy cow and camel. J King Saud Univ - Sci. 2015; 27(2):168-75.
4. Ohlsson L. Dairy products and plasma cholesterol levels. Food Nutr Res. 2010; 54: 1-9.
5. Salas S J, Bonada I S A, Trallero C R, Saló I S M, Burgos P R. Nutrición y dietética clínica. 2a ed. Elsevier España; 2008.
6. Colquhoun D, Moores D, Somerset S, Humphries J. Comparison of the effects on lipoproteins and apolipoproteins of a diet high in monounsaturated fatty acids, enriched with avocado, and a high-carbohydrate diet. Am J Clin Nutr. 1992; 56(4):671-7.
7. Wang L, Bordi PL, Fleming JA, Hill AM, Kris-Etherton PM. Effect of a Moderate Fat Diet With and Without Avocados on Lipoprotein Particle Number, Size and Subclasses in Overweight and Obese Adults: A Randomized, Controlled Trial. J Am Heart Assoc. 2015; 4:1-14.
8. Kesenkaş H, Dinkçia N, Kemal Seğinkb A, Kinika Ö, Gönç S. The effect of using vegetable fat blend on some attributes of kashar cheese. Grasas y aceites. 2009; 60(1):41-7.
9. Arslan S, Topcu A, Saldamli I, Koksall G. Use of corn oil in the production of Turkish white cheese. J Food Sci Technol. Springer; 2014; 51(10):2382-92.

10. Algarra M, Sánchez C, Esteves d S J, Jiménez J J. Fatty Acid and Cholesterol Content of Manchego Type Cheese Prepared with Incorporated Avocado Oil. *Int J Food Prop.* 2012 Jul; 15(4):796-808.
11. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. NTC 668 -Alimentos y materias primas. Determinación de los contenidos de grasa y fibra cruda. 1979; 5 p.
12. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. NTC 5013. Grasas y aceites vegetales y animales. Análisis de los ésteres metílicos de los ácidos grasos por cromatografía de gases. Colombia; 2001;11-28.
13. AOAC 994.10 citado por I de salud publica de C. Método por cromatografía gaseosa AOAC 994.10 Modificado. 2012.
14. ISO 3433-IDF 222. Cheese-Determination of fat content-Van Gulik method. 2008.
15. Pedreschi R, Hollak S, Harkema H, Otma E, Robledo P, Westra E, et al. Impact of postharvest ripening strategies on "Hass" avocado fatty acid profiles. *South African J Bot.* Elsevier; 2016; 103:32-5.
16. Ferreyra R, Sellés G, Saavedra J, Ortiz J, Zúñiga C, Troncoso C, et al. Identification of pre-harvest factors that affect fatty acid profiles of avocado fruit (*Persea americana* Mill) cv."Hass" at harvest. *South African J Bot.* Elsevier; 2016; 104:15-20.
17. Tamime AY. Structure of dairy products. Australia: Blackwell; 2008.
18. Pamplona R J. ¡Disfrútalo! Alimentos que curan y previenen. Madrid, España: Safeliz; 2006.
19. Hassan A M M. Estimation of Cholesterol Content and Free Fatty Acids in Edible Oils in Iraq. *Int J Chem Phys Sci.* 2015; 4(5):80-91.
20. Martínez N L, Barranco B R, Moreno R M. Extracción de aceite de aguacate: Un experimento industrial. *Grasas y aceites.* 1992; 43:11-5.
21. USDA (United States Department of Agriculture). Avocados, raw, all commercial varieties. Washington, D C: National Nutrient Database for Standard Reference Release 28. 2016.

CARACTERIZACIÓN TÉRMICA Y COMPOSICIONAL DE HARINAS EXTRAÍDAS DE 30 VARIEDADES DE MUSÁCEAS COMO ALTERNATIVAS EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA

THERMAL AND COMPOSITIONAL CHARACTERIZATION FLOUR FROM 30 VARIETIES OF MUSA AS ALTERNATIVES IN THE FOOD INDUSTRY

LUCAS-AGUIRRE JC^{1*}, VELÁSQUEZ-HERRERA JD², QUINTERO-CASTAÑO VD³.

RESUMEN

Antecedentes: En muchos países tropicales la agricultura está basada en una producción poco intensiva la cual contribuye a mantener la diversidad de las plantas comestibles, y a generar ingresos en la zona rural. En el caso de las musáceas, diferentes grupos cohabitan en las parcelas de los pequeños agricultores. Estos grupos genéticos son destinados al autoconsumo familiar y no se encuentran en los mercados locales o nacionales. Las harinas provenientes de materias primas como plátano, maíz y arroz son poco utilizadas por los consumidores debido al poco conocimiento de sus características.

Objetivos: Evaluar el comportamiento **térmico y composicional** de las harinas obtenidas de diferentes genotipos de Musáceas para poder establecer usos potenciales en la industria agroalimentaria.

Métodos: Se seleccionaron 30 variedades de musáceas de la Colección Colombiana de Musáceas, de las cuales se extrajeron harinas y se les evaluaron las propiedades térmicas (DSC y TGA) y composicionales (%Humedad, %Grasa, %Proteína, %Ceniza y %Fibra). **Resultados:** El análisis proximal promedio para las harinas de las 30 variedades de musáceas arrojó valores de humedad del 9,43%, proteína del 6,71%, grasa del 2,91%, cenizas del 2,03% y fibra del 1,92%; El análisis de DSC presentaron temperaturas de gelatinización y entalpias promedios de 75,58°C y 197,04 J/g respectivamente. El análisis de TGA en las harinas mostraron que en la zona 2, se presentan las mayores pérdidas de masa en peso a una temperatura promedio de 284,75°C y corresponde

al 68,17% de la masa total de la muestra, correspondiente a componentes de bajo peso molecular, carbohidratos y a la cantidad total de almidón presente en la muestra. **Conclusiones:** El análisis proximal y la evaluación térmica de las harinas de musáceas evaluadas, presentaron características apropiadas para ser usadas en diferentes productos y procesos alimentarios tales como harinas combinadas, en sopas, coladas y en la fabricación de galletas.

Palabras clave: Plátano, harina, análisis proximal, DSC, TGA.

ABSTRACT

Background: In many tropical countries, agriculture is based on low-intensity production which contributes to maintaining the diversity of food plants, and to generate income in rural areas. In the case of Musa different groups coexist in the plots of small farmers. These genetic groups are intended for family consumption and not on local or national markets. Flours from raw materials such as banana, corn and rice are rarely used by consumers due to poor knowledge of their characteristics. **Objectives:** Evaluate the thermal and compositional behavior of flour derived from different genotypes of Musa to establish potential uses in the food industry. **Methods:** 30 varieties of the Colombian Musa Musa Selecting located in Hacienda Las Vegas called the Center for Excellence Musa Banana and Allied Workers (Chinchiná Caldas-Colombia), of which flour were extracted and evaluated the thermal properties were selected (DSC and TGA)

¹ Ingeniero Agroindustrial. Candidato a Doctor en Ciencias Agrarias Universidad Nacional Sede Medellín. Profesor Asociado. Programa de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ciencias Agroindustriales Universidad del Quindío. Armenia, Quindío. Colombia.

² Ingeniero de Alimentos. Universidad del Quindío. Armenia, Quindío. Colombia.

³ Químico, Msc. Profesor Asistente. Programa de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ciencias Agroindustriales Universidad del Quindío. Armenia, Quindío. Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: j lucas@uni quindio.edu.co

and compositional (% Moisture% Fat% Protein, %ash and %fiber). **Results:** The average meal for the 30 varieties of Musa proximal moisture analysis yielded values of 9.43%, 6.71% protein, 2.91% fat, 2.03% ash and 1.92% fiber; DSC analysis showed gelatinization temperatures and enthalpies averages and 197.04 ° C 75.58 J / g respectively. TGA analysis showed flour in zone 2, the greatest mass loss in weight at an average temperature of 284.75 ° C is present and corresponds to 68.17% of the total mass of the sample, corresponding to components of low molecular weight carbohydrates and the total amount of starch present in the sample. **Conclusions:** The proximal thermal analysis and evaluation of Musa evaluated flours presented suitable for use in various food products and processes such as combined flour, soups, casting and biscuit manufacturing characteristics.

Keywords: Musa, flour potential, agribusiness, protein.

INTRODUCCIÓN

Con el fin de utilizar harinas de Musáceas como ingredientes para la industria alimentaria es necesario conocer su composición química y comportamiento térmico. De otra parte, se reconoce la amplia diversidad de productos tradicionales elaborados con base en plátano y banano, pero muy pocos autores citan la preferencia varietal de los consumidores en término de usos de las musáceas, en particular sobre las variedades menos cultivadas por los pequeños agricultores (2). En el presente trabajo se pretende caracterizar el comportamiento térmico y composicional de harinas de diferentes genotipos de Musáceas, que generará el conocimiento propicio para su uso en procesos industriales y sustitutos de productos actuales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron 30 variedades de musáceas de diferentes genotipos (Tabla 1) de la Colección Colombiana de Musáceas ubicada en la Hacienda Las Vegas denominada Centro para la Excelencia del Plátano y Musáceas Afines, municipio de Chinchiná Caldas (1360 m.s.n.m., 4° 58' N y 75° 20' O)ccc. Una vez identificados los racimos de musáceas (Tabla 1), se cosecharon, se transportaron a la planta piloto de procesamiento de alimentos de la Universidad del Quindío y se almacenaron a 13°C y 90%HR. Para la obtención de la harina

de musáceas se pesaron, pelaron y se cortaron en rodajas los dedos de cada racimo, se llevaron a una estufa de secado (marca memmert ul40) a 40°C durante 48 horas, para después molerlas (molino IKA 2870900 MF 10.1, USA), hasta obtener un tamaño de partícula menor a 100 µm (3). Para el análisis proximal de las harinas de musáceas, se utilizó un analizador NIR DA 7250 de diodos de Perten, con tiempo de análisis de 6 segundos, para los parámetros de humedad, proteína, grasa, fibra y cenizas.

Caracterización Térmica

Análisis termogravimétrico (TGA): Este análisis se realizó en un equipo marca Netzsch TG 209 F1 Iris, en presencia de una atmósfera de nitrógeno para un rango desde la temperatura ambiente hasta 600°C con una velocidad de calentamiento de 5°C/min y en muestras de (6 ± 0,50) mg (4). Calorimetría diferencial de barrido (DSC): La determinación de la temperatura y la entalpía de gelatinización (Tp y Hp) del almidón de la harina se llevó a cabo en un equipo marca Netzsch 214 Polyma, en muestras de (10,00 ± 0,50) mg con un contenido de humedad del 80%, para una velocidad de calentamiento de 4°C/min, desde temperatura ambiente hasta 100°C, en atmosfera de nitrógeno (4).

RESULTADOS

En la Tabla 1, se observa que el contenido de humedad promedio fue de 9,44% para las 30 variedades, obteniendo el mayor valor la variedad SH 3640 del grupo híbridos de cocción, 6,89% en proteína promedio presentando los mayores valores las variedades Tafetán Verde (8,98%) y Pratta 1 (7,76%), 2,79% de grasa promedio presentando los mayores valores las variedades Itgisiri (4,76%) y Guineo Enano (4,16%), 1,91% de fibra promedio presentando los valores más altos el Banano Valery (2,87%) y el Banano Llanero (2,67%) y 2,04% en cenizas promedio presentando los valores más altos las variedades Banano Indio (2,67%) y French Sombre (2,63%).

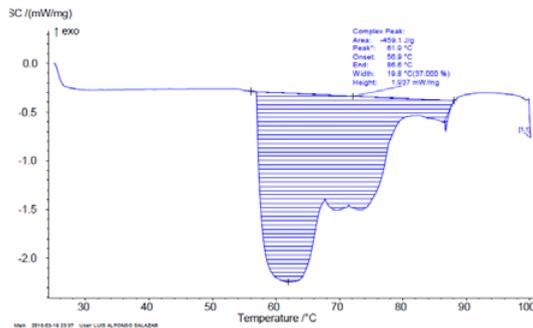
Caracterización térmica: En la figura 1 y Tabla 2, se presentan los resultados de los Termogramas (TGA) y datos arrojados promedio para cada grupo genético en el análisis DSC de la harina; donde se evidencia una reacción endotérmica, la cual ocurre cuando el almidón se calienta en un exceso de agua (5). El rango de temperatura y la localización de dicha reacción dependen de la fuente botánica de donde proceda el almidón.

Tabla 1. Clasificación taxonómica y análisis proximal del material trabajado.

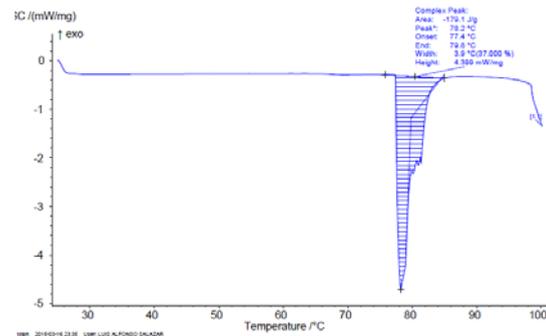
Variedad	Genotipo	Clasificación genética	Sub-grupo	Tipo	% humedad	% proteína	% grasa	% fibra	% ceniza
Itgitsiri	AAAc	Triploide	Lujugira	Banano de cocción	8,68	5,89	4,76	1,95	2,01
Guineo Enano	AAAc	Triploide	Lujugira	Banano de cocción, no plantain	8,91	4,88	4,16	1,87	2,06
Tu-gia	AA	Diploide	Sucrier	Banano de postre	9,21	6,45	2,21	1,25	2,22
Banano Valery	AAA	Triploide	Cavendish	Banano de postre	9,58	7,13	3,1	2,87	0,99
Mysore	AAB	Triploide	Mysore	Banano de postre	9,3	6,87	1,98	2,11	1,4
Pratta 1	AAB	Triploide	Silk	Plátano de postre	9,11	7,76	3,56	2,12	1,65
Pisang Lilin	AA	Diploide	Sucrier	Banano de postre	9,64	7,21	2,26	1,63	1,67
Bocadillo del Quindío	AA	Diploide	Sucrier	Banano de postre	9,54	6,87	2,56	1,76	2,42
SH 3640	AAAB	Tetraploide	Indefinido	Banano de Cocción	11,23	6,76	3,01	1,12	2,21
Benedetta	AAB	Triploide	Saba	Indefinido	8,26	7,32	2,23	1,98	2,23
Banano Llanero	AAA	Triploide	Cavendish	Banano postre	9,34	7,01	2,76	2,67	1,65
Dominico Blanco	AAB	Triploide	Plantain - Dominico	Plátano cocción	8,68	6,54	3,01	2,02	1,89
French Sombre	AAB	Triploide	Plantain	Plátano cocción	9,54	7,33	3,31	1,39	2,63
Tafetan Verde	AAA	Triploide	Red	Banano de postre	10,43	8,98	2,43	2,24	2,54
Giant Cavendish	AAA	Triploide	Cavendish	Banano de postre	8,89	7,21	2,89	1,56	1,45
Gros Michel Cocos	AAA	Triploide	Gros Michel	Banano de postre	8,71	5,31	3,11	2,22	1,52
Gros Michel la Miel	AAA	Triploide	Gros Michel	Banano de postre	10,01	6,67	3,21	1,92	1,78
Cubano Negro	AAB	Triploide	Plantain – clase cuerno	Plátano cocción/ fritura	9,54	6,78	3,14	1,73	1,86
Dominico Caoba	AAB	Triploide	Plantain	Alimentación animal	9,41	6,62	2,21	2,12	1,94
Pisang Mas	AA	Diploide	Sucrier	Banano de postre	9,9	7,29	3,21	1,85	2,4
Pratta PA 0322	AAB	Triploide	Silk	Plátano postre	9,44	6,76	2,25	2,65	2,29
Dominico Hartón Enano	AAB	Triploide	Plantain	Cocción/ fritura	9,15	4,2	3,46	2,25	2,07
Hartón Enano	AAB	Triploide	Plantain	Cocción / fritura	9,86	6,91	2,89	1,45	1,99
Guineo Común	AAAac	Triploide	Lujugira	Banano cocción	10,72	6,63	3,15	2,18	2,46
Banano Bocadillo	AA	Diploide	Sucrier	Banano postre	9,44	6,75	3,44	1,62	2,35
Gros Michel	AAA	Triploide	Gros Michel	Banano postre	9,05	7,32	3,15	1,89	2,28
Cachaco	ABB	Triploide	Bluggoe	Plátano de cocción	9,05	7,32	3,15	1,89	2,28
Guayabo	AAB	Triploide	Mahia-maoli	Fritura, Asado, dulces	9,47	4,55	2,91	1,94	2,1
África 1	AAB	Triploide	Mbouroukou	Fritura y plátano de cocción	9,63	5,87	3,21	1,55	2,06
Banano Indio	AAA	Triploide	Cavendish	Banano de postre	8,94	7,6	2,21	1,37	2,67

Tabla 2. Datos obtenidos por DSC para Harina de Variedades analizadas.

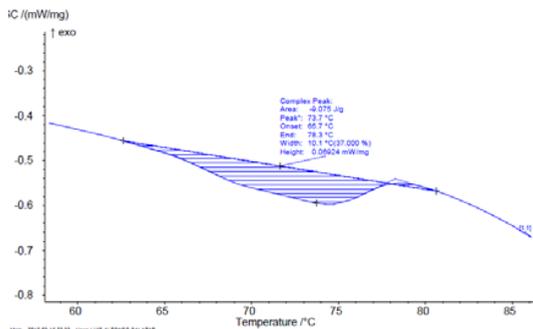
Variable	To (°C)	Te (°C)	Tp (°C)	ΔH_p (J/g)
Guayabo (AAB)	56,9	86,6	62,0	-459,1
Gross Michael Enano (AAA)	77,4	79,8	78,2	-179,1
Cachaco (ABB)	65,7	78,3	73,7	-9,075
Benedetta (AAB)	86,5	91,0	88,4	-140,9



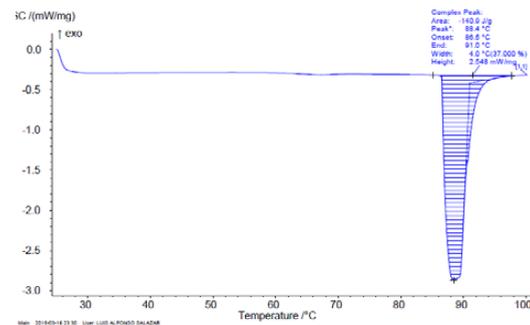
Variedad Guayabo, subgrupo Plantain, composición genética AAB



Variedad Gross Michael Enano, subgrupo Bananos de Postre, composición genética AAA



Variedad Cachaco, subgrupo Híbridos de Cocción, composición genética ABB



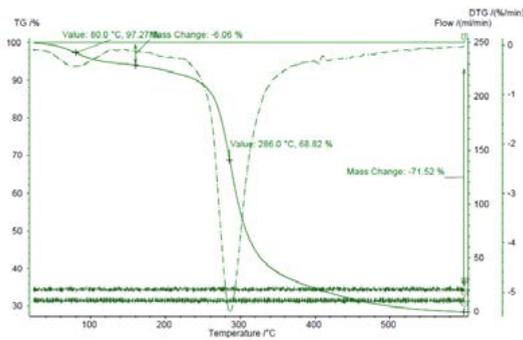
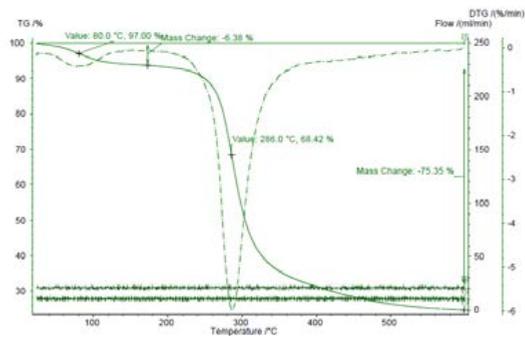
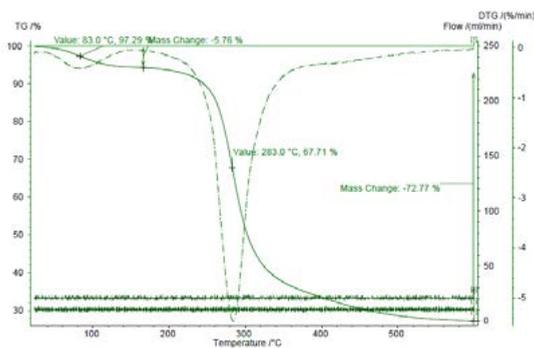
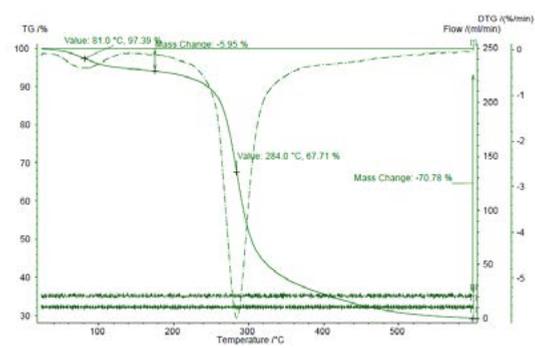
Variedad Benedetta, subgrupo Bananos de Cocción, composición genética ABB

Figura 1. Termograma DSC de las harinas de plátanos representativas por subgrupo.

La harina de plátano de Guayabo (AAB), fue la que presentó una temperatura de inicio de gelatinización (T_o) más baja de 56,9°C (ver figura 1), evidenciando que la temperatura pico (T_p) que es la temperatura donde se registran los valores más altos de absorción de calor, fue de 62,0°C. La entalpía de gelatinización H_p es la energía absorbida en el proceso, su valor fue de -459,1 J/g y la temperatura final del proceso T_c fue de 86,6°C; las demás temperaturas se muestran en la tabla 2.

Análisis termogravimétrico: En la figura 3, se muestran los termogramas de las 4 grupos genéticos evaluados junto con su derivada de pérdida de peso (línea punteada verde); encontrándose 3 zonas. Para

el termograma de la harina de plátano Guayabo, la zona 1 corresponde a la pérdida de masa debida a la humedad (5,76%) presente en la muestra; se registró entre los 100°C y 200°C, teniendo su mayor pico a los 150°C aproximadamente (ver figura 2). La zona 2, es la zona de mayor pérdida de masa en peso y corresponde al 67,71% de la masa total de la muestra, el rango de temperatura de degradación empieza en 200°C y termina en 380°C aproximadamente; basándose en los porcentajes de pérdida de peso en la zona 2, se puede concluir que las harinas de plátano contienen altos niveles de almidón y carbohidratos.

Figura 2. TGA de las harinas de plátano representativos por genotipo.Variedad Cachaco, subgrupo Híbridos de Cocción,
composición genética ABBVariedad Gross Michael Enano, subgrupo Bananos de
Postre, composición genética AAAVariedad Guayabo, subgrupo Plantain, composición
genética AABVariedad Benedetta, subgrupo Bananos de Cocción,
composición genética AAB

En la zona 3, se presentó en un rango de temperaturas entre 380°C a 600°C con un pico máximo de temperatura en 480°C (ver figura 2), presentando una pérdida de peso de 23,25%. Y por último queda un porcentaje de residuos del 3,28% que corresponden al contenido de minerales de las muestras.

DISCUSIÓN

El contenido de humedad promedio registrado en las harinas se encuentra dentro de los parámetros de calidad establecidos por la Norma Técnica Colombiana (NTC 267) (6) para harina de trigo y es mayor que el obtenido por Da Mota *et al.* (7) con valores entre 3,91 a 6,17% para plátano de diferentes variedades, afirmando esta característica que dichos materiales tienen preferencias para consumo en fresco. En cuanto al contenido de proteína promedio obtenido, este valor es muy superior al promedio de 2,2 y 3,1% reportado para los frutos en cuatro clones comerciales de musáceas de plátano de la

zona cafetera de Colombia (8). La grasa presentó un valor promedio muy superior a lo reportado por Da Mota *et al.* (7) y Soto-Azurduey. (9), para harinas de plátano. Al comparar los resultados de cenizas obtenidos en las harinas de plátano (Tabla 1), se encontró concordancia con lo reportado por Da Mota *et al.* (7). También se evidenció que el contenido de ceniza en harinas de plátano es similar en la harina de maíz y harina de yuca. Es importante resaltar que la composición proximal de las harinas es aceptable para desarrollar productos con un buen aporte nutricional; lo cual indica que podrían ser usadas para la elaboración de harinas combinadas, sopas, coladas y en la fabricación de galletas (10).

En cuanto al análisis DSC, temperaturas son dependientes del contenido acuoso, de forma que disminuyen a medida que se incrementa la cantidad de agua (actúa como un plastificante) (11). La transición observada corresponde al proceso de fusión de las dobles hélices de la amilopectina y a la pérdida de cristalinidad (12). Estos resultados son similares a

estudios previos de harina de maíz con temperaturas que varían entre 67,3 y 73,2°C con 75% de humedad (4). También coincide con temperaturas de gelatinización de harina cruda de yuca de 63,35°C (13). En el Termograma se pueden evidenciar tres zonas en donde hay una evidente pérdida de masa, en la zona 1 la pérdida de masa se debe a la pérdida de humedad, en la zona 2 la pérdida de más se debe a la descomposición de componentes de bajo peso molecular, carbohidratos y a la cantidad total de almidón presente en la muestra (14) y por último la pérdida en la zona 3 es debido a descomposición de polisacáridos de alto peso molecular como proteínas, lípidos entre otros compuestos orgánicos.

CONCLUSIONES

El análisis proximal y la evaluación térmica de las harinas de musáceas evaluadas, presentaron características atractivas en cuanto a los contenidos de proteína, grasa y minerales que los hacen aceptables por su buen aporte nutricional y a la vez ayudarían en la reducción de costos energéticos en diferentes procesos agroindustriales, lo indica que podrían ser usada como harinas combinadas, en sopas, coladas y en la fabricación de galletas.

REFERENCIAS

- Louis M, Nwokocha PA. New starches: Physicochemical properties of sweetsop (*Annona squamosa*) and soursop (*Annona muricata*) starches. *Carbohydrate Polymers*. 2009; 462-468.
- Dufour D, Giraldo A, Gibert O, Sánchez T, Reynes M, González A, Fernández A, y Díaz A. Propiedades físico-químicas y funcionales de los bananos de postre, plátanos de cocción y FHIA híbridos: preferencia varietal de los consumidores en Colombia. En: Borja, J. S.; Nogales C, Orrantia C, Paladines R, Quimi V, y Tazan L. (eds.). CD-Proceedings, Acorbat 2008. XVIII International Meeting, November 11-14/2008; Guayaquil, Ecuador. 33.
- Mestres C. Los estados físicos del almidón. En: Conferencia internacional sobre Almidón. Propiedades físico-químicas, funcionales y nutricionales: Usos. (1ª. 8-10, mayo: Quito; Ecuador.) Memorias. Ecuador: Escuela Politécnica Nacional e Instituto de Investigación Tecnológica. 1993; 1-16.
- Pineda P, Coral D, Rosales A. Estudio de las propiedades térmicas de harinas de maíz producidas por tratamiento térmico-alcalino. *Ingeniería Y Ciencia*: 2011; 7(14): 119-125.
- Donovan JW. Phase transitions of the starch-water system. *Biopolymers*. Vol. 18. Berkeley, California-EE.UU. Western Regional Research Center, Agricultural Research Service, USDA. 1979; 18-263.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. ICONTEC. NTC 267. Harina de trigo. 2007.
- Da Mota RV, Lajolo FM, Ciacco C, and Cordenunsi BR. Composition and Functional Properties of Banana Flour from Different Varieties. *Starch/Stärke*: 2000; 52(2-3): 63-68.
- Morales H, Belalcázar S, y Cayón DG. Efecto de la época de cosecha sobre la composición fisicoquímica de los frutos en cuatro clones comerciales de musáceas. En: Poscosecha y Agroindustria del Plátano en el Eje Cafetero de Colombia. CORPOICA, Universidad del Quindío, Asiplat, Comité Departamental de Cafeteros del Quindío, Colciencias, Fudesco 1998; 59-70.
- Azurduy-Soto V. Cuantificación de almidón total y de almidón resistente en harina de plátano verde (*Musa paradisíaca*) y banana verde (*Musa Cavendish*). Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Bioquímica y Farmacia, Cochabamba – Bolivia. 2010; 2.
- Lucas-Aguirre JC, Quintero Castaño VD y Montoya LJ. Evaluación físico-térmica y reológica de harina y almidón de plátano dominico hartón (*Musa Paradisiaca* ABB). *Temas Agrarios*. 2014; 19(2): 214-233.
- Slade L, & Levine H. Non-equilibrium melting of native granular starch. 1. Temperature location of the glass transition associated with the gelatinization of A-type cereal starches. 1988; *Carbohydrate Polymers*. 183-208.
- Cooke D, Gidley M J. Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinization - origin of the enthalpy transition. *Carbohydrates*. 1992; Res. 227: 103-112.
- Rodríguez SE, Sandoval AA, & Fernández QA. Evaluación de la retrogradación del almidón de harina de yuca precocida. 2006; *Revista Colombiana de Química*: 36 (1): 13-30.
- Alfaro Y, Segovia V, Mireles M, Monasterios P, Alejos G, Pérez M. El maíz amarillo para molienda húmeda. *Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela. CENIAP*. No. 6. Septiembre – Diciembre de 2004.

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS Y COMPOSICIONALES DE ALMIDONES EXTRAÍDOS DE 26 VARIEDADES DE MUSÁCEAS

EVALUATION OF THE THERMAL PROPERTIES AND COMPOSITION STARCH EXTRACTED FROM 26 VARIETIES OF MUSA

LUCAS-AGUIRRE JC¹, VELÁSQUEZ-HERRERA JD², QUINTERO-CASTAÑO VD³

RESUMEN

Antecedentes: El almidón es el segundo polisacárido más abundante y que se encuentra más ampliamente distribuido en las plantas donde es almacenado como reserva de hidratos de carbono en las semillas, frutas, tubérculos, raíces y tallos. Hasta la actualidad los trabajos se han enfocado a la resistencia a plagas y enfermedades sin tomar en cuenta los criterios fisicoquímicos y de composición de la pulpa, dejando a un lado las características funcionales, sensoriales y organolépticas de los frutos. **Objetivos:** Evaluar las propiedades térmicas y composicionales de almidones de diferentes fuentes de Musáceas no convencionales para de esta manera identificar su potencial agroindustrial. **Métodos:** Se seleccionaron 26 variedades de musáceas de la Colección Colombiana de Musáceas, de las cuales se extrajeron almidones y se les evaluaron sus propiedades térmicas (DSC y TGA) y composicionales (%Humedad, %Grasa, %Proteína, %Ceniza y %Fibra). **Resultados:** El análisis proximal promedio para los almidones de las 26 variedades de musáceas arrojó valores de humedad del 7,65%, proteína del 3,28%, grasa del 3,13%, cenizas del 1,84 y fibra del 1,39%; El análisis de DSC presentaron temperaturas de gelatinización y entalpías promedios de 76,58°C y 36,29 J/g respectivamente. El análisis de TGA en los almidones mostraron que en la zona 2, se presentan las mayores pérdidas de masa en peso a una temperatura promedio 310°C y corresponde al 74,73% de la masa total de la muestra, correspondiente a componentes de bajo peso molecular, carbohidratos y a la cantidad total

de almidón presente en la muestra. **Conclusiones:** Los almidones de musáceas evaluados presentan composiciones proximales y comportamientos térmicos muy similares al de almidones convencionales utilizados en la industria alimentaria que ayudarían a la reducción de costos energéticos en diferentes procesos, por tener un comportamiento similar al de los almidones convencionales como los provenientes del maíz, yuca y papa.

Palabras clave: Plátano, almidón, caracterización térmica, TGA, DSC.

ABSTRACT

Background: Starch is the second most abundant polysaccharide and is found widely distributed in plants where it is stored as reserve carbohydrates in seeds, fruits, tubers, roots and stems. To date the work has been focused on resistance to pests and diseases without taking into account the criteria and physicochemical composition of the pulp, leaving aside the functional, sensory and organoleptic characteristics of the fruit (1-2). **Objectives:** Evaluate the thermal properties and compositional starches of different sources of unconventional Musáceas to thereby identify its agribusiness potential. **Methods:** 26 varieties of Musaceae Colombian selection Musaceae, which starches are extracted and are evaluated their thermal properties (DSC and TGA) and compositional (% Moisture, %Fat, %Protein, %Ash were selected and %Fiber). **Results:** Analysis for starches proximal average of the 26 varieties of Musaceae moisture values yielded 7.65%, protein

¹ Ingeniero Agroindustrial. Candidato a Doctor en Ciencias Agrarias Universidad Nacional Sede Medellín. Profesor Asociado. Programa de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ciencias Agroindustriales Universidad del Quindío. Armenia, Quindío. Colombia.

² Ingeniero de Alimentos. Universidad del Quindío. Armenia, Quindío. Colombia.

³ Químico, Msc. Profesor Asistente. Programa de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ciencias Agroindustriales Universidad del Quindío. Armenia, Quindío. Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: jclucas@uniquindio.edu.co

3.28%, fat 3.13%, ash 1.84 and 1.39% fiber; DSC analysis showed gelatinization temperatures and enthalpies averages 76.58°C and 36.29 J/g respectively. TGA analysis showed starches in zone 2, the greatest mass loss in weight at an average temperature of 310°C are shown and corresponds to 74.73% of the total mass of the sample, components corresponding to low molecular weight carbohydrates and the total amount of starch present in the sample. **Conclusions:** Musa starches evaluated and presented proximal compositions very similar to conventional starches used in the food industry to help reduce energy costs in different thermal processes behavior, to have a similar performance to conventional starches such as corn, cassava and Pope.

Keywords: Musa, starch, thermal characterization, TGA, DCS.

INTRODUCCIÓN

Los almidones son utilizados como materia prima en diversas industrias, representando un insumo vital para la industria de alimentos como estabilizantes, ayudantes en la emulsificación, mejoradores de textura entre otros, siendo sus propiedades funcionales determinantes en la calidad del producto final. Los almidones nativos tienen características muy específicas y se comportan de manera diferente en cuanto a sus propiedades funcionales, lo que depende de su fuente natural (3). En este trabajo se pretende evaluar el comportamiento térmico y composicional de los almidones de 26 variedades de Musáceas, con el objetivo de generar conocimiento buscando usos potenciales.

MATERIALES Y MÉTODOS

De la Colección Colombiana de Musáceas ubicada en la Hacienda Las Vegas denominada Centro para la Excelencia del Plátano y Musáceas Afines, municipio de Chinchiná Caldas (1360 m.s.n.m., 4° 58' N y 75° 20' O). Una vez identificados los racimos de musáceas (Tabla 1), se cosecharon, se transportaron a la planta piloto de procesamiento de alimentos de la Universidad del Quindío y se almacenaron a **13°C y 90%HR**. Para la obtención del almidón de las musáceas se pelaron, pesaron y se cortaron en rodajas, a las rodajas se les adicionó agua en relación 1:1, esta mezcla se homogenizó a 6000 rpm durante 1 min, se pasó a través de una malla de 100 μm , con

adición de agua destilada hasta que el agua de lavado estuviera completamente limpia. A continuación la mezcla se centrifugó (centrifuga J. P. Selecta - Medifriger BL-S, España) a 10000 rpm durante 1 min a 25°C. El precipitado se filtró por una membrana con tamaño de poro de 100 μm y el filtrado se secó en una estufa de recirculación a 40°C por 48 horas. Para el análisis proximal de los almidones aislados y nativos de musáceas, se utilizó un analizador NIR DA 7250 de diodos de Perten, con tiempo de análisis de 6 segundos, para los parámetros de Humedad, proteína, grasa, fibra y cenizas.

Análisis termogravimétrico (TGA)

Este análisis se realizó en un equipo marca Netzsch TG 209 F1 Iris, en presencia de una atmósfera de nitrógeno para un rango desde la temperatura ambiente hasta 600°C con una velocidad de calentamiento de 5 °C/min y en muestras de (6 \pm 0,50) mg (4).

Calorimetría diferencial de barrido (DSC): La determinación de la temperatura y la entalpía de gelatinización (T_p y H_p) del almidón se llevó a cabo en un equipo marca Netzsch 214 Polyma, en muestras de (10,00 \pm 0,50) mg con un contenido de humedad del 80%, para una velocidad de calentamiento de 4°C/min, desde temperatura ambiente hasta 100°C, en atmósfera de nitrógeno (4).

RESULTADOS

Los resultados de la caracterización química se muestran en la tabla 1; el contenido promedio de humedad para el almidón de las 26 variedades de plátano fue de 7,6%, presentando el mayor contenido la variedad Banano Valery (8,94%) y la menor el Tafetán Verde (6,04%). En el almidón se encontró un contenido de proteína promedio de 3,2%, resaltando las variedades Pisang Mas y Tafetán Verde con 5,38% y 4,01% respectivamente. En cuanto al contenido de grasa se obtuvo un valor promedio de 3,0% predominando las variedades Dominico Caoba y Gros Michel con 3,89% y 3,88% respectivamente. El contenido promedio de cenizas fue de 1,8%, imperando las variedades Gros Michel Cocos y Pratta 1 con 1,95% y 1,93% respectivamente. El contenido de fibra fue de 1,39%, sobresaliendo las variedades Pisang Mas y Mysore con 2,18% y 2,08% respectivamente.

Tabla 1. Clasificación taxonómica y análisis proximal del material trabajado.

Variedad	Genotipo	Clasificación genética	Sub-grupo	Tipo	% humedad	% proteína	% grasa	% fibra	% ceniza
Banano Valery	AAA	Triploide	Cavendish	Banano de postre	8,94	2,78	3,03	1,12	1,82
Mysore	AAB	Triploide	Mysore	Banano de postre	6,99	3,07	2,38	0,96	2,08
Pratta 1	AAB	Triploide	Silk	Plátano de postre	7,59	2,98	2,45	1,93	1,92
Pisang Lilin	AA	Diploide	Sucrier	Banano de postre	7,58	3,59	3,43	1,14	1,87
Bocadillo del Quindío	AA	Diploide	Sucrier	Banano de postre	7,18	3,51	3,43	1,58	1,97
SH 3640	AAAB	Tetraploide	Indefinido	Banano de Cocción	7,45	3,91	2,34	1,09	1,96
Benedetta	AAB	Triploide	Saba	Indefinido	7,98	3,23	2,31	0,93	1,73
Banano Llanero	AAA	Triploide	Cavendish	Banano postre	8,09	3,64	3,89	1,76	1,69
Dominico Blanco	AAB	Triploide	Plantain - Dominico	Plátano cocción	8,64	2,02	2,98	1,78	1,92
French Sombre	AAB	Triploide	Plantain	Plátano cocción	6,88	3,13	2,21	1,78	2,01
Tafetán Verde	AAA	Triploide	Red	Banano de postre	6,04	4,01	3,41	1,15	1,79
Giant Cavendish	AAA	Triploide	Cavendish	Banano de postre	7,86	2,97	3,13	1,47	1,93
Gros Michel Cocos	AAA	Triploide	Gros Michel	Banano de postre	8,06	3,01	3,65	1,95	1,84
Gros Michel la Miel	AAA	Triploide	Gros Michel	Banano de postre	8,34	3,35	3,03	1,92	1,59
Cubano Negro	AAB	Triploide	Plantain - clase cuerno	Plátano cocción/ fritura	7,63	2,65	3,33	1,12	1,66
Dominico Caoba	AAB	Triploide	Plantain	Alimentación animal	7,69	3,78	3,89	1,86	1,78
Pisang Mas	AA	Diploide	Sucrier	Banano de postre	8,35	5,38	2,51	1,69	2,18
Pratta PA 0322	AAB	Triploide	Silk	Plátano postre	8,10	2,83	3,53	1,22	1,77
Dominico Hartón Enano	AAB	Triploide	Plantain	Cocción/ fritura	8,14	3,13	3,67	1,91	1,96
Hartón Enano	AAB	Triploide	Plantain	Cocción / fritura	7,32	3,05	3,87	1,22	1,85
Guineo Común	AAAac	Triploide	Lujujira	Banano cocción	7,55	3,91	3,15	1,06	1,86
Banano Bocadillo	AA	Diploide	Sucrier	Banano postre	7,54	3,54	2,45	0,98	1,43
Gros Michel	AAA	Triploide	Gros Michel	Banano postre	6,68	3,81	3,88	1,34	1,82
Cachaco	ABB	Triploide	Bluggoe	Plátano de cocción	8,21	2,90	3,39	0,96	1,72
Guayabo	AAB	Triploide	Mahia-maoli	Fritura, Asado, dulces	7,83	2,37	3,73	1,37	1,74
Banano Indio	AAA	Triploide	Cavendish	Banano de postre	6,24	3,55	2,29	0,88	1,87

Caracterización térmica

DSC del almidón: La temperatura de inicio de gelatinización para el almidón de plátano Guayabo

fue de 66.8°C, en la tabla 2 y la figura 1, se evidencia una reacción endotérmica propia de los almidones cuando son sometidos a un proceso hidrotérmico.

Tabla 2. Datos obtenidos por DSC para Almidón de Variedades analizadas

Variable	To (°C)	Te (°C)	Tp (°C)	ΔHp (J/g)
Guayabo	66,8	72,3	69,7	-1,024
Gross Michael Enano	63,9	84,0	78,0	-132,6
Cachaco	91,3	95,9	91,7	-9,949
Benedetta	64,4	70,3	66,9	-1,616

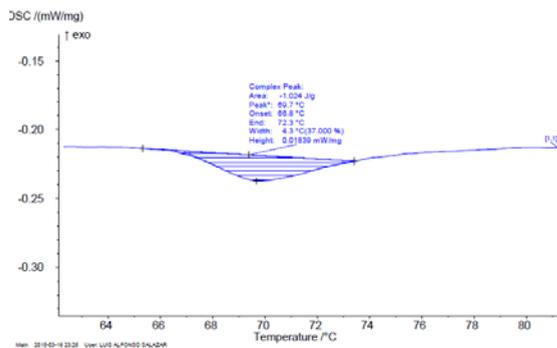
Las diferencias en las temperaturas de gelatinización dependen de las condiciones genéticas de los frutos, las condiciones climáticas del cultivo y del tiempo de cosecha; la temperatura final (T_e) registrada fue de $72,3^{\circ}\text{C}$, se evidenció que la temperatura de pico (T_p) para el almidón de plátano fue de $69,7^{\circ}\text{C}$. La entalpía de este proceso fue $-1,024\text{ J/g}$. De acuerdo a los resultados se podría decir que los almidones de musáceas evaluados, son almidones fáciles de cocinar y requieren menor consumo de energía durante su cocción.

TGA

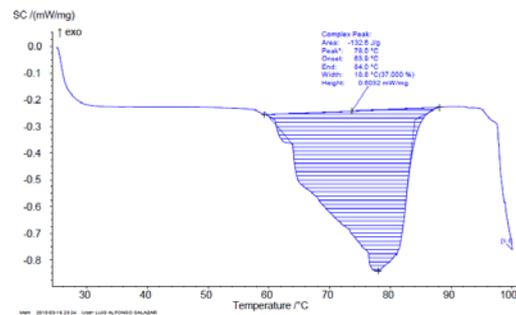
En la figura 2, el termograma de almidón de plátano Guayabo, presenta 3 zonas de pérdida de masa, donde la zona 1, corresponde al porcentaje

de agua que fue del 5,28%, esta disminución empieza cerca de los 100°C hasta los 230°C aproximadamente, presentando su mayor pico de temperatura a los 180°C . La zona 2, es la zona de mayor pérdida de masa con un porcentaje de 74,73%. La degradación se realizó en el intervalo de temperatura de 230°C y 390°C . Para la zona 3, se evidencia la descomposición del 18,98%, con rangos de temperatura desde 390°C hasta 560°C . El residuo de muestra que queda es asociado a la cantidad de minerales presentes en el almidón y corresponde a un 1,01%.

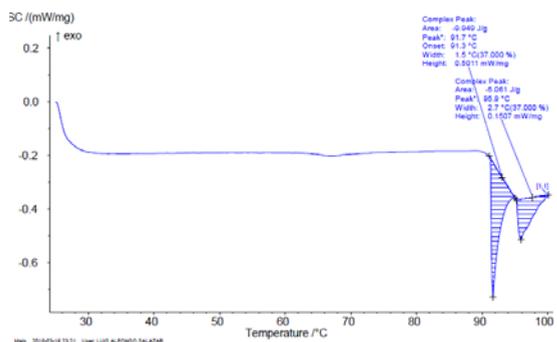
Los resultados TGA indican que el almidón de plátano es térmicamente estable a temperaturas inferiores a 200°C donde inicia el proceso de degradación térmica.



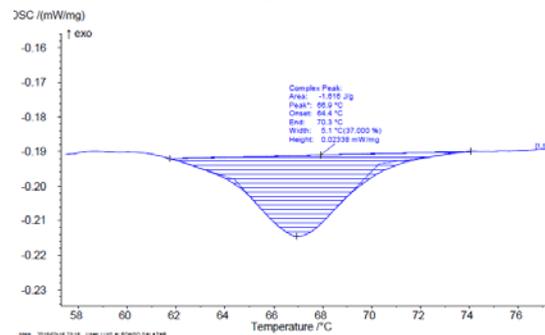
Variedad Guayabo, subgrupo Plantain, composición genética AAB.



Variedad Gross Michael Enano, subgrupo Bananos de Postre, composición genética AAA



Variedad Cachaco, subgrupo Híbridos de Cocción, composición genética ABB



Variedad Benedetta, subgrupo Bananos de Cocción, composición genética ABB

Figura 1. Termograma DSC de los almidones de plátanos representativos por subgrupo.

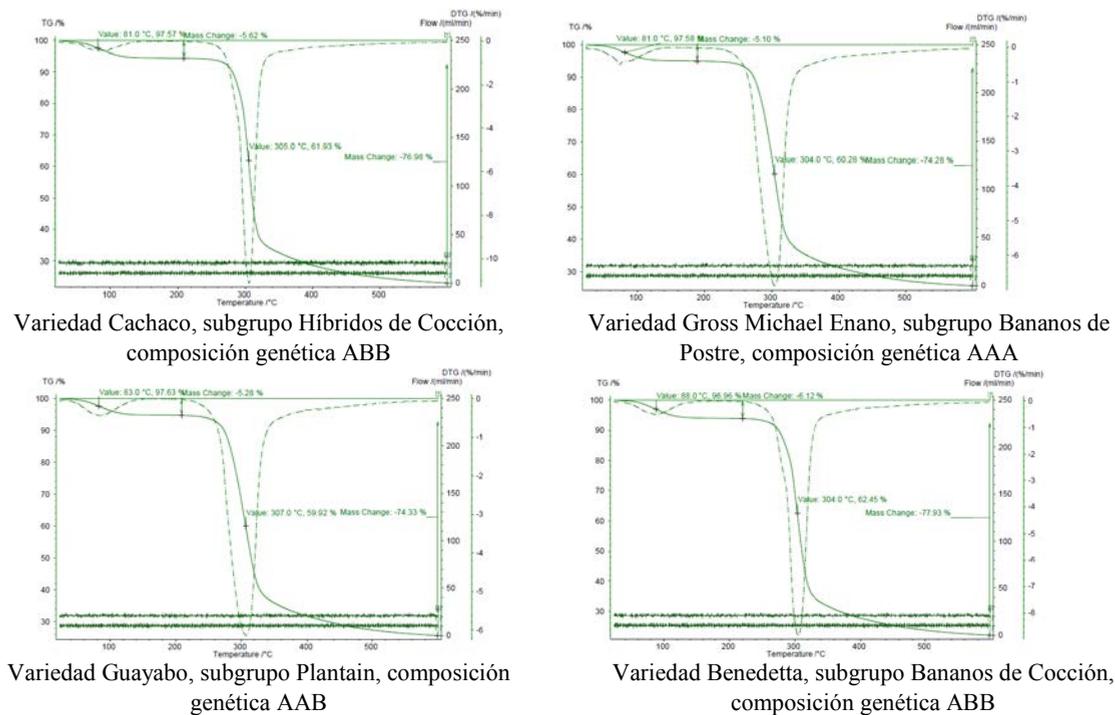


Figura 2. TGA de los Almidones de plátano representativos por subgrupo

DISCUSIÓN

La humedad promedio de los almidones evaluados es similar al contenido de humedad reportado por Olayide *et al.* (5), para almidón de plátano nativo, evidenciándose similitudes con otras fuentes de almidón como yuca, papa (8,50%) y ñame que varía entre 8,66% y 10,22% (6). En cuanto a la proteína promedio se presentó un valor mayor que el obtenido por Bello *et al.* (7) (2,03%), por Rivas *et al.* (8) (0,8%) y por García *et al.*, (9) (1,06%) para almidón de plátano. El valor de la grasa promedio de los almidones fue similar al obtenido por Bello *et al.* (7), con el 2,46% y mayor al obtenido por García *et al.*, (9), con 0,35%, en almidón de plátano. Se obtuvo un mayor valor en fibra promedio a lo reportado por Alvis *et al.* (6), para almidones de papa (0,05%) y yuca que varía entre 0,04 y 0,05%. La ceniza promedio se encuentra por debajo que el reportado (3,8%) por Egbebi y Bademosi. (10).

El almidón de plátano gelatiniza en un rango de temperatura similar a los almidones procedentes de cereales como el trigo entre 58-64°C (11), aunque la temperatura de gelatinización de almidón de plátano en el presente estudio, estuvo por debajo de lo reportado por Dufour *et al.* (12) (67,7°C ± 2,2) para el plátano dominico hartón, también se presenta diferencias con respecto a la temperatura

de gelatinización de almidón de maíz normal y plátano reportado por Espinosa. (13). El principal cambio que ocurre en el proceso de gelatinización es el cambio de una forma semicristalina, a una forma eventualmente amorfa (14) cuando el almidón es hidratado y calentado, se observan cambios químicos, de textura y estructurales los cuales influyen considerablemente en la calidad del producto final. En el Termograma se pueden evidenciar tres zonas en donde hay una evidente pérdida de masa, en la zona 1 la pérdida de masa se debe a la pérdida de humedad, en la zona 2 la pérdida se debe a la descomposición de componentes de bajo peso molecular, carbohidratos y a la cantidad total de almidón presente en la muestra (15) y por último la pérdida en la zona 3 es debido a descomposición de polisacáridos de alto peso molecular como proteínas y lípidos.

CONCLUSIONES

Los almidones de las musáceas estudiadas, presentan una ventaja comparativa con respecto a otras fuentes convencionales, resaltando los contenidos de proteína, grasa y minerales registrados en el presente estudio, que son aceptables para desarrollar productos con un buen aporte nutricional. La evaluación térmica de los almidones, presentaron

un comportamiento atractivo para la reducción de costos energéticos en diferentes procesos agroindustriales, por tener un comportamiento similar al de almidones convencionales como los de maíz, yuca y papa.

REFERENCIAS

- Gil A. Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos. Tomo II 2ª Edición. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana. 2010.
- Dzomeku BM, Osei-Owusu M, Ankomah AA, Akycampong E, Darkey SK. Sensory evaluation of some cooking bananas in Ghana. *Journal of Applied Sciences (PAK)*, 2006; 6(4): 835-837.
- Araujo de Vizcarrondo C, Rincón A, Padilla F. Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera* L. 2004; *Archivos Latinoamericanos de Nutrición versión impresa* ISSN 0004-0622.
- Pineda-Gómez P, Coral DF, Ramos-Rivera D, Rosales-Rivera A, Rodríguez-García ME. Thermo-alkaline treatment. A process that changes the thermal properties of corn starch. *Procedia Food Science*. 2011; 1: 370-378.
- Olayide SL, Olusegun OO, Awokoya K, Ogunkunle AO. The low-substituted propylene oxide etherified plantain (*Musaparadisica normalis*) starch: Characterization and functional parameters. *Carbohydrate Polymers*: 2002; 74(3): 717-724.
- Alvis A, Vélez A, Villada H, Rada M. Análisis fisicoquímico, morfológico de almidones de Ñame, Yuca y Papa y determinación de la viscosidad de las pastas. *Información Tecnológica*. 2008; 19(1): 19-28.
- Bello-Pérez LA, Panó de León Y, Agama-Acevedo E, Paredes-López O. Isolation and partial characterization of amaranth and banana starches. *Starch/Stärke*. 1998; 50: 409-413.
- Rivas-González M, Méndez-Montealvo M, Sánchez-Rivera M, Núñez-Santiago MC, Bello-Pérez LA. Caracterización Morfológica, Molecular y Físicoquímica Del. *Redalyc. Sistema de Información Científica. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*: 2008; 487-497.
- García-Tejeda YV, Zamudio-Flores PB, Bello-Pérez LA, Romero-Bastida CA, Solorza-Feria J. Oxidación del Almidón Nativo de Plátano para su uso Potencial en la Fabricación de Materiales de Empaque Biodegradables: Caracterización Física, Química, Térmica y Morfológica. *Revista Iberoamericana de Polímeros*: 2011; 12 (3): 125-135.
- Egbebi A, Bademosi T. Chemical compositions of ripe and unripe banana and plantain. *Int. J. Trop. Med. Public Heal*: 2011; 1: 1-5.
- Taggar, P. Starch as an ingredient: manufacture and applications. In: Eliasson, A – C. *Starch in Food. Structure, function and applications*. CRC. Boca raton. NY. USA. Cambridge, UK: Woodhead publishing, 2004; 363-392.
- Dufour D, Gibert O, Giraldo A, Sánchez T, Reynes M, Pain JP, González A, Fernández A, Díaz A. Differentiation between cooking bananas and dessert bananas. 2. Thermal and functional characterization of cultivated Colombian Musaceae (*Musa* sp.). *J. Agric. Food Chem*. 2008; 57(17): 7870-7876.
- Espinosa, V. Estudios estructurales de almidón de fuentes no convencionales: Mango (*Manguifera Indica* L), Plátano (*Musa Paradisiaca* L) (Tesis). Instituto Politécnico Nacional. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. Yuatepec, Morelos. 2008; 85.
- Tester RF, Morrison WR. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal Chem*: 1999; 67(6): 551-557.
- Alfaro Y, Segovia V, Mireles M, Monasterios P, Alejos G, Pérez M. El maíz amarillo para molienda húmeda. *Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela. CENIAP. No. 6. Septiembre – Diciembre de 2004.*

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA TEXTURA EN 30 VARIEDADES DE MUSÁCEAS DURANTE EL PROCESO DE COCCIÓN EN AGUA Y VAPOR

PERFORMANCE EVALUATION OF TEXTURE IN 30 VARIETIES OF MUSA DURING THE COOKING PROCESS WATER AND STEAM

HENAO OSSA Johan Sebastián¹, VELÁSQUEZ-HERRERA JD¹, LUCAS AGUIRRE Juan Carlos².

RESUMEN

Antecedentes: Los bananos de cocción en su mayoría son cocinados para su consumo en diferentes etapas de madurez, mientras que los bananos de postre se comen crudos en plena fase de madurez. Las Musáceas se consumen en diversas formas y los consumidores suelen preferir una variedad sobre las otras, dependiendo el modo de cocción y del patrón de consumo (1), o en relación a su composición (2). Siendo la textura el primer criterio para la evaluación sensorial de calidad por los consumidores (3). **Objetivos:** El objetivo principal de este trabajo es evaluar los cambios de textura durante el proceso de cocción en agua a presión atmosférica a tres temperaturas y con vapor de agua como una alternativa de procesamiento y desarrollo de las variedades estudiadas. **Metodología:** Se seleccionaron 30 variedades de musáceas de la Colección Colombiana de Musáceas ubicada en la Hacienda Las Vegas denominada Centro para la Excelencia del Plátano y Musáceas Afines (Chinchiná Caldas-Colombia), las cuales se sometieron a cocción en agua a presión atmosférica a tres temperaturas (76°C, 86°C y 94°C) y a cocción en vapor de agua a presión manométrica de 10 psi evaluando el comportamiento en el cambio de la textura mediante las variables constante k (velocidad de cambio de firmeza) y la firmeza relativa en equilibrio. **Resultados:** Los plátanos de cocción presentaron valores de la constante k y de firmeza relativa en equilibrio más altos que los grupos genéticos considerados bananos de postre y de cocción debido al fenómeno de gelatinización del almidón presente en sus tejidos, a la pérdida de capacidad de adhesión celular

de los materiales que constituyen como sustancias pépticas, hemicelulosa y lignina. **Conclusiones:** Se puede concluir que el mejor grupo genético de las musáceas evaluadas para los procesos de cocción, presentando un valor de cinética de reacción K, alto y sin perder significativamente la firmeza relativa en equilibrio es ABB, estos es debido a que este grupo genético son plátanos de cocción y sus propiedades fisicoquímicas son idóneas para ser sometidos a estos procesos térmicos.

Palabras clave: Plátano, agua, cocción, textura.

ABSTRACT

Background: Cooking bananas are mostly cooked for consumption at different stages of maturity, while dessert bananas are eaten raw in full maturity phase. Musa is eaten in various forms and consumers often prefer one variety over another, depending on the cooking mode and consumption pattern (1), or in relation to its composition (2). Texture being the first criterion for sensory evaluation of quality by consumers (3). **Objectives:** The main objective of this study was to evaluate changes in texture during the cooking process in water at atmospheric pressure at three temperatures and with steam as an alternative processing and development of the varieties studied. **Methods:** 30 varieties of the Colombian Musa Musa Selecting located in Hacienda Las Vegas called the Center for Excellence Musa Banana and Allied Workers (Chinchiná Caldas-Colombia), which were submitted to cooking in water at atmospheric pressure three were selected temperatures (76°C, 86°C and 94°C) and cooking in steam at 10 psi gauge pressure of evaluating behavior

¹ Ingeniero de Alimentos. Universidad del Quindío. Armenia, Quindío. Colombia.

² Ingeniero Agroindustrial. Candidato a Doctor en Ciencias Agrarias Universidad Nacional sede Medellín. Profesor Asistente. Programa de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ciencias Agroindustriales Universidad del Quindío. Armenia, Quindío. Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: jshenao@uqvirtual.edu.co

change of texture by varying the constant k (rate of change of firmness) and firmness relative equilibrium. **Results:** cooking bananas showed constant values k and higher strength relative balance dessert bananas and cooking genetic groups considered due to the phenomenon of gelatinization of the starch present in their tissues, loss of cell adhesion ability of the constituent materials as peptic substances, hemicellulose and lignin. **Conclusions:** We conclude that the best genetic group of *Musa* evaluated for cooking processes, with a value of reaction kinetics K , high and without significantly losing the relative firmness in balance is ABB, this is because this genetic group. They are cooking bananas and their physicochemical properties are suitable for undergoing these thermal processes.

Keywords: *Musa*, water, cooking, texture.

INTRODUCCIÓN

La cocción por inmersión es un proceso de cocción húmeda, en el que la temperatura máxima del agua es 100°C a 1 atmósfera de presión, o la correspondiente en otras condiciones de presión. En el proceso de cocción por inmersión se favorece la hidratación y gelatinización del almidón, la desnaturalización de enzimas de pardeamiento, pero hay solubilización parcial de los minerales y deterioro de algunas vitaminas, dependiendo principalmente del tamaño de alimento y del tiempo. En este caso el alimento se encuentra inmerso en el agua durante la cocción y facilita la migración de nutrientes solubles hacia el agua de cocción que normalmente se elimina (2-4). La mayoría de los estudios sobre características de textura del plátano en la literatura se centran en la influencia del estado de madurez (5-6-7). Hay muy poca información disponible sobre los cambios en textura en la cocción tanto en plátanos verdes y maduros (8-1-3). Con este trabajo se pretende investigar el comportamiento durante el proceso de cocción a presión atmosférica en agua a tres temperaturas y a cocción en vapor de agua de 30 variedades de Musáceas (Tabla 1) del Centro para la Excelencia del Plátano y Musáceas Afines (Chinchiná-Caldas, Colombia) a través de los cambios de textura durante el proceso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección del material: Para la selección de los racimos se tuvo en cuenta la procedencia del cultivo, los cultivos y plantas que estén en plena cosecha,

las variedades y el estado fitosanitario del cultivo o planta. Una vez identificados los racimos de musáceas (Tabla 1), se cosecharon, se transportaron a la planta piloto de procesamiento de alimentos de la Universidad del Quindío y se almacenó el racimo a 13°C y 90%HR. Las variedades de musáceas seleccionadas para la cocción, se limpiaron, se pelaron manualmente con un cuchillo y luego se trocearon en forma cilíndrica con longitud aproximada de 4,5 cm.

Se consideraron dos tratamientos de cocción: En agua a tres temperaturas a presión atmosférica (76°C, 86°C y 94°C) y en vapor a presión de 10 psi; planteando un diseño por bloques completamente aleatorizado, en donde: Bloque I: Variedad 1; Bloque II: Variedad 2; Variedad N.

El tiempo total de las observaciones en ambos procesos de cocción fue de 120 minutos, tomando datos de textura a los tiempos 0, 10, 20, 30, 60, 90 y 120 minutos por triplicado cada intervalo. El protocolo de experimentación se basó en ensayos previos de Álvarez, *et al.* (9), en donde se procesaron frutos sin cáscara y se dividieron en trozos en forma cilíndrica con longitud aproximada de 4,5 cm con una relación másica agua/plátano de 6:1.

Para la evaluación de la firmeza, establecida como el trabajo de penetración ejercido por el dispositivo de deformación del texturómetro, se efectuó en los trozos crudos y cocidos a diferentes tiempos. Se empleó el equipo EZ-Test (Shimadzu) y como metodología, se aplicó test de punción desarrollado en pruebas preliminares (9), así:

- Empleo de muestras cilíndricas retiradas del agua de cocción o del vapor y se punzaron en un tiempo de 5 a 7 minutos después de extraídas, para evitar el endurecimiento por enfriamiento.
- Utilización de dispositivo de punción en forma cónica (40°).
- Los parámetros de la prueba considerarán una velocidad inicial de desplazamiento del dispositivo de punción de 2 mm/s hasta el contacto con la muestra, velocidad de penetración de 0.5mm/s, y velocidad de remoción del dispositivo de 10 mm/s.
- Ubicación de la muestra cilíndrica sobre la plataforma del EZ-Test, en forma vertical, con el vértice del cono dirigido hacia el centro del trozo. Se realizarán las medidas en ambos lados del cilindro.

La cinética de modificación de la firmeza se basa en la consideración que durante el proceso de cocción se presenta en los frutos un ablandamiento y éste puede ser establecido como una variación del atributo, cuyo comportamiento sigue un mecanismo de primer orden, de acuerdo a:

$$\ln (T_x/T_{x0}) = -k.t$$

Dónde:

- T_{x0} , valor de la firmeza en el tiempo 0.
- T_x , lectura de la firmeza después del tiempo t.
- k, constante de velocidad para la reacción de primer orden.

Puede usarse una relación de tipo Arrhenius para cuantificar la correlación en la velocidad de desarrollo de la textura en las muestras bajo estudio a una temperatura:

$$K_T = A \exp \left(\frac{-B}{T} \right)$$

Dónde:

- K_T , constante de velocidad dependiente de la temperatura T(K).
- A, constante pre-exponencial.
- B, constante (10).

Tabla 1. Clasificación taxonómica del material trabajado.

Variedad	Genotipo	Clasificación genética	Sub-grupo	Tipo
Itgitsiri	AAAea	Triploide	Lujugira	Banano de cocción
Guineo Enano	AAAea	Triploide	Lujugira	Banano de cocción, no plantain
Tu-gia	AA	Diploide	Sucrier	Banano de postre
Banano Valery	AAA	Triploide	Cavendish	Banano de postre
Mysore	AAB	Triploide	Mysore	Banano de postre
Pratta 1	AAB	Triploide	Silk	Plátano de postre
Pisang Lilin	AA	Diploide	Sucrier	Banano de postre
Bocadillo del Quindío	AA	Diploide	Sucrier	Banano de postre
SH 3640	AAAB	Tetraploide	Indefinido	Banano de Cocción
Benedetta	AAB	Triploide	Saba	Indefinido
Banano Llanero	AAA	Triploide	Cavendish	Banano postre
Dominico Blanco	AAB	Triploide	Plantain - Dominico	Plátano cocción
French Sombre	AAB	Triploide	Plantain	Plátano cocción
Tafetan Verde	AAA	Triploide	Red	Banano de postre
Giant Cavendish	AAA	Triploide	Cavendish	Banano de postre
Gros Michel Cocos	AAA	Triploide	Gros Michel	Banano de postre
Gros Michel la Miel	AAA	Triploide	Gros Michel	Banano de postre
Cubano Negro	AAB	Triploide	Plantain – clase cuerno	Plátano cocción/ fritura
Dominico Caoba	AAB	Triploide	Plantain	Alimentación animal
Pisang Mas	AA	Diploide	Sucrier	Banano de postre
Pratta PA 0322	AAB	Triploide	Silk	Plátano postre
Dominico Hartón Enano	AAB	Triploide	Plantain	Cocción/ fritura
Hartón Enano	AAB	Triploide	Plantain	Cocción / fritura
Guineo Común	AAAae	Triploide	Lujugira	Banano cocción
Banano Bocadillo	AA	Diploide	Sucrier	Banano postre
Gros Michel	AAA	Triploide	Gros Michel	Banano postre
Cachaco	ABB	Triploide	Bluggoe	Plátano de cocción
Guayabo	AAB	triploide	Red	Banana postre
Guayabo	AAB	Triploide	Mahia-maoli	Fritura, Asado, dulces
África 1	AAB	Triploide	Mbouroukou	Fritura y plátano de cocción
Banano Indio	AAA	Triploide	Cavendish	Banano de postre

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el presente trabajo (ver tabla 2) demuestran que a medida que aumenta la temperatura de cocción para cada método, la constante k se incrementa y la firmeza relativa en equilibrio disminuye, con una notoria reducción en los grupos AAA, AA, AAAea, los cuales son considerados genéticamente bananos, especialmente a

partir de temperaturas de 96°C y al vapor, con una notable incidencia de la temperatura de cocción.

Mientras los considerados plátanos de cocción (grupos genéticos AAB, ABB), presentaron valores de la constante k y de firmeza relativa en equilibrio más altos que los grupos genéticos considerados bananos de postre y de cocción (AA, AAA, AAAea, AAAB), pero con el mismo comportamiento en las variables medidas (ver tabla 2.)

Tabla 2. Valores de la constante de velocidad de cambio de la firmeza y firmeza relativa de equilibrio (FRE) en cuatro tratamientos de cocción de los diferentes grupos genéticos de Musáceas evaluados.

Método de cocción	Grupo genético AAA		Grupo genético AAB		Grupo genético AA		Grupo genético AAAea		Grupo genético ABB		Grupo genético AAAB	
	$k \text{ min}^{-1}$	FRE										
En agua 76°C	0.235 ± 0.070	0.186 ± 0.015	0.293 ± 0.029	0.267 ± 0.041	0.265 ± 0.028	0.191 ± 0.005	0.276 ± 0.037	0.187 ± 0.023	0.286 ± 0.017	0.312 ± 0.061	0.277 ± 0.019	0.267 ± 0.031
En agua 86°C	0.312 ± 0.061	0.198 ± 0.031	0.398 ± 0.039	0.197 ± 0.070	0.301 ± 0.091	0.199 ± 0.019	0.332 ± 0.043	0.199 ± 0.011	0.367 ± 0.021	0.249 ± 0.020	0.353 ± 0.029	0.201 ± 0.020
En agua 96°C	0.356 ± 0.075	0.103 ± 0.011	0.413 ± 0.060	0.186 ± 0.061	0.321 ± 0.047	0.126 ± 0.019	0.359 ± 0.035	0.100 ± 0.020	0.325 ± 0.032	0.131 ± 0.028	0.361 ± 0.038	0.121 ± 0.019
Vapor 110°C	0.378 ± 0.038	0.088 ± 0.009	0.435 ± 0.053	0.127 ± 0.009	0.386 ± 0.078	0.075 ± 0.006	0.383 ± 0.036	0.082 ± 0.006	0.381 ± 0.041	0.002 ± 0.013	0.374 ± 0.033	0.097 ± 0.006

DISCUSIÓN

El comportamiento de las variables constante k y de firmeza relativa en equilibrio, coincide con lo reportado por Álvarez y Fernández, (9), quienes trabajaron con las variedades Guayabo y Hartón pertenecientes al grupo genético (AAB), donde se observa que para cada clon así sea del mismo grupo genético, se afecta en forma diferente el cambio en firmeza de los plátanos Hartón y Guayabo, lo que se explica en parte por el fenómeno de gelatinización del almidón presente en sus tejidos, a la pérdida de capacidad de adhesión celular de los materiales que constituyen la lamela media como sustancias pépticas, hemicelulosa y lignina.

Los valores más altos de firmeza relativa para el grupo genético AAB, podrían estar dados por aspectos propios de su composición, al contener una mayor proporción de pectinas de bajo metoxilo, por lo que bajo estas condiciones pueden establecer uniones iónicas con otras moléculas de pectina mediante el Ca^{2+} , generando una red con mayor resistencia a la deformación (9).

Este comportamiento coincide con lo reportado por Qi *et al.* (3), donde analizaron el efecto la temperatura y el tiempo de cocción sobre la textura y los componentes del citoplasma y la pared celular;

donde observaron que la firmeza de los tejidos en la pulpa tanto en plátano como en banano, decrece rápidamente durante los primeros 10 minutos de cocción en agua, a una temperatura por encima de 70°C, aunque la firmeza del plátano es más alta que la del banano. Dicho comportamiento se debe a la solubilización de la pectina y la disolución de la membrana media y separación de la pared celular.

CONCLUSIONES

Se puede concluir que el grupo genético AAB presento el mayor valor en la constantes de reacción k en los diferentes tratamiento térmicos, por lo tanto el gasto energético de reacción para este grupo es menor que las demás. Los resultados indican que el grupo ABB presento un mayor valor de firmeza relativa en equilibrio, lo que indica que sus propiedades texturales no se ven altamente afectada al ser sometida a cocción. El mejor grupo genético de las musáceas evaluadas para los procesos de cocción, presentando un valor de cinética de reacción K , alto y sin perder significativamente la firmeza relativa en equilibrio es ABB, estos es debido a que este grupo genético son plátanos de cocción y sus propiedades fisicoquímicas son idóneas para ser sometidos a estos procesos térmicos.

REFERENCIAS

1. Ngalani JA, Tchango J. Cooking qualities and physicochemical changes during ripening in some banana and plantain hybrids and cultivars. *Acta Horticulturae*: 1997; 490: 571-576.
2. Gibert O, Dufour D, Giraldo A, Sánchez T, Reynes M, Pain JP, González A, Fernández A, Díaz A. Differentiation between cooking bananas and dessert bananas. 3. Morphological and compositional characterization of cultivated Colombian Musaceae (*Musa* sp.) in relation to consumer preferences. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*: 2010; 57(17): 7857-7869.
3. Qi B, Moore KG, Orchard J. Effect of cooking on banana and plantain texture. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*: 2000; 48(9): 4221-4226.
4. Gibert O, Pain JP. Estimation of the activation energy by DMTA: an original approach for considering biological heterogeneity. In: Tenth International Congress on Engineering and Food. Viña del Mar, Chile. 2009.
5. Bugaud C, Chillet M, Beauté MP, Dubois C. Physicochemical analysis of mountain bananas from the French West Indies. *Scientia Horticulturae*: 2006; 108: 167-172.
6. Chauhan OP, Raju PS, Dasgupta DK, Bawa AS. Instrumental textural changes in banana (var. pachbale) during ripening under active and passive modified atmosphere. *International Journal of Food Properties*: 2006; 9(2): 237-253.
7. Kojima K, Sakurai N, Kuraiishi S, Yamamoto R, Inaba A. Physical measurement of firmness of banana fruit pulp: determination of optimum conditions for measurement. *Postharvest Biology and Technology*: 1992; 2(1): 41-49.
8. Eggleston G, Asiedu R. Effects of boiling on the texture of cassava clones: a comparison of compressive strength, intercellular adhesion and physicochemical composition of the tuberous roots. *Tropical Science*: 1994; 34: 259- 273.
9. Álvarez CI, Fernández QA. Efecto del Proceso de Cocción Sobre la Firmeza de Plátanos Hartón y Guayabo. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*: 2014; 67(2): 112-114.
10. Nisha P, Rekha S, Singhal, Aniruddha B.P. Kinetic modelling of texture development in potato cubes (*Solanum tuberosum* L.), green gram whole (*Vigna radiate* L.) and red gram splits (*Cajanus cajan* L.). *Journal of Food Engineering*. 2006;76(4): 524-530.

COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD EN EL PROCESO DE FRITURA DE 8 VARIEDADES DIFERENTES DE MUSÁCEAS DEL GENOTIPO AAA

PERFORMANCE PARAMETERS OF QUALITY IN THE PROCESS OF FRYING IN EIGHT VARIETIES DIFFERENT OF MUSA OF GENOTYPE AAA

*HENAO OSSA JS¹, VELÁSQUEZ HERRERA JD¹, LUCAS AGUIRRE JC².

RESUMEN

Antecedentes: El mercado del banano es esencialmente para consumo en fresco, ya que tiene una corta vida de anaquel por su alto contenido de agua y cambios fisicoquímicos que causan deterioro. Sus propiedades organolépticas y su valor nutricional, representan una materia prima interesante para ser procesada, buscando de esta forma disminuir las causas de deterioro y corta vida útil, ofreciendo otras formas de consumo y diversificación de productos (1). **Objetivos:** Determinar y evaluar los parámetros de calidad en el proceso de fritura por inmersión a presión atmosférica de las 8 variedades de musáceas estudiadas e identificar su potencial para dicho proceso. **Métodos:** Se seleccionaron 8 variedades de musáceas del genotipo AAA de la Colección Colombiana de Musáceas ubicada en la Hacienda Las Vegas denominada Centro para la Excelencia del Plátano y Musáceas Afines (Chinchiná Caldas-Colombia), las cuales se sometieron a fritura por inmersión a presión atmosférica, evaluando el comportamiento en las variables de respuesta (%Humedad, %Grasa, textura y color) en los chips. **Resultados:** Se encontró que las variedades que mejor comportamiento presentaron frente al porcentaje de humedad fueron el Gros Michel Cocos y Banano Indio con $2,07 \pm 0,07$ y $1,41 \pm 0,10$ respectivamente, para el porcentaje de grasa fueron las variedades Banano Valery y Tafetán Verde con $11,86 \pm 1,13$ y $12,67 \pm 1,44$ respectivamente, para textura la variedad que mejor comportamiento fueron las variedades Gros Michel y Banano Valery con $4,24 \pm 0,66$ y $3,39 \pm 0,38$ respectivamente, y para el

cambio de color (ΔE) frente al valor referencia las variedades Giant Cavendish ($5,79 \pm 0,01$) y Banano Llanero ($10,55 \pm 0,01$) presentaron las similitudes más cercanas. **Conclusiones:** Se requieren de estudios interactuando otros factores del proceso (pretratamiento, tiempos y temperaturas de frituras, estados de madurez, agitación entre otros) y de los cultivares para definir de una manera más concreta las variedades con potencial en la industria de la fritura.

Palabras clave: Textura, color, plátano, humedad, grasa.

ABSTRACT

Background: The banana market is essentially for fresh consumption, as it has a short shelf life due to its high water content and physicochemical changes that cause impairment. Organoleptic properties and nutritional value, represent an interesting raw material to be processed, thus seeking to reduce the causes of deterioration and short lifespan, offering other forms of consumption and diversification of products (1). **Objectives:** To determine and evaluate quality parameters in the deep-frying process at atmospheric pressure of 8 varieties of Musa studied and identify potential for that process. **Methods:** 8 varieties of Musa AAA genotype of the Colombian Musa collection located in Hacienda Las Vegas called the Center for Excellence Musa Banana and Allied Workers (Chinchiná Caldas-Colombia) were selected, which underwent deep frying pressure atmospheric evaluating the behavior in response variables (% Moisture,% Fat, texture and color)

¹ Ingeniero de Alimentos. Universidad del Quindío. Armenia, Quindío. Colombia.

² Ingeniero Agroindustrial. Candidato a Doctor en Ciencias Agrarias Universidad Nacional Sede Medellín. Profesor Asistente. Programa de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ciencias Agroindustriales Universidad del Quindío. Armenia, Quindío. Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: jshenao@uniquindio.edu.co

in the chips. **Results:** It was found that the best performing varieties presented against humidity were the Gros Michel and Cocos banana Indian with 2.07 ± 0.07 and 1.41 ± 0.10 respectively for fat percentage were Valery banana varieties and Taffeta Green with 11.86 ± 1.13 and 12.67 ± 1.44 respectively for texture variety were the best performing varieties Gros Michel and Valery Bananas with 4.24 ± 0.66 and 3.39 ± 0.38 respectively, and the color change (DELTA.E) against the reference value Giant Cavendish varieties (5.79 ± 0.01) and Banana Ranger (10.55 ± 0.01) had the closest similarities. **Conclusions:** Studies are required interacting factors of the process (pretreatment times and frying temperatures, maturity stages, agitation among others) and cultivars to define more specifically the varieties with potential industry frying.

Keywords: Texture, color, musa, humidity, fat.

INTRODUCCIÓN

La fritura por inmersión es una operación unitaria correspondiente a un complejo proceso de deshidratación en el cual ocurren interacciones simultáneas de transferencia de calor y de masa. El propósito de freír alimentos es otorgarles carac-

terísticas especiales de textura, color y gusto (2). En Colombia se cultivan más de 30 cultivares de plátano, con una producción aproximada de 3,3 millones de toneladas/año que significa el 9% de la producción mundial (3). Con este trabajo se pretende investigar el comportamiento durante el proceso de fritura de 12 variedades de Musas (Tabla 1) del Centro para la Excelencia del Plátano y Musáceas Afines (Chinchiná–Caldas, Colombia), que generará el conocimiento de las variedades propicias para dicho proceso de transformación según parámetros establecidos por la industria.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se evaluó el comportamiento de 8 tipos de material genético de musáceas AAA (Tabla 1) en el proceso de fritura por inmersión a presión atmosférica, de la Colección Colombiana de Musáceas ubicada en la Hacienda Las Vegas denominada Centro para la Excelencia del Plátano y Musáceas Afines, municipio de Chinchiná Caldas (1360 m.s.n.m., $4^{\circ} 58' N$ y $75^{\circ} 20' O$), Colombia, ccccon el propósito de poder conocer su comportamiento sobre cuatro variables de respuesta (%Humedad, %Grasa, textura y color).

Tabla 1. Clasificación taxonómica del material trabajado.

Variedad	Genotipo	Clasificación Genética	Sub-grupo	Tipo
Banano Valery	AAA	Triploide	Cavendish	Banano de postre
Banano Llanero	AAA	Triploide	Cavendish	Banano de postre
Tafetán Verde	AAA	Triploide	Red	Banano de postre
Giant Cavendish	AAA	Triploide	Cavendish	Banano de postre
Gros Michel Cocos	AAA	Triploide	Gros Michel	Banano de postre
Gros Michel la Miel	AAA	Triploide	Gros Michel	Banano de postre
Gros Michel	AAA	Triploide	Gros Michel	Banano de postre
Banano Indio	AAA	Triploide	Cavendish	Banano de postre

Selección del material

Para la selección de los racimos se tuvo en cuenta la procedencia del cultivo, los cultivos y plantas que estuvieran en plena cosecha, las variedades y el estado fitosanitario del cultivo o planta. Una vez identificados los racimos de musáceas (Tabla 1), se cosecharon, se transportaron a la planta piloto de

procesamiento de alimentos de la Universidad del Quindío y se almacenó el racimo a $13^{\circ}C$ y 90%HR. Las variedades de musáceas seleccionadas para la fritura, se limpiaron, se pelaron manualmente con un cuchillo, se caracterizarán y luego empleando una cortadora mecánica marca OMEGA F250E se obtendrán rebanadas con forma y espesor uniforme de 2,5 mm.

Condiciones de Fritura

El aceite de trabajo utilizado fue aceite de palma, cuyo uso fue máximo de 10 horas a la presión atmosférica de la ciudad de Armenia, Quindío Colombia. La relación másica a trabajar fue de 1/60 garantizando la mayor capacidad de la freidora (2,5 litros). La temperatura de trabajo fue de 180°C durante 2.5 minutos en una freidora con capacidad máxima de 2.5 litros de aceite marca (Trisa) modelo (XJ-3K043), que posee un sistema de captura de datos: datalogger thermometer marca (Omega) referencia (HH 309/309A) con cuatro termocuplas tipo k, conectadas a un sistema de adquisición de datos y este a su vez a un computador el cual posee un software (SE 309) diseñado para llevar el control y registro de las temperaturas de proceso. Los chips se colocaron en papel absorbente para ayudar a secar el exceso de aceite.

Caracterización de la materia prima

La determinación del contenido de humedad y materia seca se efectuó siguiendo el método oficial AOAC 925.10, AOAC, (4). La longitud se realizó con una cinta métrica (precisión $\pm 0,1\text{mm}$), a cada uno de los dedos de plátano sin cáscara y se realizó a la sección transversal externa debido a la curvatura que presenta el plátano. Se calculó el diámetro intermedio por el método de perímetro de un círculo con cinta métrica.

Caracterización del producto frito

La determinación del contenido de humedad del producto final se realizó siguiendo el método descrito en la caracterización de la materia prima. Para la determinación del contenido de extracto etéreo se siguió el método oficial 30-25, AACC, (5), en un determinador de grasas marca J. P. Selecta de 6 plazas 400842. La textura se realizó en un analizador de textura TA.XT plus texture analyser, con un soporte móvil con apoyo en dos puntos y un punzón cilíndrico con base plana con un diámetro de 3 mm (pinza volodkevich) en newtons. Para la medición del color se utilizó el sistema CIELab en el cual se miden los valores L^*a^*b para expresar la diferencia de color entre muestras. Para la determinación del color de las muestra se utilizara un espectrocolorímetro HUNTER Lab Colorquest XE. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar y se aplicaron pruebas de Tukey y comparación de medias (t-Student, ANOVA) para determinar las diferencias entre las variables de respuesta (Humedad (%), grasa (%), textura y calorimetría (ΔE)).

RESULTADOS

Caracterización de la materia prima

Contenido de humedad materia prima: En cuanto a dicho parámetro se destacó la variedad Gros Michel con un valor del 57,64%, mientras las variedades restantes presentaron valores por encima de los requerimientos de la industria con el 68 a 75% (ver tabla 2).

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica de las variedades estudiadas.

Variedad	Longitud pulpa (cm)	Diámetro pulpa (cm)	% Humedad Pulpa	% Materia Seca
Banano Valery	16,92 \pm 1,28	2,83 \pm 0,11	68.1 \pm 0.60	31,90 \pm 0,60
Banano Llanero	21,39 \pm 0,45	3,10 \pm 0,09	69.26 \pm 1.31	30,74 \pm 1,31
Tafetán Verde	12,18 \pm 0,81	2,67 \pm 0,12	68.88 \pm 1.02	31,12 \pm 1,02
Giant Cavendish	23,84 \pm 1,35	3,55 \pm 0,12	75.23 \pm 1.19	24,77 \pm 1,19
Gros Michel Cocos	20,93 \pm 0,82	3,24 \pm 0,08	73.94 \pm 1.28	26,06 \pm 1,28
Gros Michel La Miel	21,70 \pm 1,00	3,15 \pm 0,12	68.02 \pm 0.53	31,98 \pm 0,53
Gros Michel	23,43 \pm 1,56	3,55 \pm 0,07	57.64 \pm 2.71	42,36 \pm 2,71
Banano Indio	14,81 \pm 1,21	2,42 \pm 0,26	70.24 \pm 0.95	29,76 \pm 0,95

Caracterización de los chips

Los resultados arrojados durante el proceso de fritura por inmersión a presión atmosférica, se ob-

servan en la tabla 3; teniendo en cuenta los criterios de selección usados por la industria de fritura que son longitud pulpa (mínimo 14 cm) y diámetro medio de la pulpa de los dedos de plátano (mínimo

3.5 cm), encontrándose que en promedio de las 8 variedades analizadas solo la variedad Tafetán Verde no cumple con los anteriores requerimientos exigidos por la industria ni el Banano Valery, Banano Llanero, Gros Michel Cocos, Gros Michel la Miel

y Banano Indio en cuanto a diámetro ecuatorial, resaltando que el resto de variedades cumplen, y en especial, la variedades Giant Cavendish y Gros Michel que tienen longitudes mayores a 23 cm. y diámetros superiores a 3.5 cm (Tabla 2).

Tabla 3. Parámetros de calidad del material sometido a fritura.

Variedad	Chips fritos			
	% Humedad	% Grasa	Textura (N)	ΔE
Banano Valery	3,80±0,03	11,86±1,13	3,39±0,38	15,79±0,02
Banano Llanero	5,49±0,10	26,17±0,17	3,30±0,54	10,55±0,01
Tafetán Verde	3,55±0,08	12,67±1,44	3,21±0,89	16,72±0,01
Giant Cavendish	3,24±0,19	31,25±0,68	2,42±0,42	5,79±0,01
Gros Michel Cocos	2,70±0,07	14,21±1,37	2,44±0,33	9,72±0,02
Gros Michel La Miel	3,32±0,21	30,60±0,37	2,60±0,28	9,56±0,01
Gros Michel	4,35±0,12	28,82±0,79	4,24±0,66	9,19±0,02
Banano Indio	1,41±0,10	20,30±1,19	3,12±0,48	11,73±0,01

Contenido de humedad final

El más bajo valor lo presento la variedad Banano Indio con un valor de 1.41%, coincidiendo con un bajo contenido de humedad en crudo. Presentándose en promedio un porcentaje de humedad del 3.48% para dichas variedades (Ver tabla 2).

Contenido de grasa producto frito

En la tabla 2 se reportan los datos para cada una de las variedades, destacándose el Banano Valery, Tafetán Verde, Gros Michel Cocos y Banano Indio, Banano Llanero y Gros Michel a comparación del resto de variedades que se encuentran por encima.

Evaluación de la textura de los chips freídos

En la industria de los chips la medida de textura debe tener valores altos ya que esto repercute en la crocancia. Los chips analizados en las 8 variedades no tuvieron diferencias estadísticamente significativas (1.66-4.61%); dichas variedades estudiadas en el presente trabajo presentaron un valor de textura promedio de 3.09 N. Esto se presenta por la resistencia al corte por parte del chips con el texturómetro por ende a menor promedio de textura mayor crocancia tendrá el chip (ver tabla 3).

Evaluación del color en los chips freídos

La variedad tradicionalmente utilizada en la industria de los chips es el Dominico – hartón el

cual se utilizó como patrón para calcular el ΔE , que indica que tanto varia el color de los chips fritos de las demás variedades con respecto a este. Es así como se utilizó un producto comercial frito (Dominico – hartón), donde los valores de L^*a^*b fueron: 64.55, 7.41, 31.36, respectivamente, que sirvieron como referencia para la comparación. En la tabla 3, se observa el comportamiento en cuanto al cambio de color de cada una de las variedades resaltándose la variedad Giant Cavendish, fue el que tuvo menor cambio de color general con respecto al plátano testigo, con un ΔE de 5.79.

DISCUSIÓN

La industria de los productos fritos siempre busca materias primas con menor cantidad de agua para evitar la penetración de aceite en el producto (6); para lo cual tiene establecido un rango de humedad entre el 57 al 61%. El contenido de humedad final de un producto frito es un importante indicador de calidad, ya que de este dependen otros factores como textura, color y contenido de grasa y al mismo tiempo puede afectar la vida útil del producto, de acuerdo con lo anterior la industria requiere contenidos de humedad entre 0.5 - 1.1% para snacks. Dichos resultados obtenidos en el presente trabajo mostraron un muy buen comportamiento respecto con lo reportado por Gloria-Carmenza *et al.* (7) en donde se estudió la fritura en Banano Cavendish.

Destacando que la industria prefiere materias primas que absorban poca grasa durante el proceso de fritura. Varios estudios han mostrado que la mayor parte del aceite absorbido en los productos fritos se ubica en la región superficial del producto (8), y existe evidencia de que el aceite es absorbido en mayor proporción luego de la fritura y durante el período de enfriamiento para lo cual la industria maneja un rango entre el 22 – 28% de grasa para dicho tipo de productos (9). Coincidiendo lo anterior en la presente investigación, con lo reportado por Lemaire *et al.* (6), quienes plantearon que a mayores contenidos de agua en el producto crudo, mayor será la cantidad de aceite absorbida durante el proceso de fritura, lo que concuerda con las características presentadas por la variedad Gros Michel.

El comportamiento de la textura en los productos fritos se debe debido a que el almidón se gelatiniza y carameliza, ayudando en la formación de costra o corteza, lo que produce que el producto sea duro y haya una buena deshidratación (6).

Durante la fritura el color de los productos se ve afectado por las condiciones del proceso, en especial por el tiempo, la temperatura y el tipo de aceite, así como por las características del producto, tamaño y variedad. (10).

CONCLUSIONES

Las materias primas que posean un bajo contenido de humedad, alto porcentaje de materia seca y altos valores de longitud y diámetro pueden ser utilizadas en los procesos de fritura industrial. Los productos fritos con buenos criterios de aceptación deben de poseer contenidos de humedad y

grasa final bajos. Mencionado lo anterior las variedades Gros Michel y Banano Indio presentaron comportamiento regular frente a los parámetros expuestos, por lo cual se requieren estudios de dichas variedades teniendo en cuenta otros factores del proceso como pretratamientos, diferentes estados de madurez, fritura al vacío, profundidad en sus características fisicoquímicas entre otras que permitan establecer criterios con fundamento para industrializar dichas variedades.

REFERENCIAS

1. Giraldo G. Conservación de frutas por método combinado. Revista de Investigaciones Universidad del Quindío: 2004; 14: 121-129.
2. Mariscal M, and Bouchon P. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. Food Chemistry: 2008; 107(4): 1561-1569.
3. CEPAL/FAO/IICA. Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas. Resumen Ejecutivo. 2013. [Citado el 09 de Enero de 2016] Disponible en: <http://repiica.iica.int/docs/b3165e/b3165e.pdf>
4. AOAC. Official Methods of Analysis 18th Edition. Determinación de humedad AOAC 925.10. 2005.
5. AOAC. Official Methods of Analysis 18th Edition. Determinación de grasa AACC 30-25. 2005.
6. Lemaire H, *et al.* The suitability of plantain and cooking bananas for frying. *Fruits*. 1997; 52(4), 273-282.
7. Rodríguez GC, Zuluaga CL, Puerta LF, Ruiz LV. Evaluación de parámetros fisicoquímicos en el proceso de fritura de banano osmodeshidratado. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2013; 11(1): 123-129.
8. Pedreschi F, Aguilera JM, and Brown CA. Characterization of food surfaces using scale-sensitive fractal analysis. *Journal of Food Process Engineering*. 2007; 23(2): 127-134.
9. Castellanos GF, Ochoa MC, Vélez PC. Metodología de superficie de respuesta en la fritura por inmersión de rodajas de plátano. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*. 2014; 67 (2, Supl. II): 126-128.
10. Bravo J, Ruales J, Sanjuan N, y Clemente J. Innovaciones en el proceso de fritura. La fritura al vacío. *Alimentación Equipos y Tecnología*. 2006; 25(209): 87-94.

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE HIDROCAVITACIÓN EN LA CONSERVACIÓN DE PULPA DE LULO (*Solanum quitoense*)

ASSESSMENT OF HYDROCAVITATION PROCESS IN LULO (*Solanum quitoense*) PULP PRESERVATION

Daniel CARDONA, Ing Alimen.¹, Luis F. GUTIÉRREZ Ph.D.^{2*}, José F. GONZÁLEZ, M.Sc.³

RESUMEN

Antecedentes: La hidrocavitación ha sido utilizada exitosamente en la disrupción de células de levaduras, formación de suspensiones y reconstitución de alimentos. Estas aplicaciones muestran las altas posibilidades de este fenómeno en la industria alimentaria, como por ejemplo la producción de pulpas de frutas procesadas. **Objetivo:** Evaluar los efectos de la hidrocavitación en la obtención de pulpa de lulo a nivel sensorial, fisicoquímico y microbiológico comparadas con operaciones industriales de escaldado, despulpado y pasteurización (1-4). **Métodos:** Se procesó lulo sin cáscara en un cavitador hidrodinámico de 6 Kg de capacidad a dos temperaturas de procesamiento 75°C y 60 °C. Se realizó a las pulpas un seguimiento sensorial y físico-químico durante un mes. A partir de estos resultados, se seleccionó el proceso de hidrocavitación de lulo que presentó las mejores características de producto. La pulpa de lulo hidrocavitada seleccionada fue comparada sensorial, físico-química y microbiológicamente con pulpa de lulo obtenida por un método convencional. Se aplicó a las pruebas sensoriales un análisis estadístico no paramétrico. Las pruebas microbiológicas se llevaron a cabo acorde a lo exigido por el Ministerio de Salud en la resolución 07992/91 y la norma ICONTEC 404 (3, 5). **Resultados:** Los resultados de los análisis sensoriales y fisicoquímicos de los tratamientos de lulo en el cavitador hidrodinámico mostraron que la pulpa obtenida a 60°C por hidrocavitación presentó las mejores características de producto. Para el caso de la pulpa de lulo obtenida por hidrocavitación comparada con la obtenida por un método

convencional, se resalta que la pulpa hidrocavitada presentó una menor cantidad de UFC Unidades formadoras de colonia/ml. A nivel sensorial las pulpas no mostraron diferencias estadísticamente significativas, sin embargo, las pruebas hedónicas presentaron una mejor respuesta en el caso de pulpa de lulo obtenida por el proceso de hidrocavitación. **Conclusiones:** La hidrocavitación es una técnica promisoriosa como alternativa eficaz para el procesamiento de frutas para la obtención de pulpas, ya que conserva características de mayor impacto en el producto.

Palabras clave: Pulpas, microbiológico, hidrocavitación, sensorial, fisicoquímico.

ABSTRACT

Background: Hydrocavitation has been used successfully in the yeast cell disruption, suspensions formations and food reconstitution. These applications show high possibilities of this phenomenon in food industry, such as production of processed fruit pulps. **Objective:** Evaluate the hydrocavitation effects in pulp production at sensory, physico-chemical, and microbiological level compared to industrial operations of scalding, pulping and pasteurization (1-4). **Methods:** Peeled lulo Pulp was processed in 6 Kg capacity hydrodynamic cavitator at two different temperatures of processing 75°C and 60 °C. A sensory and physico-chemical pulps tracing was performed a month. From these results, It was selected the hydrocavitation process which presented better product features. The selected lulo pulp was compared sensory, physico-chemical and microbiological with processed pulps by conven-

¹ Integrante Grupo de Investigación en Alimentos y Agroindustria, Planta de Bioprocesos y Agroindustria, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

² Profesor Asistente, Integrante Grupo de Investigación en Alimentos y Agroindustria, Planta de Bioprocesos y Agroindustria, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

³ Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingenierías, Manizales, Universidad de Caldas, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: fernando.gutierrez@ucaldas.edu.co

tional method. It was applied to the sensory tests a non-parametric statistical. The microbiological tests were performed according to the resolution 079992/91 of Ministry of Health, and ICONTEC 404 norm (3, 5). **Results:** The sensory and physico-chemical analyses results of lulo treatments in the hydrodynamic cavitator showed that pulps obtained at a 60°C by hydrocavitation presented better product features. For the case of lulo pulp obtained by hydrocavitation compared to that obtained by conventional method, it is emphasized that pulp hydrocavitated presented lower CFU (Colony forming units)/ml amount. At sensory level, the pulps didn't show statistically significant differences, however, hedonic tests presented a better response in case of lulo pulp obtained by hydrocavitation process. **Conclusions:** The hydrocavitation is a promising technique as effective alternative for fruits processing for the pulp production, because it preserves greatest impact features on the product.

Keywords: Pulps, microbiological, hydrocavitation, sensory, physicochemical.

INTRODUCCIÓN

El procesamiento y producción de alimentos más sanos y de menor costo operacional, han sido aspectos de amplio estudio en la industria (6). Esto ha llevado a los investigadores a buscar alternativas tecnológicas eficientes, económicas y de bajo impacto ambiental. La hidrocavitación, aunque no ha sido ampliamente estudiada en alimentos, promete ser una tecnología que cumple con estas premisas. Específicamente, la hidrocavitación puede mejorar características vinculadas con la calidad de los alimentos, disminución de los costos energéticos y estabilidad de los productos. Algunos estudios que podrían indicar los efectos que la hidrocavitación tendría en matrices vegetales alimentarias se enmarcan en la reducción de la carga microbiana (7, 8), y la eficiencia de la cavitación hidrodinámica y la cavitación por ultrasonido en la disrupción de células de las levaduras (7, 9-11). En este caso la producción de pulpas de fruta podría ser impactada en forma positiva por la implementación de este tipo de tecnología, lo que ayudaría a mejorar y desarrollar esta cadena productiva aumentando al mismo tiempo la calidad de vida de los productores y comunidades involucradas.

La hidrocavitación es un fenómeno donde hay formación de burbujas o cavidades debido a la caída

la presión local que sufre un fluido líquido al pasar a través de una constricción. La presión local del fluido cae por debajo de la presión de vapor del líquido que fluye, como consecuencia se generan burbujas. Posteriormente, se ocasiona el colapso de las burbujas debido a la recuperación de la presión, liberando así una gran cantidad de energía (12). Durante la implosión de las burbujas se difunde calor, generando altos picos de temperatura y presión en pequeñas fracciones de tiempo que conduce a una reacción termolítica (13, 14). Toda esta energía liberada y su uso simultáneo en un proceso de transformación industrial enmarca este fenómeno dentro del concepto de integración energética y de procesos simultáneos (15).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se realizaron en la Planta de Bioprocesos y Agroindustria de la Universidad de Caldas. Se utilizó lulo fresco de variedad Castilla, de forma semiesférica y con estado de madurez entre 3 y 5 (16), adquirido de un proveedor de la ciudad de Manizales, Caldas. Las Frutas se mantuvieron a una refrigeración de 4°C previamente al procesamiento. El estudio se desarrolló en dos partes: 1) Selección de pulpas hidrocavitadas a dos temperaturas de procesamiento mediante pruebas sensoriales y físico-químicas, 2) Evaluación de la pulpa seleccionada por hidrocavitación y de la pulpa procesada convencionalmente. En la primera parte del estudio, se procesó lulo por hidrocavitación a 60°C y 75°C, agregando 300 ml de agua al proceso. Con el objetivo de seleccionar el procesamiento cuya pulpa conservó mejores características se realizó un seguimiento sensorial y físico-químico de los tratamientos. En la segunda parte del estudio, se realizó un seguimiento a nivel sensorial, físico-químico y microbiológico para evaluar cuál de los dos procesamientos realizados arrojó mejores características del producto (3, 5, 17). Para llevar a cabo las pruebas microbiológicas, se tomaron muestras de pulpa una vez por semana durante 28 días. A las pulpas de lulo no se le agregaron conservantes comunes como benzoatos y sorbatos (18). Para el procesamiento por hidrocavitación se utilizó un hidrocavitador de 6 Kg de capacidad, mientras que para el convencional se utilizó marmita, despulpadora y estufa. Las muestras fueron almacenadas en un cuarto frío, a una temperatura entre 0°C a 4°C y humedad relativa del 93%. Para adelantar las

pruebas sensoriales se familiarizó con el producto a un panel de jueces semientrenados (2). Se entregó al panel muestras de pulpa de lulo disuelta en agua en una relación de 1/1 (P/P). Durante el seguimiento sensorial se aplicaron pruebas de medición del grado de satisfacción (Hedónicas) en una escala de 1 a 5 donde: 1 “me disgusta mucho”, 2 “me disgusta”, 3 “me es indiferente”, 4 “me gusta ligeramente” y 5 “me gusta mucho”. Y pruebas descriptivas (perfil) en los atributos: Apariencia, color y olor característico, acidez, amargor, persistencia, fermento, dulzor, pegajosidad, suavidad, fluidez y homogeneidad (2). Para determinar diferencias significativas entre los tratamientos a los resultados de las pruebas hedónicas se aplicó la prueba de Kruskal Wallis, y a los resultados de las pruebas de perfil se aplicó el método ANAVA (19). Se midieron las características fisicoquímicas: grados Brix en un refractómetro digital ATAGO modelo PAL 1 y pH en un potenciómetro SCHOTT Lab 850.

RESULTADOS

Para la selección de la pulpa hidrocavitada con el mejor índice del grado de satisfacción sensorial, los valores de Kruskal Wallis variaron entre 0,8 a 2,52, y el valor de Chi-Cuadrado fue 3,84. No se encontró diferencia estadística significativa entre los tratamientos. Las medias de las calificaciones en las pruebas hedónicas fueron: 2,85 a 4,09 en las muestras preparadas con pulpas obtenidas por hidrocavitación a 60°C, y 2,53 a 3,818 en las muestras preparadas con pulpas obtenidas por hidrocavitación a 75°C. Los valores correspondientes a las pruebas físico-químicas se encuentran en la Tabla 1. Los atributos que mostraron diferencias significativas durante algunos días del estudio en las pruebas de perfil fueron: acidez, persistencia, dulzor, olor y homogeneidad.

Tabla 1. Valores promedio de pH y °Brix en pulpas obtenidas por hidrocavitación y por un método convencional

Selección de Pulpa hidrocavitada				
Días	Procesamiento a 75°C		Procesamiento a 60°C	
	°Brix	pH	°Brix	pH
Día 1	7,233	3,362	6,1	3,587
Día 7	7,467	3,217	7	3,123
Día 10	7,333	3,199	6,967	3,114
Día 14	7,333	3,147	7	3,197
Día 17	7,067	3,134	6,833	2,977
Día 21	7,033	3,365	6,7	2,963
Día 24	7	3,179	6,667	3,065
Día 28	6,833	3,18	6,533	3,105
Día 31	7,033	3,177	6,733	3,082
Comparación pulpas obtenidas por hidrocavitación y por un método convencional				
Días	Procesamiento convencional		Procesamiento por hidrocavitación	
	°Brix	pH	°Brix	pH
Día 0	9,367	3,05	8	3,174
Día 13	9,767	3,053	8,5	3,114
Día 16	9,467	3,169	8,333	3,145
Día 22	8,667	3,12	8,567	3,16

Los resultados de las características de la pulpa de lulo hidrocavitada a 60°C y de la pulpa obtenida por un método convencional se muestran en las Tablas 1, y 2. Los valores de Kruskal Wallis variaron entre 0,011 a 0,63, y un Chi-Cuadrado igual a 3,84, lo que

indica que no hay diferencia estadística significativa entre los tratamientos. Los atributos que mostraron diferencias significativas en las pruebas de perfil fueron: Acidez y apariencia.

Tabla 2. Promedios de calificaciones en las pruebas hedónicas de pulpas obtenidas por hidrocavitación y por un método convencional.

SEGUIMIENTO DE PULPAS PROCESADAS (PRUEBAS HEDÓNICAS)		
Tiempo (Días después de procesamiento)	Hedónicas (Procesamiento Convencional)	Hedónicas (Procesamiento por Hidrocavitación)
Día 2	3,75	3,63
Día 6	3,4	3,5
Día 9	4,0	4,3
Día 13	3,0	3,1
Día 16	4,0	3,9

Los análisis microbiológicos de la pulpa obtenida por hidrocavitación reportó un recuento final en mohos y levaduras igual a 180 UFC/ml, de Aerobios Mesófilos de 300 UFC/ml. Para las muestras procesadas convencionalmente el recuento de mohos y levaduras fue igual a 400 UFC/ml, Aerobios Mesófilos de 500 UFC/ml. Ninguna las muestras de pulpas procesadas tanto por hidrocavitación como por un método convencional, llegaron al límite establecido por normatividad.

DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos en los tratamientos de obtención de pulpa de lulo por hidrocavitación a 60°C y 75°C, se seleccionó el tratamiento a una temperatura de 60 °C, debido a que las pruebas hedónicas presentaron un mejor comportamiento para esta temperatura. El resultado pudo haber sido motivado, por atributos como la acidez, cuya diferencia significativa se registró en los días 1, 10 y 31, concluyéndose que entre más bajo sea este atributo, mayor aceptación tenía la pulpa en el panel sensorial. Como se muestra en la Tabla 1. los resultados físico-químicos no sufrieron variación significativa a través del tiempo, por lo que no puede considerarse como un factor determinante para comparar las características de deterioro entre las pulpas (4).

En la comparación de las pulpas obtenidas por hidrocavitación y por un método convencional, se resalta que no hubo diferencia estadística significativa en las pruebas hedónicas. Sin embargo, se destaca que hay un mejor comportamiento en el tratamiento por hidrocavitación debido a que sus medias son más altas en la mayoría de días del seguimiento en comparación al tratamiento por un método convencional (ver Tabla 2). En cuanto a los resultados microbiológicos, se observó que la

velocidad de deterioro de las pulpas obtenidas por hidrocavitación es menor que el mostrado en pulpas obtenidas por un proceso convencional industrial. Este comportamiento se debe a que durante el fenómeno de hidrocavitación pudo haberse dado lugar a una disrupción celular que disminuiría la carga microbiana presente en el alimento (9).

CONCLUSIONES

La hidrocavitación, tecnología emergente, podría llegar a ser competitiva en la industria de alimentos, pues los resultados de la presente investigación demostraron una alta eficiencia en la conservación de características de gran impacto en el producto. El fenómeno de hidrocavitación destruye los microorganismos esterilizando las pulpas de fruta.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad de Caldas y sus instalaciones: Planta de Bioprocesos y Agroindustria, la Unidad Tecnológica de Alimentos. Y a COLCIENCIAS, por su programa de Jóvenes Investigadores.

REFERENCIAS

1. Agatón L. Manual de prácticas de procesos vegetales. Manizales, Colombia: Editorial Universidad de Caldas; 2009.
2. Anzaldúa A. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Zaragoza, España: ACRIBIA, S.A. 1994.
3. ICONTEC NTC 404: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Frutas procesadas. Jugo y pulpas de fruta. 1998.
4. ICONTEC NTC 5468: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Zumos (jugos), Nectares, Pures (pulpas) y concentrados de pulpas. 2007.
5. Resolución número 7992 de 1991. 1991.
6. Santamaria MR. Industria Alimentaria. Tecnologías emergentes. Cataluña, España: Edicions UPC. 2005.

7. Gogate PR. Hydrodynamic Cavitation for Food and Water Processing. *Food Bioprocess Technology*. 2010; 4: 996-1011.
8. Calderón M, González M, Barbosa G, Swangson B. Métodos no térmico para procesamiento de alimentos: variables e inactivación microbiana. *Brazilian Journal, Food Technology*. 1999 1//;1(1-2):3-11.
9. Save S, Pandit A, Joshi J. Use of Hydrodynamic Cavitation for Large Scale Microbial Cell Disruption. *Food and Bioproducts Processing*. 1997;75(1):41-50.
10. Ulloa J, Ulloa P, Ramírez J, Ulloa B. Ultrasonido: Aplicaciones en el campo de alimentos. *Revista Fuente nueva época*. 2013 Septiembre; 2013(14):1-13.
11. Awad TS, Moharram HA, Shaltout OE, Asker D, Youssef MM. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*. 2012;48(2):410-27.
12. Ghayal D, Pandit AB, Rathod VK. Optimization of biodiesel production in a hydrodynamic cavitation reactor using used frying oil. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2013 1//;20(1):322-8.
13. Arrojo S, Benito Y. A theoretical study of hydrodynamic cavitation. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2008; 15(3):203-11.
14. Gogate PR. Cavitation reactors for process intensification of chemical processing applications: A critical review. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 2008 4//; 47(4):515-27.
15. Cardona CA, Sánchez ÓJ, Gutiérrez LF. *Process Synthesis for Fuel Ethanol Production*. First ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press; 2010.
16. ICONTEC NTC 5093: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. *Frutas frescas. Lulo de Castilla. Especificaciones*. 2002.
17. Arroyave L. Ficha técnica de producto terminado: PULPA DE FRUTA. Espinal, Colombia: SENA; 2010 [cited 2015]; Available from: <http://es.slideshare.net/GITASENA/ficha-tecnica-pulpa-de-frutas>.
18. ViT P, Cardozo E, Moreno D. Aporte de estudiantes de tecnología de alimentos para un manual de calidad en la producción de pulpas de frutas. *Revista de la Facultad de Farmacia, Universidad de los Andes-Venezuela*. 2002; 43:19-24.
19. Siegel S. *Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta*. Segunda ed. México1978.

EFFECTO DE LA HIDROCAVITACIÓN EN LA LIBERACIÓN DE AZÚCARES DEL ASERRÍN DE ROBLE: EVALUACIÓN EXPLORATORIA

EFFECT OF HYDROCAVITATION ON SUGAR RELEASE FROM OAK SAWDUST: EXPLORATORY ASSESSMENT

Daniel F. CARDONA Ing. Alim.¹, Luis F. GUTIÉRREZ Ph.D.^{2*}, Óscar J. SÁNCHEZ Ph.D.³

RESUMEN

Antecedentes: La cavitación hidrodinámica es un fenómeno en el cual se forman burbujas o cavidades debido a la reducción de la presión por el paso de un líquido a través de un estrechamiento y se ha utilizado preliminarmente en la producción de pulpa de papel. No hay reportes en la literatura disponible sobre su aplicación como método de pretratamiento de biomasa lignocelulósica para la obtención de azúcares reductores a partir de residuos agroalimentarios y agroindustriales. **Objetivo:** El objetivo del presente trabajo fue determinar el potencial del proceso de hidrocavitación para liberar azúcares fermentables a partir de material lignocelulósico. **Métodos:** Se utilizó aserrín de roble como material lignocelulósico, el cual se trató en un cavitador hidrodinámico para sólidos de 6 kg de capacidad. El hidrocavitador se alimentó con 580 g de aserrín y entre 5120 g y 5420 g de agua. Se evaluó el proceso de cavitación por lotes sin adición de catalizador y con adición de 5% de KOH durante 4 h a 105°C. Se analizó el contenido de azúcares reductores tanto en el aserrín crudo como en el licor obtenido expresado como concentración de xilosa empleando el método del DNS. Se llevó a cabo el balance de materia para azúcares reductores. **Resultados:** El tratamiento con KOH presentó un incremento de 7,5 veces en el contenido de azúcares reductores con respecto a su contenido inicial en el aserrín crudo; por su parte, el tratamiento sin KOH incrementó 3 veces el contenido de azúcares reductores. **Conclusiones:** El tratamiento por

hidrocavitación de aserrín de roble con adición de un 5% de KOH liberó la mayor cantidad de azúcares reductores potencialmente fermentables en comparación con la adición única de agua. Los resultados indican que la hidrocavitación puede ser un proceso alternativo promisorio como método de pretratamiento de residuos agroindustriales y de la industria de alimentos para la obtención de azúcares fermentables, xilitol y productos de fermentación con valor agregado como etanol, ácidos orgánicos y proteína unicelular.

Palabras clave: Hidrocavitación, álcali, azúcares reductores, xilosa, residuos agroindustriales.

ABSTRACT

Background: Hydrodynamic cavitation is a phenomenon in which bubbles or cavities are formed due to the pressure reduction caused by the flow of a liquid stream through a narrowing in the pipe. It has been preliminarily used for paper pulp production. To our knowledge, there are no published reports about the application of this process as a pretreatment method of lignocellulosic biomass in order to produce reducing sugars from agro-industrial and food wastes. **Objective:** The objective of this work was to assess the hydrocavitation process as a potential method for releasing fermentable sugars from lignocellulosic material. **Methods:** The lignocellulosic material (oak sawdust) underwent cavitation in a hydrodynamic cavitator for solids with 5 kg capacity. The hydrocavitator was fed with a 11.6% (w/w) sawdust-water suspension. Batch

¹ Integrante Grupo de Investigación en Alimentos y Agroindustria, Planta de Bioprocesos y Agroindustria, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

² Profesor Asistente, Integrante Grupo de Investigación en Alimentos y Agroindustria, Planta de Bioprocesos y Agroindustria, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

³ Profesor Asociado, Director Grupo de Investigación en Alimentos y Agroindustria, Planta de Bioprocesos y Agroindustria, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: fernando.gutierrez@ucaldas.edu.co

cavitation process was evaluated with and without addition of 5% KOH during 4 h at 105°C. The mass balance for reducing sugars was performed.

Results: The KOH treatment exhibited a 7.5-fold increase of the reducing sugars content related to the initial amount of sugars in the raw sawdust. On the other hand, the treatment without KOH increased three times the content of reducing sugars. **Conclusions:** The hydrocavitation treatment of oak sawdust with 5% KOH addition released the highest amount of reducing sugars (potentially fermentable) compared to the addition of sole water. The outcomes suggest that the hydrocavitation could be an alternative and promising process as a pretreatment method for agro-industrial and food wastes in order to produce fermentable sugars, xylitol, and fermentation value-added products like ethanol, organic acids, and single-cell protein.

Keywords: Hydrocavitation, alkali, reducing sugars, xylose, agro-industrial wastes.

INTRODUCCIÓN

En el contexto del desarrollo de cadenas productivas y de la base agroindustrial de países con vocación agrícola como Colombia, los residuos lignocelulósicos generados en estas cadenas representan una gran oportunidad para potenciar la cadena de valor mejorando al mismo tiempo la calidad de vida de los productores y comunidades involucradas. El complejo lignocelulósico es el material de origen biológico más abundante sobre la Tierra y está compuesto principalmente de una matriz de biopolímeros consistente de celulosa y lignina enlazada por cadenas de hemicelulosa. La biomasa lignocelulósica representa, por tanto, una fuente prácticamente inagotable y renovable de materias primas que se pueden convertir en productos de valor agregado. Estos productos se pueden obtener a partir de materiales residuales de naturaleza lignocelulósica como residuos agrícolas y agroindustriales. Sin embargo, para explotar el potencial de estos residuos e impulsar las cadenas de valor agroalimentarias, se requiere la liberación de los azúcares y polisacáridos presentes en los mismos a través de un pretratamiento de las materias primas a aprovechar.

El pretratamiento tiene como objetivo desintegrar la matriz lignocelulósica de tal manera que la celulosa reduzca su grado de cristalinidad y aumente la celulosa amorfa que es la más adecuada

para su posterior conversión enzimática en glucosa. Adicionalmente, la mayor parte de la hemicelulosa se hidroliza durante el pretratamiento y la lignina se libera o puede incluso descomponerse (1, 2). A fin de obtener productos de interés industrial y en una etapa posterior, la celulosa liberada es sometida a hidrólisis enzimática con celulasas exógenas, lo cual hace que se obtenga una solución de azúcares fermentables que contiene principalmente glucosa, así como pentosas resultantes (principalmente xilosa) de la hidrólisis inicial de la hemicelulosa que ocurre durante el pretratamiento. Estos azúcares se transforman en valiosos productos de fermentación como etanol, ácidos orgánicos y proteína unicelular. Alternativamente y mediante métodos químicos o biotecnológicos, la xilosa resultante del pretratamiento puede convertirse en xilitol, un polialcohol con un poder edulcorante similar al de la sacarosa pero que presenta una mayor estabilidad química y microbiológica ofreciendo resistencia al crecimiento de microorganismos y prolongando la vida útil de los productos alimenticios (3). Muchos de los estudios en la conversión de D- xilosa en xilitol se han hecho empleando *Saccharomyces cerevisiae* y levaduras del género *Candida* (4, 5). El pretratamiento permite que los rendimientos en la hidrólisis de celulosa aumenten de menos del 20% de los rendimientos teóricos a valores mayores al 90%, y una liberación de entre el 65% y el 100% de los azúcares que componen la hemicelulosa, para lo que se han propuesto y desarrollado diferentes métodos (6). Sin embargo, ninguno de los métodos de pretratamiento propuestos se puede aplicar en forma genérica a los diferentes materiales lignocelulósicos ni han alcanzado la madurez tecnológica para su implementación a nivel comercial.

Una alternativa novedosa para el rompimiento de la biomasa lignocelulósica puede llegar a ser la aplicación del fenómeno de cavitación hidrodinámica. La hidrocavitación se define como el fenómeno donde se forman burbujas o cavidades en una corriente líquida debido a la reducción de la presión hasta valores iguales o inferiores a la presión de vapor del líquido cuando pasa a través de un estrechamiento del tubo por donde fluye (efecto Venturi) (7). Al haber una recuperación de la presión por la amplitud del diámetro del paso del fluido líquido, las burbujas colapsan, difundiendo calor, generando así altos picos de temperatura que conduce a reacciones termolíticas (8, 9). Precisamente, la división molecular como resultado de

estas reacciones son las que causan una disociación de las matrices estructurales vegetales como las de la paja de trigo y de la madera conduciendo a su deslignificación (10, 11). El objetivo del presente trabajo consiste en realizar un estudio exploratorio sobre la hidrocavitación de residuos de aserrín de roble para disociar su matriz estructural a fin de obtener azúcares potencialmente fermentables.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleó aserrín de roble suministrada por una empresa de Manizales (Caldas) en calidad de material lignocelulósico. Se utilizó un hidrocavitador para sólidos de 6 kg de capacidad (TEK-1SM-SS, Ucrania) con recirculación, control de temperatura del proceso y tanque de alimentación que opera por lotes. Se cargaron 580 g de aserrín en el tanque de alimentación y se adicionó agua hasta completar los 6 kg, que es la capacidad del equipo. Se realizaron dos ensayos con tres repeticiones. En el primer ensayo se agregó 5% (p/p) de KOH a la suspensión agua/aserrín directamente al tanque de alimentación. Se operó el reactor de cavitación durante 7,5 h a 105°C. Al final de este tratamiento, se retiró el material cavitado mediante una válvula de drenaje; posteriormente, este material se filtró separando la fase sólida de la líquida (licor). El segundo ensayo se realizó de la manera descrita anteriormente, pero sin adición de KOH.

Al licor obtenido y a la materia prima inicial se les determinó el contenido de los azúcares reductores (AR) expresados como xilosa por el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico o DNS (12), para lo cual se realizó una curva de calibración empleando este monosacárido. La lectura final de la mezcla reaccionante de este método se realizó a 540 nm en un espectrofotómetro Genesys 10S UV-Vis (Sigma-Aldrich, EUA). Para la medición de los azúcares reductores en el aserrín sin hidrocavitar se llevó a cabo

una extracción con agua destilada empleando una relación de 1:15. Para la determinación de azúcares en el caso del licor, se realizó una centrifugación previa; todas las concentraciones se expresaron en g de AR/kg. Con los datos de concentración de AR, el agua alimentada al hidrocavitador y la cantidad de agua adicionada durante el lavado del material cavitado, se realizó el balance de masa del sistema. Todos los ensayos se llevaron a cabo en la Planta de Bioprocesos y Agroindustria de la Universidad de Caldas.

RESULTADOS

La cantidad de AR liberados del aserrín (M_{AR}) en g durante el proceso se calcula a partir de la ecuación 1 general de balance:

$$M_{AR} = (m_{std}AR_{std}) - (m_{asr}AR_{asr} + m_{ag}AR_{ag} + m_{alc}AR_{alc}) \quad \text{Ecuación (1)}$$

donde m es la masa (en kg) de cada corriente y AR es la concentración de azúcares reductores en la corriente que le corresponda (g/kg); los subíndices *sld*, *asr*, *ag* y *alc* corresponden a las corrientes de salida (material cavitado constituido por licor y sólidos), aserrín, agua, y KOH, respectivamente. En la Tabla 1 se presenta los resultados del balance de materia para AR.

De los datos mostrados en la Tabla 1 y de la ecuación (1), la cantidad de azúcares reductores liberados durante el proceso de hidrocavitación con KOH fue de 9,96 g y para el proceso sin KOH fue de 3,08 g. El rendimiento de azúcares a partir del aserrín inicial para el proceso con KOH fue entonces de 14,5 g AR/kg aserrín, y para el proceso sin KOH fue de 2,62 g AR/kg aserrín, es decir, la hidrocavitación catalizada con hidróxido de potasio permitió alcanzar un rendimiento 5,5 veces mayor que cuando solo se somete a cavitación la mezcla de agua y aserrín.

Tabla 1. Balance de materia del proceso de hidrocavitación de aserrín de roble.

Corrientes	Aserrín	Agua	KOH	Licor + sólidos	Pérdidas
<i>Tratamiento con KOH</i>					
m (kg)	0,580	5,120	0,300	5,460	0,540
AR (g/kg)	2,69	0,00	0,00	2,11	0,00
<i>Tratamiento sin KOH</i>					
m (kg)	0,580	5,420	0,000	5,660	0,640
AR (g/kg)	2,69	0,00	0,00	0,82	0,00

DISCUSIÓN

Con base en los resultados arrojados en los balances de azúcares reductores se puede observar que el tratamiento más efectivo es el que usó KOH como catalizador del proceso, que favorece la hidrólisis de la hemicelulosa comparado con las condiciones no alcalinas (sin KOH). Adicionalmente, durante la hidrocavitación con KOH se forman peróxidos, especies altamente reactivas, que potencian significativamente la reacción. Aunque no se encontraron estudios concretos en aserrín de roble, se han realizado tratamientos de hidrólisis ácida en otras matrices lignocelulósicas obteniéndose concentraciones de azúcares en el licor de hasta 25,60 g/L en desechos del procesamiento de piña (13) y 3,26 g/L en pulpas de café (14); en este caso, las concentraciones de AR en el licor alcanzaron 2,11 g/L para el tratamiento con KOH. Cabe destacar que los estudios no estaban orientados a la hidrólisis de la hemicelulosa sino a la degradación de la lignina.

CONCLUSIONES

El empleo de KOH como catalizador durante la hidrocavitación de aserrín de roble demostró un incremento de la liberación de AR de hasta 5,5 veces comparado con el proceso sin KOH. Es necesario evaluar el rendimiento del proceso en presencia de otros catalizadores como ácido diluido, amoníaco, solventes orgánicos o sulfitos.

La hidrocavitación puede llegar a ser un proceso alternativo y eficiente, de bajo consumo energético, para la hidrólisis de hemicelulosa y la obtención de azúcares reductores como la *D*-xilosa, monosacárido que puede ser asimilado por ciertas especies de levaduras o por bacterias recombinantes ya desarrolladas para su conversión a etanol. Este proceso representa especial interés en la valorización de cadenas productivas como las de la industria de alimentos, en donde se generen cantidades importantes de residuos lignocelulósicos, así como en la deslignificación de diferentes materiales residuales para la nutrición de rumiantes. Este proceso puede ser particularmente atractivo como método de pretratamiento de residuos agroindustriales y de la industria de alimentos a fin de producir azúcares fermentables, xilitol y productos de fermentación con valor agregado como etanol, ácidos orgánicos y proteína unicelular.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, Colciencias, por su apoyo a uno de los autores de este trabajo en el marco del programa de Jóvenes Investigadores. Igualmente se agradece el apoyo de la Planta de Bioprocesos y Agroindustria de la Universidad de Caldas.

REFERENCIAS

1. Sánchez ÓJ, Montoya S. Production of bioethanol from biomass: An overview. In: Gupta VK, Tuohy M, editors. Biofuel Technologies – Recent Developments. Berlin: Springer Verlag Berlin Heidelberg. 2012; 397-441 p.
2. Cardona CA, Sánchez ÓJ, Gutiérrez LF. Process Synthesis for Fuel Ethanol Production. First ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press; 2010.
3. Mussato S, Roberto I. Xilitol - Una gran alternativa en el mercado de edulcorantes Industria de Alimentos. 2003;6(25):18-21.
4. Hernandez J, Navarrete M, Ornelas LC, Zamudio M. Producción y aplicaciones biotecnológicas del xilitol. BioTecnología. 2011;15(2):22-47.
5. Herazo I, Ruiz D, Arrazola G. Bioconversión de xilosa a xilitol por *Candida guilliermondii* empleando cascarilla de arroz (*Oriza sativa*). Temas Agrarios. 2009;14(2):1-18.
6. Sánchez OJ, Cardona CA. Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. Bioresource Technology. 2008;99:5270-95.
7. Ghayal D, Pandit AB, Rathod VK. Optimization of biodiesel production in a hydrodynamic cavitation reactor using used frying oil. Ultrasonics Sonochemistry. 2013 1//;20(1):322-8.
8. Benito Y, Arrojo S. Tratamiento de efluentes industriales mediante cavitación hidrodinámica. Artículos Técnicos. 2006:38-41.
9. Sayyaadi H. Enhanced cavitation-oxidation process of non-VOC aqueous solution using hydrodynamic cavitation reactor. Chemical Engineering Journal. 2015 7/15//;272(0):79-91.
10. Badve MP, Gogate PR, Pandit AB, Csoka L. Hydrodynamic cavitation as a novel approach for delignification of wheat straw for paper manufacturing. Ultrasonics Sonochemistry. 2014 1//;21(1):162-8.
11. Baxi P, Pandit A. Using cavitation for delignification of wood. Bioresource Technology. 2012;110(2012):697-700.
12. Miller GL. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Anal Chem. 1959;31(3):426-8.
13. Ramírez K, Rojas Ó, Alvarado P, Baudrit J. Obtención de xilosa a partir de desechos lignocelulósicos de la producción y proceso industrial de la piña (*Ananascomusus*). Uniciencia. 2011;26:75-89.
14. Urbaneja G, Ferrer J, Paéz G, Arenas de Moreno L, Colina G, Sandoval L. Hidrólisis ácida y caracterización de carbohidratos de la pulpa de café. Rev. Facultad de Agronomía, Universidad de Zulia. 1997;14(2):265-75.

COMPARACIÓN CUANTITATIVA DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN TOMATE CHONTO Y AHUYAMA POR LOS MÉTODOS ABTS, DPPH Y VOLTAMPEROMETRÍA CÍCLICA

QUANTITATIVE COMPARISON OF ANTIOXIDANT ACTIVITY IN CHONTO TOMATE AND PUMPKIN BY ABTS, DPPH AND CYCLIC VOLTAMMETRY METHODS

Irma M. GARCÍA G.^{1,*}, Henry REYES P.², Alejandra ECHEVERRY A.¹, Jhon A. RODRIGUEZ E.¹

RESUMEN

Antecedentes: Los antioxidantes presentes en frutos tales como el tomate chonto (*Lycopersicon esculentum*) y la ahuyama (*Cucurbita máxima*) han tenido una gran relevancia en la prevención de múltiples enfermedades degenerativas, lo que ha llevado a implementar nuevas técnicas para su determinación y cuantificación que sean más económicas, eficientes y amigables con el medio ambiente. **Objetivo:** Se compararon los métodos de ABTS, DPPH y voltamperometría cíclica para determinar la capacidad antioxidante del tomate chonto y la ahuyama en los estados de madurez óptimos. **Métodos:** Se realizaron diluciones a partir del jugo de semillas de ahuyama y de la pulpa de tomate, para llevar a cabo las mediciones de voltamperometría cíclica. Se instaló la celda en un balón de tres bocas fondo redondo, poniendo platino como electrodo de trabajo, grafito como contra electrodo y un electrodo de referencia de Hg/HgSO₄. Posteriormente se tomaron tres muestras sólidas de pulpa de tomate y semillas de ahuyama las cuales fueron diluidas en metanol y a los extractos se les realizó las pruebas de Folin Cicoalteu para la determinación de fenoles totales. Por último los extractos etanólicos y metanólicos de estos frutos se le practicaron las pruebas de DPPH y ABTS. **Resultados:** Para las pruebas de DPPH y ABTS, en ambos ensayos se obtuvo una mayor actividad antioxidante en las semillas de ahuyama expresada como vitamina E. En los voltamperogramas cíclicos obtenidos se pudo observar que existe

un mecanismo de reducción que permite establecer una mayor actividad antioxidante en las semillas de ahuyama. **Conclusión:** Las pruebas realizadas con folin-cicoalteu evidenciaron que podía existir una actividad antioxidante en ambos frutos. En cuanto a los métodos de ABTS y DPPH ambos fueron efectivos al establecer una actividad antioxidante. Por último el método de voltamperometría cíclica resultó ser mucho más económico, rápido y sensible que los métodos comunes utilizados para estas muestras.

Palabras clave: Antioxidantes, semillas de ahuyama, tomate.

ABSTRACT

Background: The antioxidants present in fruits such as chonto tomato (*Lycopersicon esculentum*) and pumpkin (*Cucurbita máxima*) have had a great importance in the prevention of many degenerative diseases, which led to implementing new techniques for identification and quantification they are more economical, efficient and environmental friendly. **Objective:** ABTS, DPPH and cyclic voltammetry methods, were compared to determine the antioxidant capacity of chonto tomato and pumpkin in the states of optimum maturity. **Methods:** dilutions were made from pumpkin seeds juice and tomato pulp, to carry out the cyclic voltammetry measurements. The cell was installed in a three-necked flask round bottom putting platinum as working electrode, graphite as counter electrode and Hg /

¹ Magister en Química. Grupo de Investigación en Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias Agroindustriales. Universidad del Quindío. Armenia, Colombia.

² PhD en Tecnología de Membranas, Electroquímica y Medio Ambiente. Grupo de Investigación en Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias Agroindustriales. Universidad del Quindío. Armenia, Colombia.

³ Magister en Química. Grupo de Investigación en Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias Agroindustriales. Universidad del Quindío. Armenia, Colombia.

⁴ Magister en Química. Grupo de Investigación en Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias Agroindustriales. Universidad del Quindío. Armenia, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: imgarcia@uniquindio.edu.co

HgSO₄ as reference electrode. Subsequently, they were taken three solid samples of tomato pulp and pumpkin seeds which were diluted in methanol and the extracts were subjected to tests for determination Folin Cicalteu total phenol. Finally the ethanol and methanol extracts of these fruits will be performed tests DPPH and ABTS. **Results:** For testing DPPH and ABTS, in both trials increased antioxidant activity was obtained in the seeds of pumpkin expressed as vitamin E. In cyclic voltammograms obtained was observed that there is a reduction mechanism that allows for a higher antioxidant activity in pumpkin seeds. **Conclusions:** The Folin-cicalteu tests showed that there could be an antioxidant activity in both fruits. As both methods ABTS and DPPH were effective to establish antioxidant activity. Finally the method of cyclic voltammetry was much cheaper, faster and more sensitive than the common methods used for these samples.

Keywords: Antioxidants, seeds of squash, tomatoes.

INTRODUCCIÓN

En la industria química se habían estudiado los antioxidantes, un grupo de compuestos caracterizados por su capacidad de oxidarse en lugar de otras sustancias presentes en el medio de reacción (1, 2). Para los años 90 el uso de los antioxidantes se había popularizado en los Estados Unidos de América, de tal manera que la mitad de la población consumía suplementos dietarios, y alrededor de una octava parte de la población consumía periódicamente suplementos de vitaminas E y C (3). La vitamina E conocida como α -tocoferol, por ser el componente más abundante de la misma, es bien conocido y representa la mayor posibilidad de prevención de la peroxidación de membrana por estabilización de radicales peróxido (4, 5). En sistemas biológicos, una molécula de vitamina E permite proteger 10.000 moléculas de ácidos grasos insaturados (6). La vitamina C es un antioxidante que actúa en medios acuosos, en combinación con otros antioxidantes primarios como la vitamina E y los carotenoides, así como en conjunto con las enzimas antioxidantes (7, 8). El ácido ascórbico es el único antioxidante endógeno en plasma que puede proteger contra el daño peroxidativo inducido por radicales peróxido (9). Por definición, la actividad antioxidante es la capacidad de una

sustancia para inhibir la degradación oxidativa (por ejemplo, la peroxidación lipídica (10). Existen varios métodos para medir la actividad antioxidante entre ellos están el método ABTS (azinobis 3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico, el método DPPH (Difenil Picril Hidrazilo y el método de Folin-Cicalteu (11). La voltamperometría cíclica es un procedimiento reportado recientemente como una herramienta promisorio para evaluar la actividad antioxidante (12). En este método, la muestra es introducida en una celda con un sistema de tres electrodos: electrodo de trabajo, electrodo de referencia y electrodo auxiliar (platino) (13).

En este estudio se compararan métodos comunes como el DPPH, ABTS y Folin-cicalteu, con el método de voltamperometría cíclica y de esta manera determinar cuál es el mejor método para determinar la actividad antioxidante en la ahuyama y el tomate chonto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como materia prima para el estudio, se recolectaron las muestras del tomate chonto maduro en el municipio de Filandia Quindío. En el caso de las semillas de ahuyama las muestras fueron sacadas de varios de estos frutos maduros comprados en un supermercado local. Para los análisis de Folin Cicalteu, ABTS y DPPH se utilizó un espectrofotómetro ultravioleta-visible (UV-VIS) con arreglo de diodos Hewlett Packard modelo HP-8453.

Descripción del proceso

Se determinó la capacidad antioxidante de la ahuyama y el tomate por los métodos de Folin-cicalteu, DPPH y ABTS los cuales fueron comparados con análisis de Voltamperometría cíclica obtenidos de un estudio previo titulado "*Determinación electroquímica de antioxidantes presentes en la ahuyama y el tomate chonto*".

Cuantificación del contenido polifenoles con el índice de Folin-Cicalteu

Se tomaron las soluciones de los extractos y los estándares, se les adicionó el reactivo Folin-Cicalteu a cada tubo de ensayo. Se pudo observar la formación de la coloración a través de la lectura de un blanco preparado al mismo tiempo. Los resultados obtenidos se reportaron como mg A.G (ácido gálico)/100g de muestra.

Determinación de la actividad antioxidante por medio del catión ABTS•+

Se preparó el reactivo ABTS en solución acuosa. Luego se hizo reaccionar con persulfato de potasio en un frasco ámbar, se cubrió con papel aluminio; por último se diluyó la solución de ABTS•+ en etanol absoluto hasta obtener una absorbancia inicial de $0.7 \pm (0.02)$ a 732 nm.

Determinación de la actividad antioxidante por el método del DPPH•

Se preparó en un matraz cubierto en papel aluminio la solución del (DPPH•). Después se transfirió a un frasco ámbar cubierto con papel aluminio. Posteriormente se ajustó en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 529nm hasta obtener una absorbancia de $\pm 1,000$.

Preparación de las muestras de tomate y ahuyama

Los extractos de tomate y ahuyama con los reactivos ABTS y DPPH fueron llevados al espectrofotómetro a una longitud de onda de 529 y 732 nm. . Cada ensayo se realizó 3 veces y su vez cada muestra por triplicado (14). A partir de las absorbancias obtenidas se determinó el porcentaje de actividad antioxidante con la ecuación 1 que se presenta a continuación:

$$\% \text{ Actividad Antioxidante} = \left(\frac{\text{Abs.I} - \text{Abs.M}}{\text{Abs.I}} \right) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde Abs.I, son las absorbancias iniciales y Abs.M son las absorbancias obtenidas para cada una de las muestras de tomate y ahuyama.

RESULTADOS

Determinación de fenoles totales

Se realizó la curva de calibración del ácido gálico, la cual permitió determinar el contenido de fenoles totales para dichos frutos.

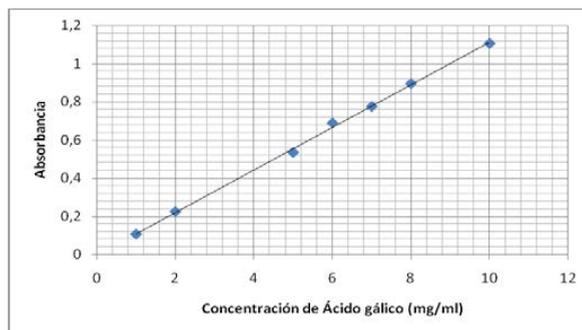


Figura 1. Curva de calibración del ácido gálico.

En la tabla 1 se presenta el contenido de fenoles totales (CFT) en equivalentes de ácido gálico (EAG) (mg de ácido gálico/g de muestra)

Tabla 1. Contenido de fenoles totales en tomate chonto y semillas de ahuyama

Nombre	CFT (mg de ácido gálico/100g de la muestra)
Tomate 1	5,086
Tomate 2	5,031
Tomate 3	5,103
Ahuyama 1	5,548
Ahuyama 2	5,623
Ahuyama 3	5,176

Determinación de la Actividad Antioxidante:

En la tabla 2 se presentan los porcentajes de actividad antioxidante obtenidos por los métodos de ABTS•+ y DPPH para los extractos de semillas de ahuyama y pulpa de tomate.

Tabla 2. Porcentaje de actividad antioxidante por los métodos de ABTS y DPPH.

Valor promedio del porcentaje de AA			
Tomate ABTS	Ahuyama ABTS	Tomate DPPH	Ahuyama DPPH
24,75	36,9	84,48	98,04
28,56	41	82,02	98,37
31,04	42,04	82,67	98,54

Voltamperometría Cíclica

En la tabla 3 se muestran los parámetros utilizados para hallar la concentración de las vitaminas E y C presentes en las semillas de ahuyama y el tomate chonto por el método de voltamperometría cíclica obtenidos e un estudio preliminar el cual se encuentra reportado en el artículo titulado “*Determinación electroquímica de antioxidantes presentes en la ahuyama y el tomate chonto*”.

Tabla 3. Parámetros para el cálculo de vitamina C y vitamina E.

Vitamina	i (Ma)	n	F (Col/mol)	A (Cm ²)	D (Cm2/s)	t (s)	C (Mol/L)	Masa (g)
C	1.5x10 ⁻⁵	2	96500	0.1	0.0139	0.694	2.86x10 ⁻⁴	0.00225
E	5.2x10 ⁻⁵	2	96500	0.1	0.00254	0.694	1.56x10 ⁻³	0.036

DISCUSIÓN

Se puede observar que las muestras que presentaron el mayor contenido de fenóles totales expresado en equivalentes de ácido gálico (EAG) fueron las de ahuyama con valores entre 5,176 y 5,623 mg de ácido gálico/100g de la muestra.

Los extractos de pulpa de tomate y semillas de ahuyama evaluados mostraron un comportamiento muy similar entre los valores obtenidos de la actividad antioxidante de estos dos frutos, el valor promedio de los porcentajes de actividad antioxidante más alto se le atribuyen a las semillas de ahuyama con un valor de 42,04% para los ensayos con ABTS y 98,54% para los ensayos con DPPH.

Los valores obtenidos para la concentración de vitamina C por el método de voltamperometría cíclica se encuentran dentro de los rangos reportados por otros autores (A.M. Pisoschi, 2008), observándose que la concentración de Tocoferol (Vitamina E) presente en esta especie de semillas de ahuyama es mayor a la de la vitamina C de la pulpa del tomate, lo cual es un indicio de que la capacidad antioxidante de la vitamina E, es mayor en este fruto.

CONCLUSIONES

Las pruebas de Folin-Cicoalteu evaluadas para las semillas de ahuyama y la pulpa de tomate evidenciaron que estos extractos podían presentar actividad antioxidante debido a la cantidad de polifenoles obtenida, observándose un mayor contenido de estos metabolitos en las semillas de ahuyama.

En el caso de los ensayos de ABTS y DPPH se pudo observar que ambas pruebas denotan una alta actividad antioxidante, siendo más preponderante en el análisis del reactivo DPPH para las semillas de ahuyama.

Al momento de realizar la comparación de las pruebas de ABTS y DPPH frente a voltamperometría cíclica se puede evidenciar claramente que con ambos tipos de análisis se puede determinar la actividad antioxidante, sin embargo el método de

voltamperometría cíclica resulta ser más económico, rápido, sensible y utiliza menor cantidad de muestra que con los análisis de DPPH y ABTS.

REFERENCIAS

- Cameron E, Pauling L. Supplemental ascorbate in the supportive treatment of cancer: reevaluation of prolongation of survival times in terminal human cancer. USA. Food Chem. Elsevier Ltda. 1978.
- Willet W, MacMahon B. Diet and cancer--an overview (second of two parts). New.Engl. Jour. Med. 1984; 697-903 p.
- Radimer K. Dietary supplement use by US adults: data from the National Health and Nutrition Examination Survey. Amer. Jour. Epidem. 2004; 338-349p.
- Calaza-ramos C, Julia L, Losada PP, Rodr A. Determination of vitamin E and carotenoid pigments by high performance liquid chromatography in shell of *Chionoecetes opilio*. Anal Chim. 2008; 7: 225-9.
- Wells G, Inmaculada M, Martín G, Escuredo O, Fischer S. Talanta Multivariate calibration by near infrared spectroscopy for the determination of the vitamin E and the antioxidant properties of quinoa. Talanta. Elsevier. 2013; 116:65-70.
- Traber M, Atkinson J. Vitamin E, antioxidant and nothing more. Free. Rad. Bio. An. Med. 2007; 4-15p.
- Yang Y, Zhou J, Zhang H, Gai P, Zhang X, Chen J. Talanta Electrochemical evaluation of total antioxidant capacities in fruit juice based on the guanine / graphene nanoribbon / glassy carbon electrode. Talanta. Elsevier; 2013;106:206-11.
- Aguirre MJ, Chen YY, Isaacs M, Matsuhira B, Mendoza L, Torres S. Electrochemical behaviour and antioxidant capacity of anthocyanins from Chilean red wine , grape and raspberry. Food Chem. Elsevier Ltda. 2010;121(1):44-8.
- Griffiths HR, Lunec J. Ascorbic acid in the 21st century – more than a simple antioxidant. Envir. Toxic. And. Pharm. 2001; 173-182p.
- Alvarez-suarez M, Novakovic MM, Pezo L, Battino M, Suz DZ. Comparative analysis of antioxidant activity of honey of different floral sources using recently developed polarographic and various spectrophotometric assays. J Food Compos Anal. 2013;30:13-8.
- Padmanabhan P, Jangle SN. Evaluation of DPPH Radical Scavenging Activity and Reducing Power of Four Selected Medicinal Plants and Their Combinations. Int J Pharm Sci Drug Res. 2012;4(2):143-6.
- Fruzi O. Evaluation of the antioxidant activity of flavonoids by "ferric reducing antioxidant power" assay and cyclic voltammetry. Biochim. Biophys. 2005 Jan 18; 1721(1-3):174-84.
- Cosio MS, Buratti S. Use of an electrochemical method to evaluate the antioxidant activity of herb extracts from the Labiateae family. Food. Chem. 2006 Aug; 97(4): 725-731.
- Murillo J. Las Euphorbiaceae de Colombia. Biota Colomb. 2004;5(2):183-00.
- Pisoschi A, Negulescu G, Pisoschi A. Ascorbic Acid Determination by an Amperometric Ascorbate Oxidase-based Biosensor. Rev Chim. 2010;61(4):339-44.

DETERMINACIÓN ELECTROQUÍMICA DE ANTIOXIDANTES PRESENTES EN LA AHUYAMA Y EL TOMATE CHONTO

ELECTROCHEMICAL DETERMINATION OF ANTIOXIDANTS IN THE PUMPKIN AND CHONTO TOMATO

Irma M. GARCÍA G.^{1,*}, Henry REYES P.², Alejandra ECHEVERRY A.¹, Jhon A. RODRIGUEZ E.¹

RESUMEN

Antecedentes: Los métodos electroquímicos son procedimientos reportados recientemente como una herramienta promisorio para evaluar la actividad antioxidante; ya que son mucho más económicos, rápidos y sensibles frente a otras técnicas analíticas comunes. Teniendo en cuenta que los antioxidantes son compuestos de gran importancia para la salud humana, el estudio de dichos procesos cobra cada vez más relevancia en la industria química. **Objetivo:** Determinar la capacidad antioxidante en la ahuyama y el tomate chonto por voltamperometría cíclica. **Métodos:** Se realizaron dos diluciones a partir del jugo de semillas de ahuyama y de la pulpa de tomate debidamente licuados; la primer dilución se hizo tomando un mililitro del jugo de cada solución llevándolo hasta 100 ml con H₂SO₄ 0,01M (dilución 1:100), y la segunda solución se realizó tomando 1 mililitro de la primer solución y llevándolo hasta 50 ml con agua desionizada (dilución 1:50). A partir de estas soluciones se hicieron mediciones de voltamperometría cíclica usando diferentes parámetros de medición especificados en tiempo de equilibrio. **Resultados:** Los voltamperogramas obtenidos proporcionaron una información cualitativa y cuantitativa de los antioxidantes presentes, se pudo observar que existe un mecanismo de reducción que consta de dos etapas, se le atribuyó también a dichas gráficas que el tipo de reacción que ocurrió para cada una de las diluciones de tomate y semillas de ahuyama fue reversible. De esta manera se pudo determinar la capacidad antioxidante y la concen-

tración del l-ácido ascórbico del tomate chonto y el α -tocoferol en la ahuyama. **Conclusión:** Se concluyó que las pruebas realizadas con el método de voltamperometría cíclica demostraron un proceso de reducción ocurrido para las muestras de tomate y ahuyama corroborando la actividad antioxidante de dichos frutos. Sin embargo la ahuyama es la que tiene mayor actividad antioxidante atribuida a la alta concentración de α -tocoferol en las semillas de la misma.

Palabras clave: Antioxidantes, ahuyama, electroquímica, tomate.

ABSTRACT

Background: Electrochemical methods are procedures recently reported as a promising tool to evaluate the antioxidant activity; since they are much faster, economical and sensitive than other common analytical techniques. Considering that antioxidants are compounds of great importance to human health, the study of these processes is becoming increasingly important in the chemical industry. **Objective:** Determine the antioxidant capacity in the pumpkin and chonto tomato by cyclic voltammetry. **Methods:** Two dilutions were performed from pumpkin seeds juice and tomato pulp duly liquefied; the first dilution was made by taking one juice milliliter of each solution bringing it to 100 ml with 0.01 M H₂SO₄ (1:100 dilution), and the second solution was made by taking one milliliter of the first solution and bringing to 50 ml with deionised water (1:50 dilution). From

¹ Magister en Química. Grupo de Investigación en Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias Agroindustriales. Universidad del Quindío. Armenia, Colombia.

² PhD en Tecnología de Membranas, Electroquímica y Medio Ambiente. Grupo de Investigación en Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias Agroindustriales. Universidad del Quindío. Armenia, Colombia.

³ Magister en Química. Grupo de Investigación en Ciencias ambientales. Facultad de Ciencias Agroindustriales. Universidad del Quindío. Armenia, Colombia.

⁴ Magister en Química. Grupo de Investigación en Ciencias ambientales. Facultad de Ciencias Agroindustriales. Universidad del Quindío. Armenia, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: imgarcia@uniquindio.edu.co

these solutions were made cyclic voltammetry measurements using different measurement parameters specified in equilibrium time. **Results:** The voltammograms obtained provided qualitative and quantitative information of the antioxidants, it could be observed that there is a reduction mechanism which consists of two stages; it was also attributed to these graphs that the kind of reaction that occurred for each dilutions of the tomato and pumpkin seeds was reversible. Thus it was determined the antioxidant capacity and concentration of l-ascorbic acid in chonto tomato and α -tocopherol in the pumpkin. **CONCLUSIONS:** It was concluded that the performed tests by the cyclic voltammetry method showed a reduction process occurred for tomato and pumpkin samples, corroborating the antioxidant activity of these fruits. However, the pumpkin is the one with the highest antioxidant activity attributed to the high concentration of α -tocopherol in the seeds thereof.

Keywords: Antioxidants, pumpkin, electrochemistry, tomato.

INTRODUCCIÓN

Las técnicas electroanalíticas como la voltamperometría cíclica son altamente utilizadas para brindar información cualitativa y cuantitativa acerca de las reacciones electroquímicas que ocurren en diversos tipos de muestras (1). Esto resulta de la habilidad que tiene dicha técnica para proveer rápidamente información en procesos termodinámicos donde ocurren reacciones con transferencia de electrones (2, 3). Dependiendo de la información que se busca, se pueden utilizar ciclos individuales o múltiples los cuales pueden ser observados en forma de gráficas que se denominan voltamperogramas cíclicos (4). Debido a que esta técnica es rápida económica, sensible y no requiere de grandes cantidades de muestra, es ampliamente utilizada en la determinación de antioxidantes presentes en muestras de alimentos (5, 6). Teniendo en cuenta que los parámetros de las reacciones redox son inherentes en los análisis de la voltamperometría cíclica, esto me permite atribuir a los compuestos que se reducen la capacidad antioxidante de los mismos. Las vitaminas hidrosolubles como la vitaminas C (ácido ascórbico) es conocida por sus propiedades reductoras, la cual actúa como un poderoso antioxidante que lucha contra las enfermedades de los radicales libres inducidos (7). Como un donante

de electrones, el ácido ascórbico sirve como uno de los antioxidantes de peso molecular pequeño más importantes que contribuye a la capacidad antioxidante total un indicador importante de la calidad de alimentos y bebidas (8). Debido al papel crucial de la vitamina C en aplicaciones industriales, la determinación de vitamina C todavía presenta interés para la investigación. Las vitaminas liposolubles como la vitamina E participan en múltiples procesos bioquímicos en el organismo que cumplen funciones vitales tales como; prevención de múltiples enfermedades, el estudio de dichos compuestos toma cada vez más fuerza en la industria de los alimentos (9). Es por ello que la finalidad de este estudio fue evaluar la cinética de reducción electroquímica del l- ácido ascórbico, vitamina c y α -tocoferol, vitamina e, presentes en la ahuyama y el tomate chonto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Para las mediciones de voltamperometría cíclica se utilizó un potencióstato Gamry Interface 1000[®] usando diferentes parámetros de medición especificados en tiempo de equilibrio: 60s, velocidad de escaneo: 50mV, rango de escaneo: 2mV, Número de ciclos: 5, Límites del ciclo (mV): 0 4 0 0. Las muestras de los frutos fueron obtenidas en Filandia Quindío en un estado óptimo de madurez.

Métodos

Se realizaron dos diluciones a partir del jugo de semillas de ahuyama y de la pulpa de tomate en H_2SO_4 (Dilución 1:100) y la segunda solución se realizó tomando un mililitro de la primer solución con agua desionizada (Dilución 1:50). A partir de estas soluciones se hicieron mediciones de voltamperometría cíclica. La celda se instaló en un balón de tres bocas fondo redondo, en presencia de flujo de nitrógeno en la atmósfera y poniendo platino como electrodo de trabajo, grafito como contra electrodo y un electrodo de referencia de $Hg/HgSO_4$.

RESULTADOS

A continuación en las figuras 1 y 2 se observan los voltamperogramas cíclicos obtenidos para las muestras de pulpa de tomate chonto y semillas de ahuyama.

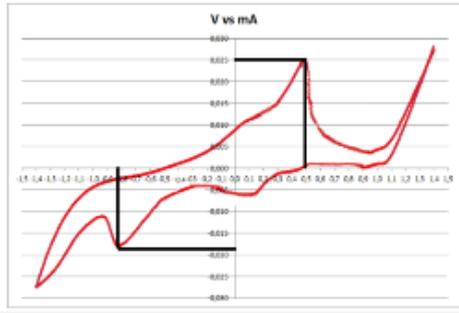


Figura 1. Voltamperograma de la Vitamina C.



Figura 2. Voltamperograma de la vitamina E

Método de Extrapolación de Taffel

Se utilizó este método para realizar los cálculos del coeficiente de transferencia del reactor electroquímico con los tres electrodos para esto se utilizó la ecuación 1.

$$pendiente\ de\ reducción = \frac{-\alpha * F}{2,3 * R * T} \text{ Ecuación (1)}$$

Donde la pendiente de reducción equivale a 8,048 1/V, F= 96485 C/mol, R= 8,314 V*C/mol*K, T= 298K

En las gráficas 4 y 5 se pueden observar las curvas de polarización anódica y catódica para la vitamina C en el tomate chonto y la vitamina E en las semillas de ahuyama obtenidas con la ecuación de Taffel.

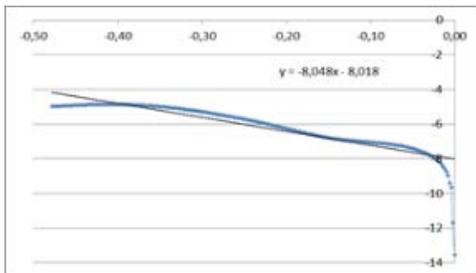


Figura 3. Curva de polarización catódica para las vitaminas C y E.

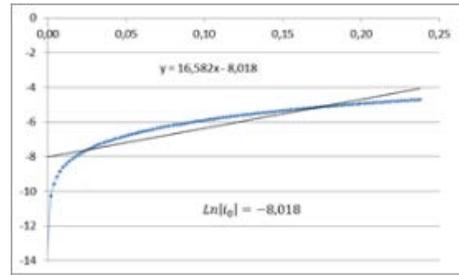


Figura 4. Curva de polarización anódica para las vitaminas C y E.

Para determinar las zonas lineales se graficó E – E₀ vs Ln |i| figura 6.

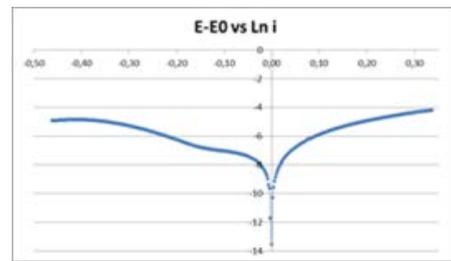


Figura 5. Linealización de la cinética del reactor

Reducción controlada de las vitaminas a potencial constante

Para los análisis de cronoamperometría para ambos frutos se empleó la ecuación 2 de Cottrell, figuras 7 y 8.

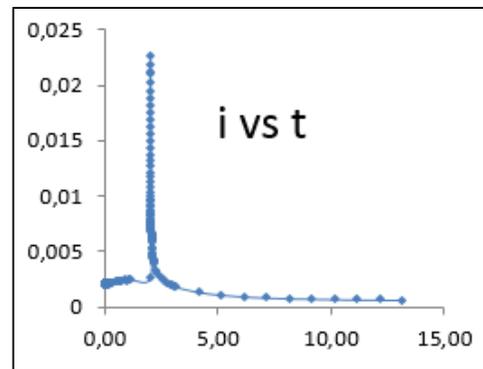


Figura 6. Cronoamperograma de la vitamina C.

Al realizar la gráfica de |A| vs t^(-1/2), tal como se observa en la figura 9, se calculó el Coeficiente de difusión D, utilizando la expresión (2):

$$\text{Coeficiente de Difusión} = D = \frac{pendiente^2 * \pi}{(n * R * A)^2} \text{ Ecuación (2)}$$

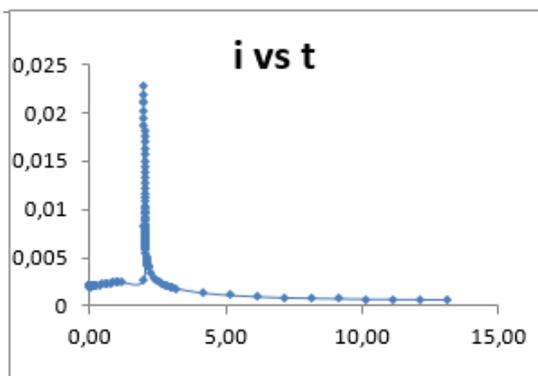


Figura 7. Cronoamperograma de la vitamina E.

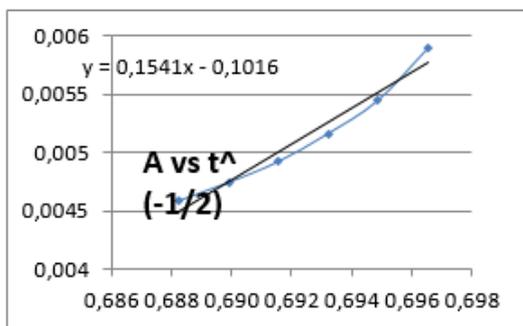


Figura 8. Gráfica linealidad vitamina C

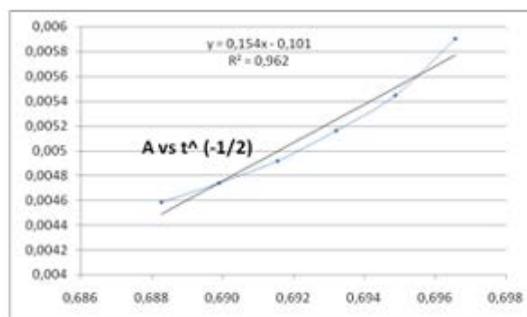


Figura 9. Gráfica linealidad vitamina E

Cuantificación de las vitaminas C y E para las muestras de tomate y ahuyama

Para cuantificar la concentración molar de las dos vitaminas, mediante ésta técnica electroquímica, se establece una ecuación característica, denominada Ecuación 3 de Cottrell la cual se expresa de la siguiente forma:

$$\text{Ecuación de Cottrel} = \frac{I(t)nFA C_0}{\pi^{1/2} t^{1/2}} \frac{D_0^{1/2}}{t^{1/2}} \text{ Ecuación (3)}$$

Donde I es la intensidad que depende del tiempo, n= número de electrones transferidos, F= constante de Faraday, C=concentración, D^{1/2}= coeficiente de difusión y t^{1/2} el tiempo en segundos.

Tabla 1. Parámetros para el cálculo de vitamina C y vitamina E.

Vitamina	i (Ma)	n	F (Col/mol)	A (Cm ²)	D (Cm ² /s)	t (s)	C (Mol/L)	Masa (g)
C	1.5x10 ⁻⁵	2	96500	0.1	0.0139	0.694	2.86x10 ⁻⁴	0.00225
E	5.2x10 ⁻⁵	2	96500	0.1	0.00254	0.694	1.56x10 ⁻³	0.036

DISCUSIÓN

Para establecer el potencial de reducción de ácido ascórbico, se evaluaron los comportamientos electroquímicos de estos iones en ácido sulfúrico (H₂SO₄). Evidenciando la reducción del ácido ascórbico sobre el electrodo de trabajo y otro en la curva de oxidación a un voltaje de 0,5 V. Por último, se aprecian igualmente dos picos; un pico alrededor de -0,34 V durante la exploración catódica que se atribuye a la reducción de la vitamina E. Se realizaron los cálculos del coeficiente de transferencia del reactor electroquímico con los tres electrodos, para lo cual se utiliza la técnica de extrapolación de Tafel para las dos vitaminas mostrándose una reacción de óxido-reducción. Se determinó α = 0,47 lo cual

indica que el sistema está en equilibrio de oxidación y reducción; muestra una simetría respecto a la energía de activación para la reducción y oxidación de las especies de vitamina C y E. Para los análisis de cronoamperometría se aplicó un pulso de corriente al sistema con lo cual se analizó el coeficiente de difusión empleando la ecuación de Cottrell para electrodos cilíndricos. Reemplazando los valores en la ecuación (2) se determinó D = 0,0139192 cm²/s evidenciando el transporte de masa por movimiento atómico de los iones que se forman debido al pulso de corriente permitiendo la migración de átomos de vitamina C y E sobre el electrodo de Pb-Sn. Los valores de concentración obtenidos para la vitamina C se encuentran dentro de los rangos reportados por otros autores (10), observándose que la con-

centración de Tocoferol (Vitamina E) presente en esta especie de semillas de ahuyama es mayor a la de la vitamina C de la pulpa del tomate, lo cual es un indicio de que la capacidad antioxidante de la vitamina E, es mayor.

CONCLUSIONES

La medición de voltametría cíclica con el electrodo de plomo-estaño sumergido en la solución electrolítica de 0,1 M de H_2SO_4 muestra que a velocidades de escaneo menores se facilitan las reacciones químicas generando el proceso de oxidación, disminuyendo la eficiencia del proceso, en especial para la vitamina E. El valor de α revela el equilibrio de oxidación química y reducción electroquímica.

El proceso de reducción ocurrido para ambas muestras de tomate y ahuyama corroboran la actividad antioxidante de dichas verduras, esto se puede demostrar con los valores del coeficiente de difusión $D=0,00254\text{cm}^2/\text{s}$, a su vez se pudo observar también en el cálculo de la masa obtenida $M=0,036\text{g}$, lo que ratifica que este subproducto de la ahuyama es el que tiene mayor actividad antioxidante atribuida a la alta concentración de α -tocoferol en las semillas de la misma.

REFERENCIAS

1. Sholz F. *Electroanalytical Methods*. Segunda Edición. New York, Estados Unidos: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010; 5 p.
2. Wang J. *Analytical Electrochemistry*. Tercera Edición. New York, Estados Unidos: Wiley-VCH, 2006; 25 p.
3. Barros L, Cabrita L, Boas MV, Carvalho AM, Ferreira ICFR. Chemical, biochemical and electrochemical assays to evaluate phytochemicals and antioxidant activity of wild plants. *Food Chem. Elsevier Ltd*. 2011;127(4):1600-8.
4. Chen M, Huang S, Hsieh C, Lee J-Y, Tsai T. *Electrochimica Acta* Development of a Novel Iodine-Vitamin C / Vanadium Redox Flow Battery. *Electrochim Acta. Elsevier Ltd*. 2014;141:241-7.
5. Valek L, Stipc T. Electrochemical determination of antioxidant capacity of fruit tea infusions. *Food Chem*. 2010;121:820-5.
6. Drach M, Narkiewicz-michałek J, Sienkiewicz A, Szymula M, Bravo-díaz C. Antioxidative properties of vitamins C and E in micellar systems and in microemulsions. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp. Elsevier B.V*. 2011;379(1-3):79-85.
7. Nie T, Xu J, Lu L, Zhang K, Bai L, Wen Y. Biosensors and Bioelectronics Enhanced sensitivity for electrochemical simultaneous determination of vitamins B₂, B₆ and C. *Biosens Bioelectron. Elsevier*. 2013;50:244-50.
8. Thangamuthu R, Kumar SMS, Pillai KC. Direct amperometric determination of l-ascorbic acid (Vitamin C) at electrode in fruit juice and pharmaceuticals. *ScienceDirect*. 2007;120:745-53.
9. Agustino E, Li R. Evaluación de la capacidad antioxidante de siete plantas medicinales peruanas. *Rev Horiz Médico*. 2008;8(1):56-72.
10. Pisoschi A, Negulescu G, Pisoschi A. Ascorbic Acid Determination by an Amperometric Ascorbate Oxidase-based Biosensor. *Rev Chim*. 2010;61(4):339-44.

DETERIORO DE UNA BOLSA BIODEGRADABLE DE ALMIDÓN DE YUCA CON ÁCIDO POLILÁCTICO EN UN VIVERO

DETERIOTATION OF A BIODEGRADABLE BAG FROM CASSAVA STARCH WHIT POLILACTIC ACID IN A NURSERY

Jhon Jairo PALECHOR TRÓCHEZ^{1*}, Alcy Rene CERÓN MOSQUERA², Héctor Samuel VILLADA CASTILLO³, Margarita del Rosario SALAZAR SÁNCHEZ⁴

RESUMEN

Antecedentes: El uso de bolsas de polietileno en la etapa de vivero del cultivo de diversas plantas, se ha convertido en un problema difícil de manejar debido a que no posee la capacidad de degradarse después de su uso, como alternativa se presentan los materiales biodegradables elaborados a partir de almidón termoplástico de yuca (TPS) combinados con ácido poliláctico (PLA). Sin embargo, existe la necesidad de evaluar su desintegración estructural de estos materiales en la etapa de vivero. **Objetivo:** En este trabajo se realizó la evaluación del deterioro de las propiedades mecánicas de tensión de una bolsa biodegradable obtenida a partir de almidón de yuca y ácido poliláctico, empleada en la etapa de vivero de un cultivo de café por 120 días. **Métodos:** La bolsa biodegradable fue elaborada empleando una mezcla de almidón termoplástico de yuca y PLA por extrusión soplado con fuelle lateral y sellado inferior, la resistencia mecánica a la tensión se midió de acuerdo con la norma ASTM D 882-12 para especímenes en sentido longitudinal y transversal por 120 días, tomando mediciones cada 15 días. **Resultados:** Los datos obtenidos indican que la resistencia máxima a la tensión de la bolsa biodegradable presentan una variación desde el día 0 hasta el día 120, iniciando con un valor promedio de $6,72 \pm 0,84$ MPa y finalizando con un valor de $2,50 \pm 1,58$ MPa para los especímenes en sentido

longitudinal, mientras que para los especímenes en sentido transversal se inició con $5,89 \pm 0,90$ MPa y se terminó con $1,38 \pm 0,68$ MPa, indicando un deterioro significativo de la bolsa biodegradable durante los 120 días de la etapa de vivero. **Conclusiones:** La bolsa biodegradable empleada en la etapa de vivero de plántulas de café presenta un deterioro en la resistencia máxima a la tensión, puesto que se presenta una variabilidad de esta propiedad durante los 120 días de evaluación.

Palabras clave: Biodegradación, cultivos agrícolas, película biodegradable, Almidón, Propiedades físicas.

ABSTRACT

Background: The use of polyethylene bags in the nursery stage of growing various plants, has become a difficult problem to manage because it lacks the ability to degrade after use, as alternative biodegradable materials made from present cassava termoplastic starch (TPS) combined with polylactic acid (PLA). However, there is a need to assess the mechanical strength of such materials in the nursery stage. **Objectives:** In this work the assessment of deterioration of the mechanical properties of a biodegradable bag was rewarded obtained from cassava starch and polylactic acid, used in the nursery stage of a crop of coffee for 120 days was carried out. **Methods:** The biodegradable bag was prepared using a mixture of PLA and cassava termoplastic starch by extrusion

¹ Ingeniero Agroindustrial, estudiante de Maestría en Ingeniería Agroindustrial, Investigador grupo Cytbia, Universidad del Cauca, Popayán, Cauca, Colombia.

² M.Sc. en Ciencias Químicas, Estudiante Doctorado en Ciencias Agrarias y Agroindustriales, Investigador Grupo Cytbia, Universidad del Cauca, Popayán, Cauca, Colombia.

³ Ph.D en Ingeniería con Énfasis en Alimentos, Director Grupo Cytbia, Profesor de Planta, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agroindustria, Universidad del Cauca, Popayán, Cauca, Colombia.

⁴ M.Sc. en Recursos Hidrobiológicos Continentales, Estudiante Doctorado en Ciencias Agrarias y Agroindustriales, Investigadora Grupo Cytbia, Universidad del Cauca, Popayán, Cauca, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: j2palechor@hotmail.com – jjpalechor@unicauca.edu.co

blow side and bottom gusset sealing, mechanical tensile strength was measured according to ASTM D 882-12 standard specimens in longitudinal and transverse directions by 120 days, taking measurements every 15 days. **Results:** The data indicate that the maximum tensile strength of the biodegradable bag presented a variation from day 0 to day 120, starting with an average value of 6.72 ± 0.84 MPa and ending with a value of 2.50 ± 1.58 MPa for the specimens in the longitudinal direction, whereas for specimens transversely began with 5.89 ± 0.90 MPa and completed with 1.38 ± 0.68 MPa, indicating significant impairment of biodegradable bag during the 120 days of the nursery stage. **Conclusions:** The biodegradable bag employed in the nursery stage coffee seedlings will deteriorate in a high tensile strength, since a variation of this feature is present during the 120 days of evaluation.

Keywords: Biodegradation, Agricultural cultivation, biodegradable film, Starch, Physical properties.

INTRODUCCIÓN

Las bolsas para vivero son elaboradas generalmente de polietileno de baja densidad, son de color negro, perforadas y sus dimensiones varían según el tipo de cultivo y el tiempo planificado en la etapa de vivero, siendo este sistema el de mayor uso en muchas partes del mundo para el desarrollo de las plantas (3). En Colombia, el uso de este tipo de productos es muy común en el cultivo de café, tanto así que Cenicafé reporta una producción anual de 324 millones de plantas de café, relacionando el uso potencial de 324 millones de bolsas de polietileno de baja densidad, sin embargo no se ha establecido algún programa o proceso para su disposición final, dejando latente aún la problemática generada por el uso de bolsas plásticas (8).

El material del cual están compuestas las bolsas para vivero, no les da la capacidad de biodegradarse y si se tiene en cuenta que su función en esta etapa es de 3 a 6 meses, tiempo en el que se realiza el trasplante de las plántulas de una gran variedad de cultivos al sitio definitivo, trae como consecuencia que las bolsas se conviertan en desechos, generando contaminación al ambiente si estas no se manejan de una manera adecuada (11).

A partir de almidón se pueden elaborar bolsas para vivero, las cuales son plenamente biodegradables, no obstante presentan algunas limitaciones

tales como: la sensibilidad al agua, la retrogradación y las bajas propiedades mecánicas (6). Estas limitantes dificultan el uso del almidón termoplástico en el diseño de materiales biodegradables, por lo que se requiere mezclarlo con otros polímeros termoplásticos biodegradables menos hidrofílicos (10). Para determinar el uso de estas bolsas biodegradables, se requiere de estudios que permitan evaluar el deterioro en campo de estas bolsas biodegradables, determinando la variación de sus propiedades, principalmente las propiedades mecánicas (3).

El objetivo principal del presente estudio fue evaluar el deterioro en las propiedades mecánicas de tensión de bolsas biodegradables elaboradas a partir de una mezcla de almidón de yuca (TPS) y ácido poliláctico (PLA), empleadas como bolsas para cultivo de plántulas de café en la etapa de vivero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Almidón de yuca, suministrado por Amtex Colombia. Ácido poliláctico (Referencia 4032D) suministrado por Cargill Dow Polymers LLC (USA). Glicerol grado analítico (99.5% de pureza), provisto por DISAN S.A (Cali-Colombia), anhídrido maléico (99% de pureza, Merck), y un compost obtenido de los residuos orgánicos recolectados en la Universidad del Cauca.

Elaboración de las bolsas a partir de una película flexible.

Se empleó la metodología de la patente de los inventores Castañeda y Villada (12), empleando un almidón termoplastificado en un extrusor de tornillo doble marca ThermoScientific, modelo HaakePolylab OS (Alemania). El cordón fue pelletizado en una pelletizadora Inmagraf (Colombia).

El ácido poliláctico (PLA), anhídrido maléico (AM), junto con peróxido de hidrógeno como agente iniciador fueron extruidos en tornillo simple marca ThermoScientific, modelo HaakePolylab OS (Alemania), el PLA extruido fue pelletizado.

Los pellets de almidón termoplástico (TPS) y ácido poliláctico (PLA) fueron mezclados y se procesaron en un extrusor de tornillo simple para obtener la película (mezcla binaria), empleando un dado de soplado y un conjunto de rodillos para estandarizar el espesor del tubular de la bolsa biodegradable.

Para la elaboración de la bolsa biodegradable se empleó el tubular, para ello se utilizó una selladora

horizontal de banda continua [Jores Technologies, CBS-7301, U.S.A.], el tubular fue cortado en a una longitud de 20 cm y a cada trozo de tubular se le efectuó un fuelle lateral de 1,5 cm aproximadamente y se selló en la parte inferior.

Llenado de las bolsas biodegradables con tierra y trasplante de la plántulas

La tierra fue tamizada empleando una malla de un diámetro de 4 mm, luego se preparó una mezcla de tierra y compost en una relación de 2:1. A cada una de las bolsas se les trasplantó una plántula de café. Las bolsas fueron sometidas a condiciones normales de vivero de un cultivo de café, luz solar con una protección del 60% empleando una poli sombra. El protocolo para realizar el muestreo consistió en tomar 5 bolsas cada 15 días por un periodo de 120 días para la medición de la resistencia máxima a la tensión.

Medición de la resistencia máxima a la tensión

Se obtuvieron los especímenes con forma rectangular de 20 mm de ancho y 50 mm de largo, tomando la parte vertical de las bolsas como el sentido longitudinal y la parte horizontal de las bolsas como el sentido transversal y se les determinó su espesor empleando un medidor de espesores Mitutoyo. La prueba de tensión se llevó a cabo de acuerdo a lineamientos establecidos por la norma ASTM D 882-12. Para ello se empleó una maquina universal de ensayos Shimadzu EZ-L y se midió la resistencia máxima a la tensión.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se hizo mediante un ANOVA y prueba de Tukey para una confiabilidad del 95%, empleando el software IBM SPSS Statistics versión 20.

RESULTADOS

La bolsa biodegradable a condiciones de vivero de plántulas de café, la resistencia máxima a la tensión varía desde el día 15, para los especímenes en sentido longitudinal iniciando con un valor de $6,72 \pm 0,84$ MPa y para la día 15 se redujo hasta $3,39 \pm 1,36$ MPa con una diferencia significativa ($\alpha < 0,05$), para el día 30 se presentó un aumento significativo hasta $8,00 \pm 3,26$ MPa, aumento que se da hasta el día 45 donde se registra el valor más alto con $8,32 \pm 5,15$ MPa.

A partir del día 60 se observó una tendencia en la disminución de la resistencia máxima a la tensión con un valor de $4,52 \pm 1,95$ MPa significativo para un $\alpha < 0,05$ en referencia al día 0, luego para el día 75 se presenta un aumento a $5,72 \pm 4,28$ MPa significativo en referencia al día 0. Finalmente para los días 90, 105 y 120 se presentó una disminución significativa ($\alpha < 0,05$) de la resistencia máxima a la tensión en referencia a la inicial, con valores de $2,69 \pm 0,87$ MPa, $1,47 \pm 0,62$ MPa y $2,50 \pm 1,58$ MPa respectivamente.

En relación a los especímenes en sentido transversal de la bolsa biodegradable, se inició con un valor de $5,89 \pm 0,90$ MPa, el cual disminuyo significativamente a $4,22 \pm 1,86$ MPa para el día 15. En lo que respecta al día 45 se registró una disminución de la resistencia máxima a la tensión de $3,92 \pm 1,61$ (significativo para un $\alpha < 0,05$ en referencia al inicial), igual que con el día 60 el cual aumento a $5,04 \pm 2,10$ MPa, similar ocurre con los días 75 y 90 donde se registró unos valores menores de $4,02 \pm 1,39$ MPa y $3,39 \pm 2,02$ Mpa respectivamente, finalmente para los días 105 y 120 se observó una disminución significativa ($\alpha < 0,05$) de $1,20 \pm 0,59$ MPa y de $1.38 \pm 0,68$ MPa respectivamente.

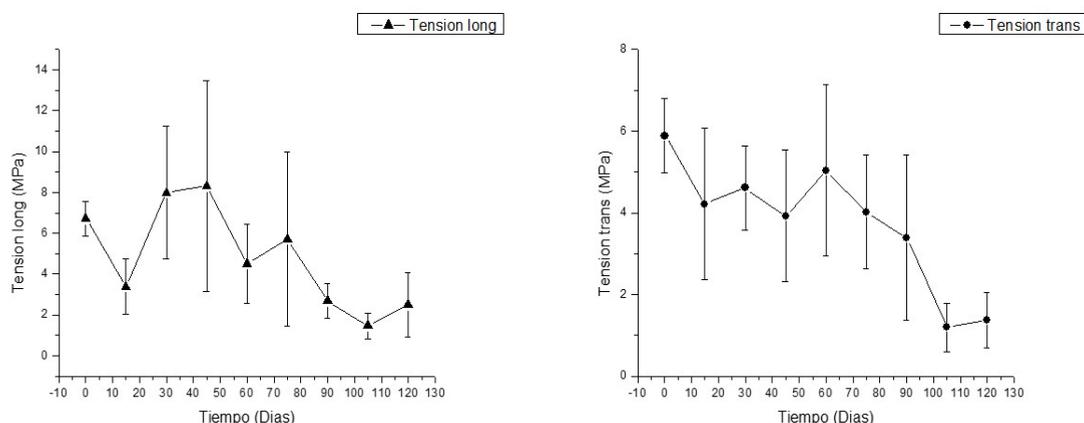


Figura 1. Comportamiento de la resistencia máxima a la tensión de la bolsa biodegradable para los especímenes en sentido longitudinal y transversal.

En la figura 1 se presenta el comportamiento de las muestras en la determinación de la resistencia máxima a la tensión para los especímenes en sentido longitudinal y transversal.

DISCUSIÓN

Los microorganismos presentes en el sustrato de la etapa de vivero de plántulas de café, entran en su periodo de activación y degradación sobre la bolsa biodegradable en los primeros 20 días, generando un incremento poblacional en el crecimiento de microorganismos lo que pudo generar el deterioro de la bolsa biodegradable (5), comportamiento que es evidenciado en la figura 1 donde se observó una disminución de la resistencia máxima a la tensión pasados 15 días. En esencia, el deterioro de un material biodegradable, como la bolsa elaborada a partir de almidón de yuca, es el resultado de la exposición al calor, humedad, luz solar y/o enzimas que cortan y debilitan las cadenas poliméricas (2).

Otro de los factores que puede disminuir la resistencia máxima a la tensión en el proceso de desintegración del material biodegradable en un vivero son las propiedades físicas y químicas de sus componentes, por ejemplo el TPS presenta limitantes en el desarrollo de bolsas biodegradables debido a su naturaleza hidrofílica, ocasionando cambios en las propiedades mecánicas del material en el momento en que este se expone a una alta humedad (7), combinado con el contacto directo con el suelo el cual favorece la absorción de humedad de los biopolímeros empleados en la mezcla para la elaboración del material.

Ensayos realizados han evaluado el deterioro del ácido poliláctico (PLA) exponiéndolo a contacto directo con un compost hecho de residuos de poda, virutas de madera, hojas secas y paja, manteniendo una humedad relativa del 50 a 70%, planteando que durante el deterioro se genera una degradación hidrolítica del PLA, originando productos que pueden ser asimilados por diversidad de microorganismos, tales como hongos o bacterias (4). De acuerdo a lo anterior, la bolsa biodegradable empleada en el presente estudio, pudo haber sido empleada como alimento y sometido al metabolismo microbiano, favoreciendo la reducción de la resistencia máxima a la tensión.

El aumento registrado en esta propiedad entre los días 30 a 45 pudo haber sido causado por la ganancia de humedad del material, este entorno húmedo le

confiere al material la capacidad de re-cristalizar las zonas amorfas dado su alto contenido de almidón, ocasionando una acción de reorganización por el agua al interior del material (1), al ser este un material altamente hidrofílico (11), generando una variación en la cantidad de amilosa y la estructura de las moléculas de amilopectina, y al incrementar las zonas cristalinas en el TPS, hace al material más difícil de romper, ya que las interacciones de amilosa con moléculas de amilopectina ramificada aumenta, dando lugar a enredos de estructuras de doble hélice de amilosa y las cadenas externas de amilopectina (6).

CONCLUSIONES

La evaluación indicó que la degradación de la bolsa biodegradable se inicia desde el día 15 de estudio. El tipo de degradación probablemente se da por acción microbiana dada la naturaleza del procedimiento realizado, evidenciados por los cambios observados en la resistencia máxima a la tensión.

AGRADECIMIENTOS

Al grupo de investigación en Ciencia y Tecnología de Biomoléculas de Interés Agroindustrial (CYTBIA); al Sistema General de Regalías (SGR) como ente financiador del proyecto Investigación y Desarrollo en Empaques Biodegradables (ID3849) y a la Universidad del Cauca y Gobernación del Cauca como entes ejecutores.

BIBLIOGRAFÍA

1. Averous L, Moro L, Dole P, Fringant C. Properties of thermo-plastic blends: Starch-polycaprolactone. *Polymer (Guildf)*. 2000; 41(11):4157-67.
2. Müller C, Townsend K, Matschullat J. Experimental degradation of polymer shopping bags (standard and degradable plastic, and biodegradable) in the gastrointestinal fluids of sea turtles. *Sci Total Environ* [Internet]. Elsevier B.V. 2012; 416:464-7.
3. Bilck AP, Grossmann MVE, Yamashita F. Biodegradable mulch films for strawberry production. *Polym Test* [Internet]. Elsevier Ltd. 2010; 29(4):4716.
4. Fukushima K, Tabuani D, Abbate C, Arena M, Ferreri L. Effect of sepiolite on the biodegradation of poly(lactic acid) and polycaprolactone. *Polym Degrad Stab* [Internet]. Elsevier Ltd. 2010; 95(10):2049-56.
5. Nguyen DM, Vu TT, Grillet A-C, Ha Thuc H, Ha Thuc CN. Effect of organoclay on morphology and properties of linear low density polyethylene and Vietnamese cassava starch biobased blend. *Carbohydr Polym* [Internet]. 2016; 136:163-70.
6. Xie F, Flanagan BM, Li M, Truss RW, Halley PJ, Gidley MJ, et al. Characteristics of starch-based films with different amylose contents plasticised by 1-ethyl-3-methylimidazolium acetate. *Carbohydr Polym* [Internet]. Elsevier Ltd. 2015; 122:160-8.

7. Shirai MA, Grossmann MVE, Yamashita F, Garcia PS, Müller CMO. Development of biodegradable flexible films of starch and poly (lactic acid) plasticized with adipate or citrate esters. *Carbohydr Polym* [Internet]. Elsevier Ltd. 2013; 92(1):19-22.
8. Farfán F. Residuos de la producción cafetera para la producción y uso como abonos orgánicos [Internet]. Colombia. CENICAFE – Centro Nacional de Investigaciones de Café [Citado enero 15 del 2016]. Disponible en Internet. URL <https://www.infocafes.com/descargas/biblioteca8.pdf>.
9. Gabriel E, Rodríguez G. almácigos de café (*Coffea arabica*) var. Caturra Evaluación de tres sistemas de producción de almácigos de café (*Coffea arabica*) var. Caturra. 2010.
10. Castañeda Niño, Juan Pablo. Estudio de la retrogradación en películas flexibles obtenidas a partir de mezclas de almidón nativo de yuca, ácido poli-láctico (PLA) y policaprolactona (PCL). [Tesis de Maestría]. [Santiago de Cali, Colombia] Universidad del Valle. 2012; 80 p.
11. Gutiérrez Rodríguez, Erick Gabriel, Muñoz Chaves, Moisés Josué. Evaluación de tres sistemas de producción de almácigos de café (*Coffea arabica*) var. Caturra. [Tesis de Maestría]. [Zamorano, Honduras] Universidad de Zamorano. 2010; 24 p.
12. Villada Castillo H, Navia Porras D, Castaneda Nino J. Biodegradable films obtained from cassava starch and their manufacture process. United States patent US 20140235763 A1. 2012 Sep 21.

SECADO POR ATOMIZACION DE EXTRACTOS DE *Furcraea spp* Y EVALUACION DE SU CAPACIDAD FUNGISTATICA SOBRE *M. roreri* y *P. palmivora*

SPRAY DRYING OF *Furcraea spp* EXTRACTS AND EVALUATION OF THEIR FUNGISTATIC ABILITY ON *M. roreri* AND *P. palmivora*

Rojas S. Myriam^{1*}, APRAEZ Alexander², MUÑOZ S. Alexander²

RESUMEN

Antecedentes: El cacao es uno de los productos agrícolas con mayor potencial económico en Colombia. No obstante, problemas fitosanitarios causados por *P. palmivora* y *M. roreri*, han causado pérdidas de hasta 40 y 60% respectivamente. Los agroquímicos no han sido suficientes para su control, por lo tanto existe la necesidad de buscar alternativas eficientes y ambientalmente sostenibles. La agroindustria del fique (*Furcraea spp.*) genera altas cantidades de residuos líquidos portadores de sustancias con actividad alelopática, dichos residuos son materia prima potencial para la elaboración de biofungicidas. **Objetivo:** Determinar la capacidad fungistática de los extractos de fique, líquidos y en polvo, sobre *M. roreri* y *P. palmivora* a nivel *in vitro*. **Métodos:** Se hizo caracterización fisicoquímica de los extractos antes y después del secado, y la evaluación de la capacidad fungistática frente a los patógenos *in vitro* mediante la técnica de difusión en agar empleando un Diseño Irrestringidamente al Azar (DIA) con la inhibición del crecimiento micelial como variable de respuesta. **Resultados:** Se determinó que el proceso de secado por atomización no afecta el contenido de hecogenina ni la capacidad fungistática de los extractos. **Conclusión:** Los extractos de fique pulverizados mediante secado por atomización pueden usarse como fungicida útil contra *M. roreri* y *P. palmivora*.

Palabras clave: Biofungicida, productos naturales en polvo, problemas fitosanitarios, inhibición del crecimiento.

ABSTRACT

Background: Colombian cocoa is one of the most important agricultural products in the national

economy. However nowadays the Colombian cocoa farmers face some problems caused by *P. palmivora* and *M. roreri*, these have caused loss of product to 40 and 60% respectively. The agrochemicals have not been enough to control it, so there is the need to find efficient and environmentally sustainable alternatives. The sisal (*Furcraea spp.*) agroindustry produces large amounts of waste liquid carriers of substances with allelopathic activity, such waste are potential raw material for the production of bio-fungicides. **Objective:** Determine the fungistatic ability of sisal extracts, liquid and powders, over control *M. roreri* and *P. palmivora* of cocoa to *in vitro* level. **Methods:** Made the physicochemical characterization of the extracts, before and after drying, and evaluation against pathogens *in vitro* by Completely Randomized Design CRD with simple arrangement, with inhibition of mycelial growth as the response variable. **Results:** It was determined that the spray drying process does not affect the hecogenin content neither fungistatic ability of the extracts. **Conclusions:** Sisal extracts pulverized by spray drying can be used as a useful fungicide against *M. roreri* and *P. palmivora*.

Keywords: Biofungicide, powder natural products, phytosanitary problems, growth inhibition.

INTRODUCCIÓN

El cacao *Theobroma cacao L.* es un cultivo de gran relevancia económica, social y ambiental en Colombia (1). En Nariño, existen 9946 hectáreas., de la cual dependen 11937 familias y (2). Los problemas fitosanitarios son los principales causantes de pérdida de producción y calidad. En Colombia, la moniliasis causada por *Moniliophthora roreri* (Cif

¹ Ingeniera Agroindustrial M.Sc, Investigadora de la Corporación para la Investigación Aplicada al Desarrollo CIAD, Pasto, Nariño, Colombia.

² Ingeniero Agroforestal, Investigador de la Corporación para la Investigación Aplicada al Desarrollo CIAD. Pasto, Nariño, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: mcrojass@unal.edu.co

& Par) Evans *et al*, ha alcanzado pérdidas de hasta el 60% de la producción (3). Adicionalmente, la mazorca negra, causada por *Phytophthora palmivora* (Butler) Butler, responsable del 20 al 40% de pérdidas en el mundo (4). Las estrategias de control con agroquímicos han incrementado la resistencia del hongo y contaminación ambiental (3).

El Fique (*Furcraea spp.*) se cultiva para obtener fibra, 4% del total y se desecha el 96%, siendo el 70% extractos líquidos (5). Estos últimos, son portadores de saponinas, azúcares, ácidos grasos, entre otros (6), además de presentar actividad alelopática frente a *Phytophthora infestans* (7). Estos extractos tienen alta actividad acuosa, por ello son inestables, de esta manera se busca deshidratarlos para mejorar su estabilidad, facilitar el transporte, almacenamiento, e incrementar la vida útil. El secado por atomización es una técnica muy utilizada para secar materiales termosensibles mediante la cual, es posible mantener o en algunos casos mejorar las propiedades fisicoquímicas de los productos (8) Esta técnica se ha aplicado en diferentes productos satisfactoriamente. Así, se ha pulverizado el jugo de naranja (9), de arrayan (10), de guayaba (11) y de lulo (12), también para la preparación de aromas y sabores, como la microencapsulación de aceite de café (13). En el área farmacéutica para preparar micropartículas de calcio (14) y microencapsulación del ácido gálico (15). De esta forma, este estudio evaluó la actividad fungistática de extractos de fique contra *M. roseri* y *P. palmivora* y la viabilidad de su conservación, mediante secado por atomización.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los extractos líquidos se obtuvieron mediante la molienda de las pencas del fique en un molino de rodillos, se filtró y se dejó fermentar espontáneamente (25–30 °C) por 4 días. La humedad (X_w) se determinó en un analizador de humedad Ohaus® MB 45 (16). El pH se midió con potenciómetro calibrado. Los sólidos solubles (°Brix) en un equipo digital °BRIX HI 96801. La actividad acuosa (a_w) en higrómetro (Aqualab serie 3TE) y la densidad (ρ) en un picnómetro de 25 mL (21–23 °C). Para la extracción de saponinas, se hizo una hidrólisis con H_2SO_4 (6% v/v) a 80 °C por 5 h, se filtró y neutralizó con NaOH, extracción fue heptano 1:20 m/v y cristalización metanol según método de Sharapin (2000) (17). Las saponinas cristalizadas fueron analizadas por HPLC-DAD (Serie Agilent

1100), columna ZORBAX Eclipse XDB-C8 (150 mm, 4.6 mm 3.5 μm id); fase móvil acetonitrilo: agua (55: 45); flujo isocrático de 1 mL min^{-1} ; a 25 °C y detección a 203 nm. La curva de calibración con hecogenina (97.26% de pureza, Chengdu Biopurify Phytochemicals Ltd.) en concentraciones de 20–300 mgL^{-1} . Adicionalmente las saponinas se analizaron mediante GC-MS (Shimadzu®) cuya identificación se realizó con la base de datos NIST y el estándar de hecogenina.

El secado se hizo en un secador de ciclo abierto (Vibrasec) con capacidad de 1.5 Lh⁻¹. El método utilizado fue el optimizado por Rojas S (2014) (18), con temperatura de entrada (T_i): 160 °C, temperatura de salida (T_o): 83 °C, velocidad atomización (A_s): 27000 rpm y concentración de goma xantana (D_a): 0,3%. La solubilidad, se calculó según el método de Eastman y Moore (19).

Se aisló los patógenos según método de Arbealaez (2010) (20). La identificación macro y microscópica se hizo según características de crecimiento de colonia, morfología de las conidias y micelio del hongo, basados en Barnett y Hunter (21) y Evans (22) para *M. roseri* y las descripciones de Martínez *et al* (23) para *P. palmivora*.

La evaluación *in vitro* se llevó a cabo mediante pruebas de difusión en agar extracto de malta, en concentraciones de extracto de 10, 100, 1000, 10000, 100000 $\mu g mL^{-1}$, el testigo comercial (oxicloruro de cobre a 15000 $\mu g mL^{-1}$) y el testigo absoluto. Se depositó el inóculo de *M. roseri* en el centro de cada caja de Petri. El efecto inhibitorio se cuantificó mediante el crecimiento del diámetro del micelio a 672 h de incubación a 28 °C (24). Se analizó los datos mediante un DIA, con 12 tratamientos. Para *P. palmivora*, se utilizó la misma anterior en Agar Sabouraud más cáscara de cacao. Las concentraciones fueron: 25 %, 50%, 75% y 100% (m/v) y como testigo comercial (i.e. Metalaxil en dosis de 15000 ppm); incubación de 12 días a 27 °C. El porcentaje de inhibición respecto al testigo absoluto sin enmendar, se calculó así: $\%I = (C-T/C) \cdot 100$, donde, C es el crecimiento radial en el Testigo absoluto y T en el tratamiento (25). Con base en el porcentaje de inhibición, se determinó la eficacia mediante los calificativos propuestos para esta investigación, así: Altamente eficiente AE (80 – 100%); Eficiente E (60 – 79%); Medianamente eficiente ME (40 – 59%); Baja eficiencia BE (20 – 39%); Ineficiencia I (0 – 19% de Inhibición). El análisis estadístico de los datos se realizó mediante Infostat® 2015.

RESULTADOS

En la Tabla 1, se presenta los resultados de caracterización de extractos líquidos.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de extractos líquidos de fique.

Parámetro	Extracto de fermentado
Densidad (ρ)	1.036a (g mL ⁻¹) \pm 0.001
Sólidos solubles ($^{\circ}$ Bx)	7.8b (%) \pm 0.015
Humedad (X _w)	92.2 b (%) \pm 0.025
pH	4.03b \pm 0.01

Del secado se obtuvo un rendimiento (ϵ) del 62,2%, con un porcentaje de material adherido a las paredes (S_w) del 14%, la X_w final de 3,98% y a_w de 0,26 con alta solubilidad (98%). Se encontró una concentración de 3092 mg kg⁻¹ de hecogenina en base seca en los extractos líquidos, y 3062 mg kg⁻¹ en los pulverizados. Por GC-MS, se identificó la hecogenina y tigogenina con porcentajes de área relativos de 44 y 49,1 % respectivamente.

En la tabla 2 se presentan los resultados de *M. roleri*; donde se consideran eficientes a los extractos de fique pulverizados y líquidos a 100000 μ g mL⁻¹ que lograron inhibiciones del de 76,57% y 75,87% respectivamente.

Tabla 2. Prueba de LSD de Fisher para el crecimiento de *M. roleri* frente a los tratamientos.

Tratamientos	N	Diámetro (D) a 627 horas (cm)	Inhibición (%)	LSD de Fisher	Eficacia
Extracto pulverizado 100000ppm	4	1,10	76,57	A*	E
Extracto líquido 100000ppm	4	1,14	75,87	A*	E
Extracto pulverizado 10000ppm	4	2,63	43,08	B	ME
Extracto líquido 10000ppm	4	4,09	18,66	C	I
Extracto líquido 10ppm	4	4,38	16,44	C D	I
Extracto líquido 1000ppm	4	4,86	11,55	C D	I
Testigo absoluto 0ppm	4	4,91	-	C D	I
Extracto líquido 100ppm	4	5,24	6,76	C D	I
Extracto pulverizado 100ppm	4	5,26	6,02	C D	I
Testigo comercial 1500ppm	4	5,29	3,09	C D	I
Extracto pulverizado 1000ppm	4	5,35	2,62	C D	I
Extracto pulverizado 10ppm	4	5,45	0,34	D	I

*Tratamientos seguidos de la misma letra no presentan diferencia estadística a un nivel del 95%.

En la tabla 3 se presentan los resultados de *P. palmivora*, donde todas las concentraciones evaluadas lograron inhibiciones superiores al 80%.

Tabla 3. Prueba de LSD de Fisher del crecimiento de *P. palmivora* frente a los tratamientos.

Tratamientos	N	Diámetro (D) a 192 horas (cm)	Inhibición (%)	LSD de Fisher	Eficacia
Testigo comercial	4	1,10	86,09	A	AE
Extracto de fique (100%)	4	1,10	86,09	A	AE
Extracto de fique (75%)	4	1,10	86,09	A	AE
Extracto de fique (50%)	4	1,10	86,09	A	AE
Extracto de fique (25%)	4	1,23	84,45	A	AE
Testigo absoluto	4	7,91	0,00	B	I

*Tratamientos seguidos de la misma letra no presentan diferencia estadística a un nivel del 95%.

DISCUSION

El pH de los residuos líquidos fermentados es bajo (4,03) el cual ha sido influenciado por la actividad microbiana durante la fermentación tales como algunos mohos filamentosos del tipo *Rhizopus sp* que se han identificado en los extractos de fique los cuales se caracterizan por producir ácidos orgánicos como ácido láctico (26), además de bacterias, levaduras de los géneros *Rhodotolura* y *Candida* (27). El contenido de sólidos solubles es bajo (7,8%), debido a que la mayoría de material sólido de la hoja queda en los residuos sólidos.

El rendimiento (ϵ) del secado (62,2%) es bueno teniendo en cuenta que se trata de una materia prima de bajo contenido de sólidos solubles, además se obtuvo alto S_w (14%), debido a que el equipo donde se desarrolló el secado no cuenta con sistema de pulsos para despegar el material durante el proceso. La X_w (3,98%) y a_w (0,26) fueron bajas, cuyos valores cumplen con los requerimientos para asegurar la estabilidad microbiológica ($<0,6$) [33] y se considera adecuada para productos pulverizados mediante esta técnica. La solubilidad del polvo (98%), es lo suficientemente alta para garantizar una buena y fácil rehidratación del producto. Se logró demostrar que el contenido de hecogenina no se afecta por el secado, cabe anotar que para ambos casos el valor cuantificado (3092 mg kg⁻¹ y 3062 mg kg⁻¹ en el líquido y polvo respectivamente) son superiores a las reportadas para extractos de fique fresco (110-630mg kg⁻¹ en base seca) (28). Además se identificó la presencia de un contenido de tigogenina muy considerable mediante GC-MS.

En cuanto al potencial fungistático de los extractos del fique, en la presente investigación se encontraron resultados satisfactorios, de tal manera que se demostró que tanto los extractos líquidos y pulverizados son eficientes para el control de *M. roseri* usando altas concentraciones (100.000 $\mu\text{g mL}^{-1}$), y altamente eficientes para el control de *P. palmivora* en concentraciones (25 a 100%), convirtiéndolos en una potencial alternativa para el manejo de enfermedades fitopatológicas. De la misma manera, se han reportado la actividad biológica del género *Furcraea* (14, 15, 40). Este efecto inhibitorio puede ser por la presencia de sustancias, como las sapogeninas y alcaloides tropanicos presentes (2012) (7). La acción de las saponinas está asociada con la inhibición de la síntesis de los polímeros de la pared celular, Onishi (2000)(29) reporta que las saponinas triterpénicas

glicosiladas con un azúcar son inhibidores específicos de (1,3)- Beta – D Glucan sintetasa de la pared celular fungal. Cabe mencionar que en los extractos del fique se ha identificado 7 alcaloides tropanicos (7), además de las sapogeninas esteroidales hecogenina y tigogenina, los cuales pueden conferirle la actividad fungistática que se evidencia en estos residuos, caso similar al encontrado por Treviño et al (2012) quien evaluó la presencia de metabolitos secundarios como alcaloides, triterpenos, saponinas y flavonoides presentes en los extractos metanólicos de *Stenocereus pruinosus* y *Equinocereus stramineus* que presentaron actividad antifúngica efectiva sobre hongos dermatitos (*Microsporum canis*, *M. gypseum*, *M. cookei* y *M. nanum*) (30).

CONCLUSIONES

El proceso de secado por atomización no afectó de manera significativa el contenido de hecogenina ni su potencial fungistático, por lo tanto se considera una técnica eficiente para la elaboración de un producto pulverizado de larga vida útil, buena estabilidad acuosa y fácil manejo.

AGRADECIMIENTOS

Al Sistema General de Regalías SGR, Gobernación de Nariño, Corporación para la Investigación Aplicada al Desarrollo –CIAD, Corpoteva, Municipio de Tumaco, Nariño, Resguardo indígena de Túquerres, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Universidad de Nariño: M.Sc Luis Alfredo Molina y M.Sc Claudia Quiroz.

REFERENCIAS

1. Aranzazu S.J. Manejo de las enfermedades del cacao *Theobroma cacao* L. en Colombia, con énfasis en Moniliasis *Moniliophthora roseri*. Corpoica. 2010;1:90.
2. Nariño SdAyMAAd. Consolidado agropecuario de Nariño Secretaría de Agricultura y Medio Ambiente de Nariño, Gobernación de Nariño. 2013;1:173.
3. Correa Álvarez J, Castro Martínez S, Coy J. Estado de la moniliasis del cacao causada por *Moniliophthora roseri* en Colombia. Acta Agronómica. 2014;1:63.
4. Tahí GM, Kébé BI, N'Goran JAK, Sangaré A, Mondeil F, Cilas C, et al. Expected selection efficiency for resistance to cacao pod rot (*Phytophthora palmivora*) comparing leaf disc inoculations with field observations. Euphytica. 2006;149(1-2):35-44.
5. MADVT Ministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial., MADR Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural., DNP Departamento Nacional de Planeación. Guía Ambiental del subsector fiquero, Segunda Edición, Bogotá D.C. 2006.
6. Adão CR, da Silva BP, Parente JP. A new steroidal saponin from *Allium ampeloprasum* var. *porrum* with antiinflammatory and

- gastroprotective effects. *Phytochemistry Letters*. 2011;4(3):306-10.
7. Rojas S M, Luque T J. Biofungicida a partir del jugo de fique (*Furcraea* spp.) y evaluación de su efectividad sobre la goma (*Phytophthora infestans*) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*). *Revista Educación en Ingeniería, Norteamérica*. 2012;7(13):13-22.
 8. Orna Ch JE. Estandarización del Diseño de Secadores por Aspersión de Materiales Pastosos. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Ecuador. 2012;1.
 9. Goula AM, Adamopoulos KG. A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2010;11(2):342-51.
 10. Fang Z, Bhandari B. Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. *Food Research International*. 2012;48(2):478-83.
 11. Patil V, Chauhan AK, Singh RP. Optimization of the spray-drying process for developing guava powder using response surface methodology. *Powder Technology*. 2014;253(0):230-6.
 12. Igual M, Ramirez S, Mosquera LH, Martínez-Navarrete N. Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. *Powder Technology*. 2014;256(0):233-8.
 13. Frascarelli EC, Silva VM, Tonon RV, Hubinger MD. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. *Food and Bioprocess Processing*. 2012;90(3):413-24.
 14. Oneda F, Ré MI. The effect of formulation variables on the dissolution and physical properties of spray-dried microspheres containing organic salts. *Powder Technology*. 2003;130(1-3):377-84.
 15. Medina T. L, García C. EE, Calderas F, González Laredo RF, Sánchez Olivares G, Gallegos-Infante JA, et al. Microencapsulation by spray drying of gallic acid with nopal mucilage (*Opuntia ficus indica*). *LWT - Food Science and Technology*. 2013;50(2):642-50.
 16. Ohaus. Manual de instrucciones Analizador de Humedad MB 45. Ohaus Corporation, Suiza. 2011.
 17. Sharapin N, Machado RL, Pinzón SR. Fundamentos de tecnología de productos fitoterapéuticos. Pinzón, R Cyted Colombia 2000.
 18. Rojas SM. Evaluación del proceso de secado por aspersión de extractos líquidos de fique (*Furcraea* spp), su efecto en el contenido de hecogenina, y caracterización térmica. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Magister en Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 2014;1:14-5.
 19. Eastman JE, Moore CO. Cold water soluble granular starch for gelled food composition. US Patent 4465702. 1984.
 20. Arbelaez L. Análisis de la diversidad intraespecie de *Monilophthora roreri* (Cif) Evans et al. por medio de marcadores morfológicos y genéticos. Tesis para optar el título de magister en Biotecnología Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia Medellín. 2010;1:80.
 21. Barnett HL. Illustrated genera of imperfect fungi. Minneapolis. Burgess Publishing Co, Minneapolis, Minnesota, USA. 1972;3 Ed.:241.
 22. Evans HC. A reassessment of *Monilophthora* (monilia) pod rot of cocoa. *Cocoa Growers' Bulletin* (RU).N 37:34-43.
 23. Martínez G, Sarria G, Torres G, Varón F. *Phytophthora palmivora* es el causante de la pudrición del cogollo de la palma de aceite. *Palmas*. 2011;31, Numero Especial, Tomo 1.:11.
 24. Ramírez S, López O, Hernández T, Munguía S. Actividad antifúngica in vitro de extractos de *Origanum vulgare* L., *Tradescantia spathacea* Swartz y *Zingiber officinale* Roscoe sobre *Monilophthora roreri* (Cif & Par) Evans et ál. *Tecnología en Marcha*, [SI]. 2011;24, n. 2.
 25. Moreno Lopez JP. Actividad antifúngica de los extractos vegetales de *Piper eripodon* y *Zanthoxylum monophyllum* y sus metabolitos secundarios mayoritarios sobre dos hongos fitopatógenos de clavel *Dianthus caryophyllus*. Tesis magister en Ciencias Agrarias – énfasis en fitopatología Facultad de Agronomía Universidad Nacional de Colombia Bogotá 2011:159.
 26. Ramirez E, Casas A, Tafurt G, Vasco O. Aprovechamiento integral del fique, Usos alternativos y potencial, Ed 1, UPB, Antioquia Colombia, ISBN: 978-958-98791-0-8. 2010.
 27. Benavides OL, Arango O, Hurtado AM, Rojas M. Cuantificación de Sapogeninas del Jugo Fresco y Fermentado de FIQUE (*Furcraea gigantea*) mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC-PDA). *Información Tecnológica*. 2012;23(3):67-76.
 28. Rojas M, Hurtado A, Benavides OL, Bacca D, Arango O. Análisis de sapogeninas obtenidas a partir de jugo de fique (*Furcraea gigantea*) mediante cromatografía líquida de alta resolución y detector de arreglo de diodos (HPLC-PDA). *Memorias XXIX Congreso Latinoamericano de Química CLAQ 2010*. 2010;1:1.
 29. Rosenbach M, Douglas C, Abruzzo G, Flattery A KL, Cabello A, Vicente F, et al. Discovery of Novel Antifungal (1,3)- β -D-Glucan Synthase Inhibitors. *Antimicrob Agents Chemother*. 2000;44(2):368-77.
 30. Treviño N. JF, Rodríguez G. RG, Verde S. MJ, Morales R. ME, Garza P. RA, Rivas M. C, et al. Actividad antifúngica de *Stenocercus pruinosus* y *Echinocereus stramineus*. *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas*. 2012;43:42-8.

INFLUENCIA DE LA VARIEDAD EN LA CALIDAD DE LA PULPA DE GUAYABA

VARIETIES INFLUENCE ON THE QUALITY GUAVA PULP

Carlos GARCIA Msc.^{1*}, Armando ALVIS Ph.D¹, Guillermo ARRAZOLA Ph.D.²

RESUMEN

Antecedentes: Se evaluaron tres cultivares de guayaba para la elaboración de pulpas teniendo en cuenta las características sensoriales y el comportamiento reológico del producto. **Objetivo:** El objetivo del presente trabajo es evaluar el comportamiento reológico de la pulpa en tres cultivares de guayaba. **Métodos:** Se procesaron 150 kg de los cultivares de guayaba EEA 18-40, Belic L-97 y Belic L-207, lavaron y despulparon a través de una malla de 1 mm de diámetro. La pulpa envasada se esterilizó en baño de maría durante 15 min. Se evaluaron sensorialmente cada 6 meses hasta un año por 10 jueces experimentados que calificaron separadamente el aspecto, olor y sabor según una escala de intensidad de defectos que varía de 1 a 5 puntos. Los resultados se expresaron como puntuación global de la calidad en una escala que varía de 1 hasta 20 puntos. Las mediciones viscosimétricas de las pulpas se realizaron utilizando un viscosímetro Brookfield modelo HBT a 25 °C a una velocidad de 20 rpm, calculándose la viscosidad aparente (y un reoviscosímetro Haake Rotovisko RV3 a 25°C, empleando el sistema sensor SVII a los gradientes de velocidad de 3,56 a 644 s⁻¹. **Resultados:** Las notas sensoriales de las pulpas de los tres cultivares de guayaba mostraron diferencias significativas (p<0,05). Se observa que el cultivar EEA 18-40 fue el que mayor calificación global alcanzó desde 18,8 a 16,8 en el año de evaluación, mientras que los otros dos cultivares obtuvieron notas insuficientes (inferior a 11,2). Las pulpas de guayaba son independientes del tiempo, su viscosidad aparente se redujo con el incremento de la deformación exhibiendo un comportamiento de flujo no newtoniano, sin esfuerzo de fluencia y con índice de flujo (n) menor de 1, caracterizándose como pulpas de flujo

pseudoplástico. **Conclusiones:** La pulpa del cultivar EEA 18-40 presentó la mejor puntuación por los jueces experimentados, indicando la estabilidad de la pulpa para su conservación y utilización como materia prima. Las pulpas de los cultivares de guayaba EEA 18-40, Belic L-97 y Belic L-207 se caracterizan por un flujo de comportamiento es pseudoplástico.

Palabras clave: *Psidium guajava* L., sensorial, viscosidad, ley potencia, pseudoplástico

ABSTRACT

Background: Three cultivars guava pulp processing considering the sensory characteristics and rheological behavior of the product were evaluated. **Objectives:** The aim of this study is to evaluate the rheological behavior of the pulp in three cultivars of guava. **Methods:** 150 kg of guava cultivars 18-40 EEA, Belic L-97 and L-207 were processed, washed and depulped through a mesh of 1 mm in diameter. The pulp is packed in sterilized water bath for 15 min. They are sensory evaluated every 6 months to a year for 10 experienced judges separately described the appearance, smell and taste on a scale of intensity of defects ranging from 1-5 points. Results were expressed as overall quality score on a scale ranging from 1 to 20 points. The viscometric measurements pulps were made using a Brookfield model HBT viscometer at 25 °C at a speed of 20 rpm, calculating the apparent viscosity (η) and a Haake Rotovisko reoviscosímetro RV3 at 25 °C using the sensor system SVII velocity gradients from 3.56 to 644 s⁻¹. **Results:** Sensory notes pulps three guava cultivars showed significant differences (p<0,05). It is noted that the EEA 18-40 was the highest overall rating reached from 18.8 to 16.8 in the year of assessment, while the other two cultivars

¹ Docente Programa Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Sucre. Sincelejo, Sucre, Colombia.

² Docente Programa Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingenierías, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia. Grupo de Investigación Procesos y Agroindustria de Vegetales

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: carlos.garcia@unisucra.edu.co

obtained enough notes (less than 11.2). The guava pulps are independent of time, apparent viscosity decreased with increased deformation exhibiting behavior of non-Newtonian flow without yield stress and flow index (n) less than 1, characterized as pulp pseudoplastic flow. **Conclusions:** The pulp cultivar 18-40 EEA presented the best score by experienced judges, indicating the stability of the pulp for storage and use as feedstock. Pulps guava cultivars EEA 18-40, Belic Belic L-97 and L-207 are characterized by a pseudoplastic flow behavior.

Keywords: *Psidium guajava* L., sensorial, viscosity, power law, pseudoplastic

INTRODUCCION

La guayaba (*Psidium guajava* L.) se considera una de las frutas tropicales más importantes y de amplio consumo tanto por su alto contenido de ácido ascórbico, hidratos de carbono y sales minerales así como por su aroma penetrante y característico (1), contiene además otras vitaminas como β -caroteno; niacina y vitaminas B1 y B2. De la producción de guayaba el 31% se destina a la fabricación de bocadillo y el 69% al mercado de frutas en el país (2); por lo tanto, el procesamiento industrial requiere de una selección de los diferentes cultivares de guayaba dada su variación en el sabor, color, olor, tamaño y consistencia que influye en las características de la pulpa y otros derivados que se usan como materias primas en productos con valor agregado.

La pulpa como matriz alimenticia es un líquido espeso que exige determinar sus propiedades de flujo mediante los parámetros reológicas que permitirán hacer un adecuado procesamiento, diseño de equipos, maquinarias para el transporte y la conservación (3). El flujo de alimentos viscosos tiene comportamiento No Newtoniano independiente del tiempo y su estudio se hace ajustando curvas de flujo de modelos como la Ley de potencia, Bingham, Herschel-Bulkey, Casson para definir los parámetros índice de flujo (n) y el índice de consistencia (K), siendo la Ley de potencia el modelo que más se ajusta al comportamiento de alimentos fluidos (4) y Herschel-Bulkey (5) que le agrega el parámetro esfuerzo de fluencia. La caracterización reológica típicamente es experimental y requiere contar con datos de cada vegetal o suspensión derivada de frutas para ser aplicados en la industria agroalimentaria. Ejemplo de estos estudios en pulpa con comportamiento ley de potencia en guayaba (6),

zapote (7), borojé (8), durazno (9), manzana (10), tamarillo (11), en salsas Herschel-Bulkey (12), acerola (13), purees Casson (14) y otros de caracterización reológica (5, 15-17). Los parámetros reológicos constituyen una herramienta para el procesamiento de la pulpa de guayaba utilizada en la producción de bocadillo y otros derivados. El objetivo del presente trabajo es evaluar el comportamiento reológico de la pulpa en tres cultivares de guayaba.

MATERIALES Y METODOS

Se procesaron 150 kg de los cultivares de guayaba EEA 18-40, Belic L-97 y Belic L-207 con un estado de madurez uniforme. Durante el proceso tecnológico, las frutas se seleccionaron, lavaron y se despulparon empleando un repasador con malla de 1 mm de diámetro. La pulpa envasada se esterilizó en baño de maría durante 15 min.

Las pulpas elaboradas se evaluaron sensorialmente cada 6 meses hasta un año de almacenamiento. Para ello se utilizó un grupo de 10 jueces experimentados que calificaron separadamente el aspecto, olor y sabor según una escala de intensidad de defectos que varía de 1 a 5 puntos y en la que el valor 2,8 separa las zonas de aceptación y rechazo. Mediante factores de ponderación (aspecto= 1,0; olor= 0,8 y sabor= 2,2), los resultados se expresaron como puntuación global de la calidad en una escala que varía de 1 hasta 20 puntos, donde el valor de 11,2 separa las zonas de aceptación/rechazo, denominándose insuficiente (I) si es inferior a este valor, Bueno (B) hasta 18 y Excelente (E) de 18 a 20 de puntaje.

Caracterización reológica

Las mediciones viscosimétricas de las pulpas se realizaron utilizando un viscosímetro Brookfield modelo HBT a 25 °C a una velocidad de 20 rpm, calculándose la viscosidad aparente (Pa s). Para la caracterización de las pulpas se utilizó un reoviscosímetro Haake Rotovisko RV3 a 25°C, empleando el sistema sensor SVII a los gradientes de velocidad de 3,56 a 644 s⁻¹. Los resultados del esfuerzo de cizalla σ (Pa) y el gradiente de velocidad $\dot{\gamma}$ (s⁻¹) se ajustaron a la ley de potencia (ecuación 1) para obtener los valores del índice de consistencia “K” y del índice de comportamiento de flujo “n” viscosidad aparente (ecuación 2).

$$\sigma = K\dot{\gamma}^n \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$\mu_{ap} = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Para cada variedad de pulpa de guayaba, utilizando regresión simple y los criterios estadísticos coeficiente de determinación (R^2), análisis de residuos y prueba de validación (normalidad y homogeneidad de varianzas).

RESULTADOS

En la tabla 1 se informa los resultados de la puntuación global sensorial de las pulpas de los tres cultivares de guayaba mostrando diferencias significativas ($p < 0,05$) entre estas. Se observa que el cultivar EEA 18-40 fue el que mayor calificación global alcanzó.

Tabla 1. Evaluación sensorial de la pulpa de guayaba

Cultivares	Calificación global		
	0 (meses)	6 (meses)	12 (meses)
EEA 18-40	18,8 (E)	16,9 (B)	16,8 (B)
Belic L-97	11,1 (I)	11,0 (I)	7,4 (I)
Belic L-207	10,6 (I)	7,4 (I)	7,4 (I)

Los resultados de las determinaciones instrumentales de la viscosidad aparente (Tabla 2) no muestran una tendencia definida con el tiempo de almacenamiento.

Tabla 2. Viscosidad aparente de la pulpa de guayaba

Tiempo (meses)	μ_{ap} (Pa s)		
	EEA 18-40	Belic L-97	Belic L-207
0	10,5	15,6	12,6
6	10,4	16,4	12,8
12	10,5	16,6	13,1

Los resultados de la evaluación del modelo reológico ley de potencia que presentó mejor ajuste determinada por el coeficiente de correlación ($R^2 > 0,90$). En la tabla 3 se presentan los parámetros reológicos ajustados del índice de consistencia (K) y el índice de flujo (n).

Tabla 3. Parámetros ley de potencia a 25°C

Parámetros reológicos	Cultivar		
	EEA 18-40	Belic L-97	Belic L-207
K (Pa.s ⁿ)	32,4	40,0	22,0
n (→)	0,26	0,24	0,28
Sólidos solubles (%)	9,5	9,3	9,2

DISCUSIÓN

Los resultados indican que no todos los cultivares pueden utilizarse en la fabricación de pulpas, sólo la variedad EEA 18-40 presentó sabor, color y olor característicos de la fruta a través del año de evaluación manteniéndose la calidad en los últimos 6 meses con puntuación Excelente recién producido y Bueno al final del período de almacenamiento, indicando estabilidad de la pulpa para su conservación y utilización como materia prima. Las otras dos variedades presentaron defectos en el aspecto y en el sabor y fueron calificadas de Insuficiente. Estos defectos se incrementaron con el tiempo de conservación.

La pulpa procedente del cultivar Belic L-97 presentó la viscosidad más elevada mostrando diferencias significativas ($p < 0,05$) con las pulpas de los otros dos cultivares, no obstante el resto de las pulpas poseen una viscosidad adecuada. Las pulpas de guayaba no presentaron un comportamiento dependiente del tiempo, dado que en el proceso de deformación las fases ascendente y descendente de velocidades no presentaron histéresis, la viscosidad aparente se redujo cuando se incrementó la velocidad de cizalla exhibiendo un comportamiento de flujo no newtoniano, sin esfuerzo de fluencia, con índice de flujo (n) menor de 1, caracterizándose como pulpas de flujo pseudoplástico. Este comportamiento ha sido reportado en pulpas de guayaba (4, 6, 18, 19), borojó (8), durazno (9), manzana (10), lo cual es explicado porque la estructura de la pulpa es modificada y ablandada con el incremento de la velocidad de deformación. De acuerdo con los valores obtenidos para el índice de consistencia puede decirse que no existe una relación definida con el contenido de sólidos solubles y que existen otros factores de composición (contenido de pectina y otros polisacáridos) y estructurales (tamaño y forma de las partículas) propias de cada variedad.

CONCLUSIONES

La pulpa del cultivar EEA 18-40 presentó la mejor puntuación por los jueces experimentados, indicando la estabilidad de la pulpa para su conservación y utilización como materia prima.

Las pulpas de los cultivares de guayaba EEA 18-40, Belic L-97 y Belic L-207 se ajustan adecuadamente al modelo ley de potencia caracterizándose por un flujo de comportamiento es pseudoplástico.

REFERENCIAS

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. Frutas y hortalizas frescas. Roma. Italia: FAO. 2007 [citado 23 enero de 2016]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a1389s.pdf>
- Castellanos O, Fúquene A, Fonseca S, Ramírez D, Giraldo P, Valencia M. Estudio de la Cadena Productiva de la Guayaba - Bocado en la Hoya del Río Suárez. Grupo de Investigación y Desarrollo en Gestión, Productividad y Competitividad Biogestión. Proyecto de Desarrollo Local y Comercio En Colombia - Delco. Universidad Nacional de Colombia. 2011.
- McKenna B, Lyng J. Introduction to food rheology and its measurement. En: *Texture in food: Volume 1: Semi-solid foods*, ed. B. M. McKenna, Woodhead Publishing Limited. 2013.
- Andrade R, Torres R, Montes E, Ortega F. Comportamiento reológico de pulpas de frutas tropicales: guayaba (*Psidium guajava* L), guanábana (*annona muricata* L), zapote (*calocarpum sapota merr*) y níspero (*Achras sapota* L). @limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria. 2007; 5(2):37-44.
- Moelants K, Cardinaels R, Jolie R, Verrijssen T, Van Buggenhout S, Van Loey A. Rheology of Concentrated Tomato-Derived Suspensions: Effects of Particle Characteristics. *Food and Bioprocess Technology*. 2014; 7: 248-264.
- Andrade R, Fabián F, Montes E, Torres R, Pérez O, Castro M, Gutiérrez L. Caracterización Fisicoquímica y Reológica de la Pulpa de Guayaba (*Psidium guajava* L.) Variedades Híbrido de Klom Sali, Puerto Rico, D14 y Red. *Vitae*. 2009; 16(1): 13-18.
- Andrade R, Torres R, Montes E., Pérez O, Bustamante C, Mora B. Effect of temperature on the rheological behavior of zapote pulp (*Calocarpum sapota Merr*). *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*. 2010; 33(2): 138-144.
- Díaz R, Zapateiro L, José María Franco J, Vallejo C. Caracterización Bromatológica, Fisicoquímica Microbiológica y Reológica de la Pulpa de Borojó (*Borojoa patinoi cuatrec*). *Ciencia y Tecnología*. 2012; 5(1): 17-24.
- Muñoz E, Luis A. Rubio; María S. Cabeza. Comportamiento de flujo y caracterización fisicoquímica de pulpas de durazno. *Scientia Agropecuaria*. 2012; 2: 107-116.
- Manayay D, Castillo W, Quezada S, Palacios L, López S. Caracterización del comportamiento al flujo de pulpa simple y concentrada de manzana (*Phyrus malus L.*) variedad San Antonio. *Agroind Sci*. 2013; 3: 47-51.
- Erdmann G, Simas-Tosin F, Iacomini M, James P, Cordeiro L. Rheological behavior of high methoxyl pectin from the pulp of tamarillo fruit (*Solanum betaceum*), *Carbohydrate Polymers*. 2016; 139: 125-130.
- Álvarez C, Vélez C, Fernández A, Gallego H, Caracterización Reológica de dos Salsas Alimenticias. *Vitae* 201219S433-S435. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169823914136>. Fecha de consulta: 22 de enero de 2016.
- Pereira C, De Resende J, Giarola T. Relationship between the thermal conductivity and rheological behavior of acerola pulp: Effect of concentration and temperature. *Food Science and Technology*. 2014; 58(2): 446-453.
- Balestra F, Cocci E, Marsilio G, Dalla M. Physico-chemical and rheological changes of fruit purees during storage, *Procedia Food Science*. 2011; 1: 576-582.
- Millán L, Cardona B, Herrera J, Arbeláez D, Gutiérrez D. Análisis sensorial e instrumental (textura) a una salsa agrídulce de borojó. *Revista Lasallista de Investigación. Corporación Universitaria Lasallista Colombia*. 2010; 7(1):36-41.
- Cevoli Ch, Balestra F, Luigi Ragni L, Fabbri A. Rheological characterisation of selected food hydrocolloids by traditional and simplified techniques. *Food Hydrocolloids*. 2013; 33: 142-150.
- Boncinelli P, Catalano P, Cimi E. Olive paste rheological analysis. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 2013; 56: 237-243.
- Medina M, Pagano F. Caracterización de la pulpa de guayaba (*Psidium guajava* L.) tipo "Criolla Roja". *Rev. Fac. Agron*. 2003; 20(1): 72-86.
- Sánchez C, Oria R, Sánchez Y, Gimeno A. Efecto de la temperatura en las propiedades reológicas de purés de guayaba (*Psidium guajava* L.). Grupo de Investigación en Alimentos de Origen Vegetal. Universidad de Zaragoza. España. 2006.

COMPORTAMIENTO REOLOGICO DE ALMIDON DE YUCA FERMENTADO

RHEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF SOUR CASSAVA STARCH

Carlos GARCIA Msc.^{1*}, Fernando HERNÁNDEZ Msc.¹, Maribel GARCÍA²

RESUMEN

Antecedentes: Algunos países como Brasil y Colombia obtienen un almidón modificado denominado almidón agrio, el cual se utiliza como ingrediente principal en la preparación de productos de panadería y el conocimiento de su reología contribuye a un mejor procesamiento de las masas.

Objetivo: Se utilizó almidón agrio de yuca con el objeto de caracterizarlo reológicamente y obtener mediante regresión lineal el modelo matemático que más se ajustará a su comportamiento. **Métodos:** Se obtuvieron tres soluciones de almidón agrio de yuca del 3%, 6.1% y 10% p/v, se calentaron con agitacion constante y se midió la temperatura de gelatinización. Se midió comportamiento reológico de las soluciones gelatinizadas de almidón agrio de yuca en un viscosímetro rotatorio modelo Brookfield LVDV-E a trece velocidades de 0,3 rpm a 12,0 rpm en ascenso y descenso, utilizando la aguja SG1 para la solución 3%p/v, la aguja SG3 para la solución 6.1%p/v y SG4 para la solución 10%p/v. Con el esfuerzo de cizalla τ (Pa) y el gradiente de velocidad $\dot{\gamma}$ (1/s) se obtuvo una curva que permite caracterizar el fluido y obtener un modelo matemático para el comportamiento reológico. **Resultados:** Los resultados indicaron que la temperatura de gelatinización fue afectada por la concentración de la solución y el pH de las muestras. La viscosidad aparente de los geles fue disminuyendo a medida que la velocidad de corte fue aumentándose. Los geles exhibieron

un comportamiento pseudoplástico, sin esfuerzo de fluencia e independientes del tiempo. La ley de potencia se ajustó a las soluciones de almidón con índice de consistencia de 0,46, 2,68 y 24,85 e índice de flujo de 0,35, 0,27 y 0,36 respectivamente. **Conclusiones:** Los geles de almidón de yuca modificado por fermentación o almidón agrio presentaron un comportamiento reológico propio de un fluido

pseudoplástico. La modificación no alteró el comportamiento pseudoplástico del almidón nativo de yuca y no mostro histéresis de carácter tixotrópico.

Palabras clave: yuca, fermentación, viscosidad, pseudoplástico

ABSTRACT

Background: Some countries such as Brazil and Colombia obtained a modified starch called sour starch, which is used as a main ingredient in the preparation of bakery products and its rheology knowledge contributes to a better processing of the masses. **Objective:** Bitter cassava starch was used in order to characterize its flow and adjust its behavior using a regression mathematical model. **Methods:** Three sour cassava starch solutions 3,0%, 6,1% and 10% w/v were prepared, heated, agitated and measured gelatinization temperature. Rheological behavior of gelatinized solutions was measured on a rotational viscometer Brookfield LVDV-E at thirteen speeds of 0,3 rpm to 12,0 rpm with rising and descending, using needle SG1 for the solution 3%p/v, needle SG3 for 6.1%p/v and SG4 for the solution 10%p/v. With the shear stress (Pa) and shear rate (1/s) was obtained to characterize the fluid flow and obtain a mathematical model for rheological behavior. **Results:** The results indicated that the temperature of gelatinization was affected by the concentration of the solution and the pH of the samples. The apparent viscosity of the gels was decreasing as the cutting speed was increased. Gels exhibited a pseudoplastic, without yield stress and time-independent behavior. The power law was adjusted to the solutions of starch with consistency coefficient of 0,46; 2,68 and 24,85 and flow behavior index of 0,35; 0,27 and 0,36 respectively. **Conclusions:** Cassava starch modified by fermentation or sour starch gels

¹ Docente Programa Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Sucre. Sincelejo, Sucre, Colombia.

² Ingeniera de Alimentos. Grupo PADES Universidad de Sucre. Sincelejo, Sucre, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: carlos.garcia@unisucra.edu.co

have a pseudoplastic behavior. The fermentation did not change the pseudoplastic behaviour of native starch cassava and showed no hysteresis of thixotropic nature.

Keywords: cassava, fermentation, viscosity, power law, pseudoplastic

INTRODUCCIÓN

El almidón constituye una excelente materia prima para modificar la textura y consistencia de los alimentos. Su funcionalidad depende del peso molecular promedio de la amilosa y la amilopectina (1), así como la organización molecular de estos glucanos dentro del granulo. Los almidones nativos se utilizan porque regulan, estabilizan la textura y sus propiedades espesantes y gelificantes. Almidones comerciales obtenidos a partir de maíz, trigo, diversos arrozos y tubérculos como la papa, batata y yuca, puede ser utilizado como gelificante, espesante, de adhesión, de retención de humedad, estabilizantes, texturizantes. Sin embargo, la estructura nativa del almidón puede ser menos eficiente debido a que las condiciones del proceso (temperatura, pH y presión) reducen su uso en otras aplicaciones industriales, debido a la baja resistencia a esfuerzos de corte, descomposición térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis (2). Las limitaciones anteriores se pueden superar modificando la estructura nativa por métodos químicos, físicos y enzimáticos. Algunos países como Brasil y Colombia obtienen un almidón modificado denominado “polvilho azedo” o almidón agrio, el cual se utiliza como ingrediente principal en la preparación de productos de panadería como pan de yuca, pan de queso y “biscuits” (3,4). El almidón agrio se obtiene mediante fermentación natural que le confiere la capacidad de expandirse durante el horneado de una masa, aumentando su poder de panificación (5).

La reología de los almidones no es fácil, en primera instancia el agua que está en gran cantidad actúa como un agente de estructuración y un plastificante eficiente pero volátil durante el procesamiento, la mayoría de los reómetros no pueden preservar el contenido de agua, dificultando su medición; en segundo lugar, los cambios macromoleculares masivos durante los tratamientos termomecánicos hacen que estos biopolímeros no sean estables durante el procesamiento y posterior medición; y por último, la viscosidad del polímero de almidón es mucho mayor que la de la mayoría

de los polímeros sintéticos, que también hacen la caracterización reológica difícil (6,7). El objetivo del presente estudio fue caracterizar el modelo y el comportamiento reológico que más se ajustará de tres soluciones gelatinizadas de almidón agrio de yuca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de muestras

Se pesaron 15,2g, 30,2g y 50g de almidón agrio de yuca y se mezclaron con 500ml de agua en beakers de 600ml ($r_c=0,05m$) para obtener soluciones del 3%, 6.1% y 10% p/v de almidón agrio de yuca. Las tres soluciones anteriores en los beakers de 600ml se colocaron en una plancha de calentamiento, se agitaron constantemente y se midió la temperatura hasta la gelatinización.

Reología de los geles

Se midió el comportamiento reológico de las soluciones gelatinizadas de almidón agrio de yuca en un viscosímetro rotatorio modelo Brookfield LVDV-E a trece velocidades de 0,3 rpm a 12,0 rpm en ascenso y descenso. Utilizando la aguja SG1 para la solución 3%p/v, la aguja SG3 para la solución 6,1%p/v y SG4 para la solución 10%p/v, con dimensiones de alto y radio de las agujas SG1 de 0,08m y 0,009m; SG3 de 0,05m y 0,0055m y SG4 de 0,035m y 0,0015m. El esfuerzo de cizalla σ (Pa) se calculó como en las ecuaciones 1 y 2:

$$\sigma = \frac{M}{2\pi hr^2} \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$M = 6,74 \times 10^{-05} * \left(\frac{\%}{100}\right) \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde $6,74 \times 10^{-05}$ Nm es el momento de torsión del resorte para el viscosímetro de Brookfield LVDV. Con la regresión lineal de los datos en logaritmo natural de la velocidad angular ($\Omega = \text{rpm} * 0,1047 \text{ rad/s}$) y el gradiente de cizalla (σ), se calcula la pendiente $\ln(\Omega)/\ln(\sigma)$. Conociendo la pendiente y considerando el cilindro exterior del viscosímetro infinito el gradiente de velocidad y (1/s) es: ecuación 3:

$$\gamma = 2\Omega \frac{d(\ln \Omega)}{d(\ln \sigma)} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Con el esfuerzo de cizalla σ (Pa) y el gradiente de velocidad $\dot{\gamma}$ (1/s) se obtiene una curva que permite caracterizar reológicamente el fluido y obtener un modelo matemático para el comportamiento. Los datos fueron graficados y con un análisis de regresión lineal fueron obtenidos los valores de las constantes del modelo de la ley de la potencia (ecuación 4) para las tres soluciones de almidón agrio.

$$\sigma = K\dot{\gamma}^n \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde K: es el Índice de consistencia; n: el Índice de flujo.

RESULTADOS

Gelatinización

La temperatura de gelatinización del almidón modificado se incrementó a medida que disminuyó la concentración de la solución, siendo de 70°C, 60°C y 55°C para la solución de 3%, 6.1% y 10% p/v respectivamente.

Comportamiento reológico

En la tabla 1 se muestra el valor de la pendiente para el cálculo del esfuerzo de cizalla σ (Pa) y el gradiente de velocidad $\dot{\gamma}$ (1/s).

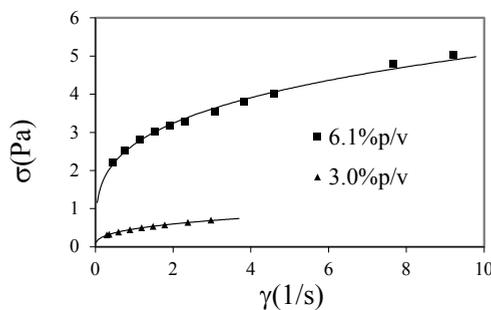


Tabla 1. Valor de la pendiente

Solución Almidón (%p/v)	$d(\ln\Omega)/d(\ln\sigma)$
3	2,8404
6,1	3,6641
10	2,6002

Las fases de deformación ascendente y descendente de velocidades son próximas y no presenta la histéresis características de estos fluidos (Figura 1).

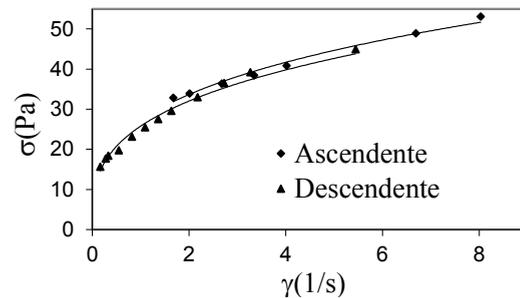


Figura 1. Reograma para la solución gelatinizada de almidón agrio a (10%)

Los reogramas del esfuerzo de cizalla (σ) versus el gradiente de velocidad ($\dot{\gamma}$) (Figura 2), exhiben un comportamiento no newtoniano, sin esfuerzo de fluencia, caracterizándose como fluidos pseudoplásticos.

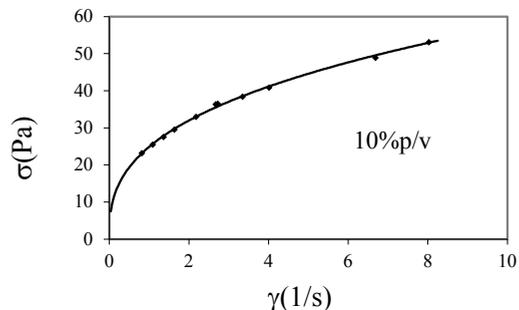


Figura 2. Reograma para soluciones gelatinizadas de almidón agrio.

Tabla 2. Parámetros de comportamiento reológico

Almidón	Modificación	%p/v	K	n	σ_0	Comportamiento	Referencia
Cerezo de maiz	Reticulado	3	0,85	0,51	2,57	Herschel-Bulkley	(8)
		4	1,60	0,71	11,75		
Papa	Zwitteriónica	2,5	0,51	0,25	0	Pseudoplástico	(9)
Yuca	Reticulado acetilado	1,5	0,37	0,70	0,3	Herschel-Bulkley	(10)
Yuca	Fermentado	3	0,46	0,35	0	Pseudoplástico	Este estudio
		6,1	2,68	0,27	0		
		10	24,85	0,36	0		

En la tabla 2 se muestran los parámetros índice de consistencia (K) e índice de flujo (n) para las tres soluciones de almidón agrio de yuca y otras modificaciones del modelo reológico ley de potencia usado para describir el comportamiento del almidón fermentado de yuca.

DISCUSIÓN

El fenómeno de gelatinización corresponde a una ruptura del orden molecular de los puentes de hidrógeno en el granulo que permiten una absorción irreversible y progresiva del agua (11), implicando cambios en las propiedades del almidón (12). La concentración de almidón y el pH de la solución son los factores que más afectaron la gelatinización, la primera aumentándola a medida que disminuía y el segundo favoreciendo la hidratación de los gránulos de almidón modificados en la fermentación. El exudado de amilosa en el almidón de yuca fermentado podría verse favorecido por la modificación, reduciendo la temperatura de gelatinización sobre todo en la solución de 10%. En modificaciones químicas, como el almidón oxidado de plátano con grupos carbonilo de 0,015 % y 0,032 % se incrementó la temperatura de gelatinización desde 73,7°C (almidón nativo) hasta 83,35°C en almidón oxidado con 1,5% de NaOCl con el incremento de la oxidación (13), esto se debe a que cuando aumentó la concentración de cloro activo se aumentó también el porcentaje de grupos carboxilo introducidos en la molécula de almidón, los cuales estabilizaron la estructura y por tanto, se requirió una más alta temperatura para la gelatinización (14). Resultados donde el almidón modificado gelatiniza a menor temperatura que el nativo son reportados por García-Tejeda *et al.* (15) en almidón oxidado (78,8°C nativo) con una temperatura pico de 77,9°C, Bonilla *et al.* (16) en almidones de yuca oxidados a temperaturas muy cercanas a la del almidón nativo 60,4°C y otras fuentes de almidón nativo (17,18). Contreras *et al.* (11) obtuvieron almidón de yuca (10g/100ml) cationizado con epoxipropiltrimetilamonio alcanzando temperaturas de gelatinización mayor a la de los almidones nativos de las tres variedades (66,95, 67,27 y 67,15°C) estudiadas, lo que podría explicarse con el aumento de las rupturas de dichos enlaces debido a un aumento de la temperatura en el proceso de modificación. Prieto-Méndez *et al.* (19) reportaron en almidón de cebada acetilado 3% y 6% temperaturas de gelatinización de 6 a 10°C

menos que el almidón nativo. Mormoghtadaie *et al.* (20) acetilando almidón de arroz y arroz ceroso también obtuvieron una reducción en la temperatura. La modificación por adición de enlaces covalentes en la estructura molecular del almidón ayuda a fortalecer la integridad del granulo, por lo tanto almidones reticulados de yuca gelatinizaron a más alta temperatura que su contraparte nativa (21).

Las soluciones gelatinizadas de almidón agrio de yuca no exhiben un comportamiento dependiente del tiempo, dado que en el proceso de deformación las fases ascendente y descendente de velocidades son próximas y no presenta la histéresis característica de estos fluidos. Vu Dang *et al.* (8) reportaron para el almidón cereo de maíz reticulado este mismo comportamiento. Velásquez *et al.* (9) reportaron histéresis con tixotropía en almidón de papa zwitterionado, Wongsagonsup *et al.* (21) en almidón de yuca entrecruzado.

La viscosidad aparente de las soluciones de almidón fermentado “agrio” de yuca disminuyó cuando la velocidad se incrementó. Así, los reogramas del esfuerzo de cizalla (σ) versus el gradiente de velocidad ($\dot{\gamma}$) exhiben un comportamiento no newtoniano, sin esfuerzo de fluencia, caracterizándose como fluidos pseudoplásticos. Para los fluidos pseudoplásticos, que en general están formados por partículas de forma irregular, moléculas de largas cadenas ramificadas, entrecruzadas o que forman agregados moleculares, se encuentran en los gránulos de almidón de yuca constituidos por cadenas lineales de amilosa y ramificadas de amilopectina en una proporción de 17-22% y 78-83% respectivamente, brinda una explicación al comportamiento de los geles. Las partículas componentes presentan en estado de reposo una orientación desordenada, siendo alta la resistencia a fluir; al aplicar una velocidad de deformación creciente, éstas se orientan en la dirección del flujo, pudiendo llegar a deslizarse mejor un respecto a otras, lo que se traduce en una disminución de viscosidad.

Las curvas de comportamiento pseudoplástico exhiben las tres regiones distintivas durante el flujo de los geles: una región newtoniana baja donde la viscosidad aparente (η_a), llamada “la viscosidad limitante” a cero $\dot{\gamma}$, es constante con los cambios de $\dot{\gamma}$; una región media donde η_{ap} cambia (decrece) con $\dot{\gamma}$ y la ecuación de la ley de la potencia es el modelo para el fenómeno; y una región newtoniana alta donde la pendiente de la curva, es llamada la

viscosidad limitante a γ infinito, es constante con los cambios de γ (22).

El modelo reológico usado para describir el comportamiento del almidón fermentado de yuca es la ley de la potencia para las tres soluciones de almidón agrio de yuca y otros estudios donde modifican el almidón. El incremento de la pseudoplásticidad es acompañado con el incremento de la concentración de la solución de almidón fermentado de yuca (incremento de K). La estabilidad del comportamiento pseudoplástico del almidón es mantenida dependiendo de la interacción entre moléculas.

CONCLUSIONES

La temperatura de gelatinización fue afectada por la concentración de la solución y el pH producto de la fermentación del almidón de yuca respecto al almidón nativo, modificando la estructura del granulo de almidón. Los geles de almidón de yuca modificado por fermentación o almidón agrio tienen un comportamiento reológico propio de un fluido pseudoplástico. La modificación no altero el comportamiento pseudoplástico del almidón nativo de yuca y no mostro histéresis de carácter tixotrópico.

REFERENCIAS

1. Ichazo M, Albano C, Hernández M, González Y, Peña Y. Characterization of natural rubber/cassava starch/maleated Natural rubber formulations. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*. 2011; 31(1): 71-84.
2. Álzate E, Quintero V, Lucas J. Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto (*Erythraea Edulis Triana Ex Micheli*). *Temas Agrarios*. 2013; 18(2): 21-35.
3. Vargas A. Obtención de almidón fermentado a partir de yuca (*Manihot esculenta crantz*) variedad valencia, factibilidad de uso en productos de panadería *Tecnología en Marcha*. 2010; 23(3): 15-23.
4. Vargas A, Hernández D. Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampí: propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria. *Tecnología en Marcha*. 2013; 26(1): 37-45.
5. Vargas A, Araya Y, López R, Bonilla A. Características de calidad y digestibilidad in vitro del almidón agrio de yuca (*Manihot esculenta*) producido en Costa Rica. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 2012; 3(1): 001-013.
6. Xie F, Halley P, Avérous L. Rheology to understand and optimize processibility, structures and properties of starch polymeric materials, *Progress In Polymer Science*. 2012; (4): 595-623.
7. Mackley M, Tock C, Anthony R, Butler S, Chapman G. The rheology and processing behavior of starch and gum-based dysphagia thickeners. *J. Rheol.* 2013; 57(6): 1533-1553.
8. Vu Dang H, Loisele C, Desrumaux A, Doublier J. Rheology and microstructure of cross-linked waxy maize starch/whey protein suspensions. *Food Hydrocolloids*. 2009; 23(7): 1678-1686.
9. Velásquez J, Acevedo M, Villa A. Producción de Almidón Zwitteriónico a partir de Almidón de Papa para la Industria Papelera. *Revista Investigaciones Aplicadas Medellín – Colombia*. 2010; 4(2): 46-59.
10. Cui B, Lu Y, Tan C, Wang G, Li G. Effect of cross-linked acetylated starch content on the structure and stability of set yoghurt. *Food Hydrocolloids*. 2014; 35: 576-582.
11. Contreras K, Salcedo J, Estrada F. Caracterización funcional de almidón catiónico de yuca (*Manihot esculenta*). *Revista ION*. 2013; 26(2): 31-38.
12. Perez S, Baldwin P, Gallant D. 2009. Structural Features of Starch Granules I. En: BeMiller, J. y Whistler, R. (Ed). *Starch: Chemistry and Technology*. Third Edition. Academic Press, USA; 2010; 149-192p.
13. Zamudio-Flores P, Vargas-Torres A, Gutiérrez-Meraz F, Bello-Pérez L. Caracterización fisicoquímica de almidones doblemente modificados de plátano. *Agrociencia*. 2010; 44(3): 283-295.
14. Sánchez-Rivera M, García-Suárez F, Velásquez M, Gutiérrez F, Bello L. Partial characterization of banana starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. *Carbohydr. Polym.* 2005; 62(1): 50-56.
15. García-Tejeda Y, Zamudio-Flores P, Bello-Pérez, Romero-Bastida L, Solorza-Feria J. Oxidación del almidón nativo de plátano para su uso potencial en la fabricación de materiales de empaque biodegradables: caracterización física, química, térmica y morfológica. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 2011; 12(3): 125-135.
16. Bonilla R, Hoyos J, Velasco R. Efecto de oxidación de almidón de yuca sobre propiedades mecánicas y térmicas de películas biodegradables. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2013; 11(1): 208-217.
17. Vanier N, Zavareze E, Zanella-Pinto V, Botelho F, Guerra-Dias A, Cardoso E. Physicochemical, crystallinity, pasting and morphological properties of bean starch oxidised by different concentrations of sodium hypochlorite. *Food chemistry*. 2102; 131(4):1-8.
18. El Halala S, Colussia R, Zanella V, Bartz J, Radunza M, Villarreal N, Guerra A, Zavareze E. Structure, morphology and functionality of acetylated and oxidised barley starches. *Food Chemistry*. 2015; 168: 247-256.
19. Prieto-Méndez J, Trejo-Cárdenas C, Prieto-García F, Méndez-Marzo M, Bello-Pérez L, Román-Gutiérrez A. Acetilación y caracterización del almidón de cebada. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*. 2010; 6(1): 32-43.
20. Mormoghtadaie L, Kadivar M, Shahedi M. Effects of crosslinking and acetylation on oat starch properties. *Food Chemistry*. 2009; 116(3): 709-713.
21. Wongsagonsup R, Pujchakarn T, Jitrakbumrung S, Chaiwat W, Fuongfuchat A, Varavinit S, Dangtip S, Supphantharika M. Effect of cross-linking on physicochemical properties of tapioca starch and its application in soup product. *Carbohydrate Polymers*. 2014; 101: 656- 665.
22. Steffe J. *Rheological Methods in Food Process Engineering*. Freeman Press. East Lansing, MI, USA. 1996; 418p.

ANÁLISIS COLORIMÉTRICO EN UNA EMULSIÓN DE CARNE DE CARNERO (*Ovis Aries*) Y CARNE DE BOVINO (*Bos Indicus*)

COLORIMETRIC ANALYSIS IN AN EMULSION OF MUTTON (*Ovis Aries*) AND BEEF (*Bos indicus*)

Gilma PADILLA Ing ^{1*}, Armando ALVIS Ph.D.², Pedro ROMERO Msc.²

RESUMEN

Antecedentes: Dentro de la alimentación de gran parte de la población en el mundo, la carne es considerada como la principal fuente de proteína; pero el tipo de carne proveniente del sector ovino, no es muy elevado en su consumo ya que este sector tiene una producción de animales de descarte que no es muy apetecido por los consumidores (carnero) y sólo está ligado a tradiciones sociales y culturales lo que genera un consumo temporal; por tanto se requiere buscar información relevante de la carne de carnero para su posible utilización en la industria de alimentos. **Objetivo:** Determinar las propiedades colorimétricas en una emulsión cárnica elaborada con una mezcla de carne de carnero (*Ovis aries*) y carne de Bovino (*Bus Indicus*). **Métodos:** se procedió a elaborar las emulsiones variando las carnes de carnero y carne de bovino de la siguiente manera: 100-0, 80-20, 60-40, 40-60, 20-80, 0-100, los demás ingredientes permanecieron constantes. Una vez elaboradas las emulsiones se procedió a embutir y se escaldaron a temperaturas de: 70, 72, 74 y 76 °C, hasta alcanzar una temperatura de corazón de producto de 70 °C, se almacenó (5 °C/24 h) pasadas las 24 h las muestras se empacaron al vacío (bolsas cryoback); Se realizó el análisis de color con un colorímetro colorflex EZ empleando la escala CIELAB (L*, a* y b*). **Resultados:** La mayor luminosidad expresada como L se obtiene cuando la emulsión se somete a 76° y la menor a 70°C, el mayor color rojo coordenada a* la obtuvo la formulación 40-80 a una temperatura de 76°C y la menor la formulación 100-0 a una temperatura de 70°C. La tonalidad amarilla coordenada b* se

obtuvo que todas las formulaciones presentan un mínimo color amarillo cuando se somete a 76°C.

Conclusiones: Manejar una buenas temperaturas de escaldado y formulación hacen posible la utilización de este tipo de carne en las tecnologías de alimentos

Palabras clave: Carnero (*ovis aries*), escaldado, propiedades funcionales, color

ABSTRACT

Background: In feeding large part of the population in the world, meat is considered the main source of protein; but the type of meat from sheep industry is not very high in consumption because this sector has a production of discard animals which is not very appreciated by consumers (ram) and it is only linked to social and cultural traditions which creates a temporary consumption; therefore it is required to seek relevant information from the mutton for possible use in the food industry. **Objective:** Determine the colorimetric properties in a meat emulsion made with a mixture of mutton (*Ovis aries*) and beef (*Bus Indicus*). **Methods:** Analysis of the functional characteristics was performed (PH, water holding capacity and emulsifying capacity to Mutton), then it proceeded to prepare emulsions varying mutton and beef as follows: 100-0, 80-20, 60-40, 40-60, 20-80, 0-100, others ingredients remained constant. Once prepared emulsions, we proceeded to cram and scalded at temperatures: 70, 72, 74 y 76 °C, until get a product core temperature of 70 °C, it stored (5 °C/24 h) after 24 hours the samples were vacuum packed (cryoback bags); Color analysis

¹ Estudiante de Maestría en Ciencias Agroalimentarias. Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería de Alimentos. Universidad de Córdoba, Montería- Córdoba. Colombia.

² Docente en Ingeniería de Alimentos Universidad de Córdoba. Facultad de Ingenierías. Programa Ingeniería de Alimentos. Universidad de Córdoba. Montería -córdoba. Colombia

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: gilmaaurora86@hotmail.com

was performed using a colorimeter ColorFlex EZ using the CIELAB scale (L *, b *). **Results:** the performances were, pH: 5,28; CRA:62,98% and CE : 58%, maximum brightness expressed as L is obtained when the emulsion is subjected to 76 ° and below 70 ° C, the more red, a * coordinate, was obtained from formulation 40-80 at a temperature of 76 ° C and the lowest 100-0 formulation at a temperature of 70 ° C. The yellow color, b * coordinate, is obtained that all formulations shows a minimum yellow light when they are subjected to 76°C. **Conclusions:** Running a good scalding temperatures and formulation make it possible to use this type of meat in food technologies.

Keywords: Sheep (*Ovis aries*), blanching, functional properties, color.

INTRODUCCIÓN

El carnero camuro o samuro como es conocido en el medio costeño es un animal de la costa colombiana de especie *Ovis aries*, y al igual que el bovino, el ovino es un rumiante (1). En Colombia el consumo anual per cápita de carne es elevada en comparación con otros países; se estima que se consumen 17 kg de carne de res , 16 kg de carne de pollo y sólo de carne de ovinos y caprinos 0,31 kg, lo cual refleja la poca participación de este tipo de carne en el consumo total de estas. (2); De forma semejante, estadísticas del sector también reflejan que la carne de ovino tiene una participación de 0,4% frente al 46% de la carne bovina del consumo en el país, dejando estas cifras de manifiesto, la poca incursión de este tipo de carne en la dieta de los colombianos. Un factor derivado de esto es la falta de propagación del sector ovino en todos los eslabones de la cadena productiva en Colombia y la poca investigación generada sobre el sector de los pequeños rumiantes, pues, en la actualidad de los 254 proyectos de investigación según la agenda tecnológica de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (3), solamente dos proyectos están relacionados con ovinos (3); De allí la importancia de generar nuevos conocimientos e investigaciones referentes a este tema. En este trabajo se realizó un análisis de color en una emulsión elaborada a partir de la combinación de carne de carnero y carne de vacuno de tal manera que su puedan conocer sus propiedades y su posible utilización a nivel industrial.

MATERIALES Y MÉTODOS

La carne de vacuno y carne de carnero se obtuvieron en el mercado local de la ciudad de Montería tratando de conservar sus características organolépticas; Se establecieron los porcentajes y las cantidades de los diferentes ingredientes considerando que únicamente variaran las proporciones entre carne de carnero – carne de bovino de la siguiente manera: 100-0, 80-20, 60-40, 40-60, 20-80 y 0-100 los demás ingredientes permanecieron constantes; se trocearon y presalaron al 2 % con una mezcla salnitrito y almacenadas (4 °C/24 h), posteriormente se pesaron individualmente las carnes (carnero y res) y la grasa de porcino por un molino (JAVAR-22) empleando un disco N° 6, luego se procedió a llevar a a cabo la emulsificación empleando un cutter (JAVAR-10). Del total de la emulsión embutida (Embutidora manual Javar -15, celulosa calibre 22 en porciones de 60g) se escaldaron a temperaturas del medio calefactor de: 70, 72, 74 y 76 °C, hasta alcanzar una temperatura de corazón de producto de 70 °C , Posteriormente se efectuó un choque térmico con agua a 5 °C, hasta el enfriamiento de la emulsión escaldada, se almacenó (5 °C/24 h) pasadas las 24 h las muestras se empacaron al vacío (bolsas cryoback) y se almacenaron a 5 °C hasta realizar los análisis de color donde se utilizó un colorímetro colorflex EZ empleando la escala CIELAB (L*, a* y b*) este análisis se llevó a cabo por triplicado.

Análisis estadístico

Se realizó un experimento factorial simple A*B bajo un diseño completamente al azar (DCA). El factor A corresponde a la combinación de carnes (bovino- carnero) con 6 niveles a saber [(100-0), (80-20), (60-40), (40-60), (20-80) y (0-100) mientras que el factor B corresponde a la temperatura con 4 niveles correspondientes a (70°C, 72°C , 74°C y 76°C) . Para el análisis de efectos simples se llevara a cabo pruebas de Duncan y polinomios ortogonales mientras que para la interacción se analizará mediante modelos de regresión o polinomios ortogonales para cada formulación de carne. Se llevaran a cabo las respectivas pruebas de validación del modelo propuesto.

RESULTADOS

La tabla 1 muestra los resultados de del color en las muestras de emulsión cárnica

Tabla 1. Resultado de la colorimetría. Valor promedio de 24 experimentos con tres réplicas.

T°C	Formulación	L*	a*	b*	T°C	Formulación	L*	a*	b*
70	100-0	60,51	9,63	13,07	74	100-0	59,65	10,06	12,95
70	80-20	59,36	10,42	13,63	74	80-20	55,87	11,36	13,29
70	60-40	57,03	11	13,77	74	60-40	57,99	10,81	13,66
70	40-60	56,9	11,14	14,09	74	40-60	56,77	10,85	13,78
70	20-80	55,58	11,13	14,24	74	20-80	54,16	11,67	13,93
70	0-100	57,23	10,63	14,94	74	0-100	56,32	11,19	14,85
72	100-0	59,47	10,67	12,88	76	100-0	58,07	10,92	12,95
72	80-20	56,54	11,4	13,6	76	80-20	56,71	11,24	13,66
72	60-40	58,04	10,74	13,92	76	60-40	56,53	10,84	13,12
72	40-60	55,91	11,37	13,84	76	40-60	53,92	11,84	13,44
72	20-80	54,1	11,68	14,13	76	20-80	53,82	10,39	13,67
72	0-100	55,37	11,43	14,28	76	0-100	56,29	11,09	14,28

El valor L* (luminosidad o brillo) fue mayor en la formulación (100-0) a 70°C con un valor de 60,51 ($p < 0,05$) y el menor valor lo tiene la formulación (20-80) a 76°C con un valor de 53,82 ($p < 0,05$). El valor a* (tonalidad verde- roja); fue mayor en la formulación 40-60 en la temperatura 76°C, con un valor de 11,84 ($P < 0,05$) y el menor valor lo tiene la formulación 100-0 a 70°C con un valor de 9,63 ($p < 0,05$). El valor b* que representa la tonalidad amarilla fue mayor en la formulación 0-100 con un valor de 14,94 ($p < 0,05$) para una temperatura de 70°C y el mínimo para una temperatura de 72°C con la formulación 100-0 y un valor de 12,88 ($p < 0,05$).

Tabla 3. Efecto del escaldado sobre los atributos de color en las emulsiones cárnicas.

Variable	Formulación	Significancia	Temperatura	
			Mínima	Máxima
L*	0-100	ns	-	-
	20-80	*	76	70
	40-60	**	76	70
	60-40	ns	-	-
	80-20	***	73,94	70
	100-0	**	76	70
a*	0-100	.	70	73,5
	20-80	.	70	76
	40-60	**	72,25	76
	60-40	ns	-	-
	80-20	**	70	73,88
	100-0	***	70	76
b*	0-100	**	76	70
	20-80	*	76	70
	40-60	**	76	70
	60-40	***	76	71,73
	80-20	**	76	70
	100-0	ns	-	-

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

La luminosidad varía con respecto a las temperaturas utilizadas para el escaldado y para las cantidades de carne de carnero y carne de bovino,

en donde se alcanza la mayor luminosidad para las temperaturas de 70°C y la mínima a 76°C para las formulaciones (20-80); (40-60) y (100-0) $P < 0,05$ respectivamente; para las formulaciones (0-100) y (60-40) el parámetro L* no representa ninguna diferencia significativa ($p < 0,05$); Mientras que para la formulación (80-20) resultó ser altamente significativa ($p < 0,01$), el valor mínimo de luminosidad lo alcanza cuando se someten las salchichas a una temperatura de 73,94°C y la mayor luminosidad a una temperatura de 70°C. (Tabla 3)

El parámetro a* varía con respecto a las temperaturas utilizadas para el escaldado y para las cantidades de carne de carnero y carne de bovino, en donde se alcanza una máxima tonalidad roja para la temperatura de 76°C y una mínima para la temperatura de 70°C sólo para las formulaciones 20-80 y 100-0 para $P < 0,01$ Y $P < 0,001$ respectivamente; para la formulación 60-40 el parámetro a* no representa ninguna diferencia significativa; mientras que para las formulaciones restantes 0-100, 40-60 y 80-20 los mínimos y máximos valores de a* se encuentran cuando se someten las salchichas a unas temperaturas de (70°C y 73,5°C); (72,25°C y 76°C) y (70°C y 73,88°C) ($p < 0,01$) respectivamente. (Tabla 3).

El parámetro b* (color amarillo) varía con respecto a las temperaturas utilizadas para el escaldado y para las cantidades utilizadas de carne de Carnero y carne de bovino, en donde se alcanza un mayor

color amarillo para una temperatura de 70°C y un mínimo color amarillo para una temperatura de 76°C para las formulaciones (0-100); (40-60) y (80-20) con $p < 0,01$; y para la formulación (20-80) con $p < 0,05$; Para la formulación (100-0) el parámetro b^* no representa ninguna diferencia significativa; mientras que para la formulación (60-40) el máximo valor de b^* (color amarillo) se obtiene a una temperatura de 71,73 y a un mínimo de 76°C con $p < 0,001$.

DISCUSIÓN

Algunos autores han encontrado que al disminuir el contenido de grasa de una salchicha, los valores de L^* también disminuyen (19, 20). En estudio realizados por Liste et al (2004) (4), se encontraron valores del Parámetro L^* de 37,8, valores mucho menores que los reportados; cabe resaltar que estos parámetros son influenciados muchas veces por la temperatura y la cantidad de azúcares presentes (5). El parámetro L^* es el que más información proporciona para los cambios de color en carnes y productos cárnicos (6), estos cambios muchas veces son dados por las reacciones de maillard que ocurren cuando el alimento es sometido a altas temperaturas (7) y también por la desnaturalización de las proteínas, grasa y pérdida de agua.(8).

El menor valor de a^* lo tiene la formulación 100-0 a 70°C con un valor de 9,63 ($p < 0,05$), este resultado era de esperarse, pues al realizar las diferentes emulsiones y hacer una comparación visual, se observa que la formulación 100-0 era la que presentaba un color más opaco en comparación con las demás formulaciones. El color en una carne es dado por la concentración de los pigmentos mioglobina y metamioglobina (9) si se compara el contenido de mioglobina en algunas carnes, se puede observar que la carne de Bovino contiene 15mg/g de carne del pigmento mioglobina, mientras que la carne de ovino contiene 10mg/g de carne (10); lo cual explicaría las variaciones del parámetro a^* en cada una de las formulaciones, encontrándose que el menor valor para el color rojo lo tiene la formulación 100-0; La formulación 20-80 fue la que presentó un tono más rojo, se esperaría por lo que dice la literatura que el color rojo fuese el de la formulación 0-100; sin embargo esto pudo deberse a factores fisicoquímicos como el pH (11), la raza, especie y sexo que tienen una influencia sobre la cantidad de pigmentos presentes en las carnes (12).

El valor b^* que representa la tonalidad amarilla fue mayor en la formulación 0-100 para una temperatura de 70°C (tabla 1); Algunos autores como Snyder (1965) (13) encontró que un elevado a/b indicaba una alta concentración de mioglobina o de MbO₂ en la carne, lo que concuerda con los resultados, pues esta formulación posee un 100% de carne de bovino; pero en desacuerdo con un trabajo hecho por (Pérez-Álvarez y col.,1998) (14) en donde se concluyó que la concentración de mioglobina no es un factor determinante sobre esta coordenada, ya que si lo fuera, cabría esperar un comportamiento similar al obtenido para la coordenada a^* . Sin embargo, observaron que las carnes grasas presentan valores de b^* similares a los obtenidos para las carnes magras. Este comportamiento podría deberse a una mayor contribución por parte de la grasa al índice de amarillo y por tanto el valor de a^* puede ser útil para predecir la concentración de mioglobina y el color de la carne (15).

Limitaciones

En la mayoría de los trabajos realizados con muestras de carnero, los autores solo reportan datos de la carne de carnero y su caracterización sin utilizar mezclas, lo que dificulta realmente en las comparaciones de dicho trabajo

CONCLUSIONES

La luminosidad expresada como L fue mayor en la formulación 100-0 a 70°C y el menor valor lo presenta la formulación 20-80 a 76°C. De igual forma se alcanza una mayor luminosidad cuando la emulsión es sometida a una temperatura de 70°C y una menor luminosidad cuando se somete a 76°C; El valor de a^* (tonalidad roja) la obtuvo la formulación 40-60 a una temperatura de 76°C y el menor valor la formulación de 100-0 a 70°C; visualmente la emulsión representada por 100-0 fue la que presentó menor tonalidad roja pues tiene menor contenido del pigmento hemoglobina; El valor de b^* (tonalidad amarilla) en las emulsiones varía con respecto a las temperaturas utilizadas en el escaldado y a las cantidad de carne de carnero y vacuno utilizadas, de esta manera se obtiene un máximo color amarillo a una temperatura de 70°C y un mínimo color amarillo para una temperaturas de 76°C; Todas las formulaciones presentan un mínimo valor amarillo cuando se somete a una temperatura de 76°C en el escaldado.

REFERENCIAS

1. Barreto E, Pineda J. Estudio de factibilidad para la creación de una empresa agropecuaria dedicada a la producción y comercialización de ovinos en pie en el municipio el roble - sucre. [trabajo de pregrado] [Sincelejo, Sucre]. Universidad de sucre: 2008.
2. Restrepo, M. Plan estratégico para el desarrollo gremial 2010-2018. [internet]. Bogotá, Colombia: Asoovinos [actualidad 23 de marzo 2010; citado 12 de octubre del 2014]. Disponible en: www.asoovinos.org
3. Berry B W. Cooked color in high pH beef patties as related to fat content and cooking from the frozen or thawed state. *Journal of Food Science*. 1998; 63 (5), 797-800.
4. Carballo J, Barreto G, Solas M T, Jiménez- Colmenero F. Characteristics of high- and low-fat bologna sausages as affected by final internal cooking temperature and chilling storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1996; 72, 40-48
5. Liste G, María G A, Villarroel M, López M , Olleta J. Sañudo C, Chacón G. Efecto del transporte sobre la calidad de la carne y el bienestar animal en conejos comerciales durante la estación cálida en Aragón. En: XXIX Symposium de conicultura. ASESCU. 2004 mar-abr; 62-69 p.
6. Sharp J G. Deterioration of dehydrated meat during storage. I.—Non-enzymic deterioration in absence of oxygen at tropical temperatures. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1957; 8(1): 14-20.
7. Gimeno O, Ansorena D, Astiasaran I, Bello J. Characterization of chorizo of Pamplona: Instrumental measurements of colour and texture. *Food Chemistry*. 2000; 69(2): 195-200.
8. Chua K, Mujumdar A, Hawlader M, Chou S, Ho J. Batch drying of banana pieces-effect of stepwise change in drying air temperature on drying kinetics and product colour. *Food Research International*. 2001; 34(8): 721-731.
9. Piñero M, Parra K, Huerta N, Arenas L, Ferrer M, Araujo S, Barboza Y. Effect of oat's soluble fibre (β -glucan) as a fat replacer on physical, chemical, microbiological and sensory properties of low-fat beef patties. *Meat Science*. 2008; 80(3): 675-680.
10. Conrad M. E, Benjamin B I, Williams H L, Foy A L. Human absorption of hemoglobin-iron. *Gastroenterology*. 1967; 53(1): 5-10.
11. Livingston D. J, Brown W. D. The chemistry of myoglobin and its reactions: Meat pigments, food quality indices. *Food Technology*. 1981; 35(5): 238-252.
12. Renner M. Influence des facteurs biologiques et technologiques sur la couleur de la viande bovine. *Bull Tech. C.R.Z.V. Theix., I.N.R.A.* 1996; 65: 41-45.
13. Synder H.E. Analysis of pigments at the surface of fresh beef with reflectance spectrophotometry. *Journal of Food Science*. 1965; 30: 457-459
14. Pérez-Álvarez J.A, Fernández-López J, Sayas-Barberá M.E, Cartagena-Graciá R. Caracterización de los parámetros de color de diferentes materias primas usadas en la industria cárnica. *Eurocarne*. 1998 enero-febrero; 63: 115-122.
15. Kang J O, Kim S H, Kim I H , Kim C J, Joo S T, Sakata R. 1998. Study on the indicators of beef quality in Korea. En: 44th International Congress of Meat Science and Technology. 1998; 888-889p.

ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA EN UNA EMULSIÓN DE CARNE DE CARNERO (*Ovis aries*) Y CARNE DE BOVINO (*Bos Indicus*)

TEXTURE PROFILE ANALYSIS IN AN EMULSION OF MUTTON (*Ovis Aries*) AND BEEF (*Bos Indicus*).

Gilma PADILLA Ing^{1*}, Armando ALVIS Ph.D.², Pedro ROMERO Msc.²

RESUMEN

Antecedentes: Dentro de la alimentación de gran parte de la población en el mundo, la carne es considerada como la principal fuente de proteína; pero el tipo de carne proveniente del sector ovino, no es muy elevado en su consumo ya que este sector tiene una producción de animales de descarte que no es muy apetecido por los consumidores (carnero) y sólo está ligado a tradiciones sociales y culturales lo que genera un consumo temporal; por tanto se requiere buscar información relevante de la carne de carnero para su posible utilización en la industria de alimentos. **Objetivo:** el objetivo de esta investigación fue determinar las propiedades de textura en una emulsión cárnica elaborada a partir de carne de carnero (*Ovis aries*) y carne de Bovino (*Bus Indicus*). **Métodos:** se elaboraron las emulsiones cárnicas variando las carnes de carnero y carne de vacuno de la siguiente manera : 100-0, 80-20, 60-40, 40-60, 20-80, 0-100, los demás ingredientes permanecieron constantes. Una vez elaboradas las emulsiones se procedió a embutir y se escaldaron a temperaturas del medio calefactor de: 70, 72, 74 y 76 °C, hasta alcanzar una temperatura de corazón de producto de 70 °C, Posteriormente se efectuó un choque térmico con agua a 5 °C, hasta el enfriamiento de la emulsión escaldada, se almacenó (5 °C/24 h) pasadas las 24 h las muestras se empacaron al vacío (bolsas cryoback); se realizó el análisis de perfil de textura utilizando un Texturómetro TA-XT PLUS, donde se evaluaron los parámetros de: dureza, adhesividad, elasticidad, cohesividad, go-

mosidad y masticabilidad. **Resultados:** Se encontró que todos los parámetros muestran una interacción altamente significativa ($\infty > 0,05$) entre las variables de temperatura y formulación. **Conclusiones:** Manejando una buena temperatura de escaldado y formulación se hace posible la utilización de la carne de carnero para elaborar emulsiones cárnicas

Palabras clave: Carnero (*ovis aries*), análisis proximal, Escaldado, Análisis de textura

ABSTRACT

Background: In feeding large part of the population in the world, meat is considered the main source of protein; but the type of meat from sheep industry is not very high in consumption because this sector has a production of discard animals which is not very appreciated by consumers (ram) and it is only linked to social and cultural traditions which creates a temporary consumption; therefore it is required to seek relevant information from the mutton for possible use in the food industry. **Objective:** The objective of this research was to determine the properties of texture in a meat emulsion made from mutton (*Ovis aries*) and beef (*Bus Indicus*). **Methods:** meat emulsions were prepared by varying the mutton and beef as follow: 100-0, 80-20, 60-40, 40-60, 20-80, 0-100, others ingredients remained constant. Once developed emulsions, we proceeded to cram and they scalded at temperatures of heating medium of: 70, 72, 74 and 76 °C, until get a product core temperature of 70 °C. Later it was made a thermal shock with water at 5 °C,

¹ Estudiante de Maestría en Ciencias Agroalimentarias. Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería de Alimentos. Universidad de Córdoba, Montería- Córdoba. Colombia.

² Docente en Ingeniería de Alimentos Universidad de Córdoba. Facultad de Ingenierías. Programa Ingeniería de Alimentos. Universidad de Córdoba. Montería -córdoba. Colombia

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: gilmaaurora86@hotmail.com

until the cooling emulsion scalded, it was stored (5 °C/24 h), after twenty-four hours the samples were vacuum packed (cryoback bags); the texture profile analysis was performed using a texture analyzer TA XT PLUS, where parameters were evaluated: hardness, adhesiveness, springiness, cohesiveness, gumminess and chewiness. **Results:** We found that all parameters show a highly significant interaction ($p < 0.05$) between temperature and formulation variables. **Conclusions:** Managing a good scalding temperature and formulation is made possible using mutton to produce meat emulsions.

Keywords: Sheep (*Ovis aries*), proximal analysis, Blanching, Texture Analysis

INTRODUCCIÓN

El término ovino corresponde a la forma más común de agrupar al conjunto de animales pertenecientes al género taxonómico *Ovis*. La terneza está determinada por la estructura miofibrilar, el tejido conjuntivo y las interacciones entre ambos y tiene relación directa con el enfriamiento post-mortem (1). Las principales fuentes de proteína animal para consumo humano en el orden de producción en el país, para el año 2008 fue la carne bovina con una participación porcentual del 46%, la carne de pollo con el 43%, la carne de cerdo con el 7%, la piscicultura con el 2.5% y la carne de ovino y caprino con el 0.4%; dejando estas cifras de manifiesto, la poca incursión de este tipo de carne en la dieta de los colombianos, es así, que se considera que a nivel nacional, el consumo de carne ovina y caprina tanto en mercados rurales y urbanos, se encuentra principalmente ligado a tradiciones sociales y culturales, debido a que su hábito de consumo es generado temporalmente, mas no al consumo en la dieta cotidiana, estimándose que este tipo de carnes se consume (dependiendo de la región carne ovina o carne caprina) al menos dos veces al mes; consolidándose parte fundamental de platos especiales para reuniones conmemorativas y preparada en temporadas de festividades como Navidad, Año Nuevo, Reyes, Semana Santa, San Pedro, y para fiestas patronales propias de la cultura o de la región. (2). Sumado a esto no hay existencia de estudios que permitan obtener propiedades en la carne de carnero como un valor agregado a través de su procesamiento por eso es necesario que el estímulo primario deba provenir del esfuerzo conjunto del sector industrial y el sector académi-

co (3). En este trabajo se realizó un análisis de las propiedades de textura de una emulsión elaborada a partir de carne de carnero y carne de bovino de tal manera que su puedan conocer sus propiedades y su posible utilización a nivel industrial

MATERIALES Y MÉTODOS

La carne de bovino y carne de carnero se obtuvieron en el mercado local de la ciudad de Montería manteniendo las condiciones higiénicas; Se establecieron los porcentajes y las cantidades de los diferentes ingredientes considerando que únicamente variaran las proporciones entre carne de carnero – carne de bovino de la siguiente manera: 100-0, 80-20, 60-40, 40-60, 20-80, 0-100 respectivamente; los demás ingredientes permanecieron constantes; se trocearon y presalaron al 2 % con una mezcla sal-nitrito y almacenadas (4 °C/24 h), posteriormente se pasaron individualmente las carnes (carnero y res) y la grasa de porcino por un molino (JAVAR-22) empleando un disco N° 6, se llevó a cabo la emulsificación empleando un cutter (JAVAR-10). La emulsión embutida (Embutidora manual Javar -15, celulosa calibre 22 en porciones de 60g) se escaldaron a temperaturas del medio calefactor de: 70, 72, 74 y 76 °C, hasta alcanzar una temperatura de corazón de producto de 70 °C, se efectuó un choque térmico con agua a 5 °C, se almacenó (5 °C/24 h), se empacaron al vacío (bolsas cryoback) y se almacenaron a 5 °C hasta realizar los análisis de perfil de textura utilizando un Texturómetro TA- XT PLUS, con software informático NEXIGEN los variables a evaluar serán: dureza, cohesividad, adhesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad.

Análisis estadístico

Se realizó un experimento factorial simple A*B bajo un diseño completamente al azar (DCA). El factor A corresponde a la combinación de carnes (bovino- carnero) con 6 niveles a saber [(100-0), (80-20), (60-40), (40-60), (20-80) y (0-100) mientras que el factor B corresponde a la temperatura con 4 niveles correspondientes a (70°C, 72°C, 74°C y 76°C). Para el análisis de efectos simples se llevara a cabo pruebas de Duncan y polinomios ortogonales mientras que para la interacción se analizará mediante modelos de regresión o polinomios ortogonales para cada formulación de carne. Se llevaran a cabo las respectivas pruebas de validación del modelo propuesto.

RESULTADOS

Tabla 1. Resultados de los análisis de TPA

T°C	Formulación	Dureza	Adhesividad	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad	Masticabilidad
70	100-0	3.87ab	-6,963	0,974	0.924 a	4,167	1.546
70	80-20	4.221a	-6,307666667	0,984	0.914 a	3,855	2.586
70	60-40	3.49b	-4,92	0,975	0.912a	3,749	1.351
70	40-60	4.18ab	-5,927666667	0,976	0.913 a	3,98	3.806
70	20-80	4.271a	-4,046	0,966	0.912 a	3,711	2.372
70	0-100	4.21a	-6,002666667	0,987	0.921 a	3,67	3.472
72	100-0	4,57	(-9,474)b	0,975	0.913a	4,201	1.551
72	80-20	4,13	(-6,5076)ab	0,969	0.902ab	4,436	1.514
72	60-40	4,46	(-4,334667)a	0,97	0.913a	3,931	5.016
72	40-60	4,69	(-6,1646)ab	0,968	0.907ab	4,055	3.034
72	20-80	4,22	(-3,717)a	0,96	0.898b	3,92	1.409
72	0-100	3,91	(-3,562)a	0,98	0.905ab	3,266	2.256
74	100-0	4.5 ab	-4,747	0.966b	0.913ab	3.740ab	3.458b
74	80-20	3.86b	-3,733666667	0.981a	0.912ab	3.217b	3.031b
74	60-40	3.98b	-4,782666667	0.977ab	0.911ab	3.322b	3.140b
74	40-60	4.13b	-3,548	0.981a	0.919 a	3.446b	3.214b
74	20-80	4.19b	-4,520666667	0.975ab	0.916ab	3.481b	3.245b
74	0-100	5.05a	-4,873	0.965ab	0.904b	4.163a	4.226 ^a
76	100-0	4.62a	(-5,231)ab	0.984a	0.920ab	4.260a	3.959 ^a
76	80-20	4.16ab	(-8,594)b	0.966ab	0.92 ab	4.228a	3.708ab
76	60-40	4.59ab	(-6,5296)ab	0.981ab	0.92 ab	3.829ab	3.810ab
76	40-60	4.32ab	(-3,123)a	0.967b	0.919ab	3.954ab	3.590ab
76	20-80	3.91b	(-4,1196)a	0.967ab	0.9096b	3.571b	3.443b
76	0-100	3.98ab	(-4,589)ab	0.983ab	0.926a	3.690ab	3.510ab

Tabla 2: Efecto del escaldado sobre los atributos de TPA en la emulsión

Variable	Form	Sig	T°C		Variable	Form	Sig	T°C	
			Min	Max				Min	Max
Dureza	0-100	***	70	73,1	Adhesividad	0-100	ns	-	-
	20-80	ns	-	-		20-80	ns	-	-
	40-60	ns	-	-		40-60	ns	-	-
	60-40	***	70	76		60-40	ns	-	-
	80-20	ns	-	-		80-20	*	76	72,75
	100-0	.	70	76		100-0	*	70	76
Elasticidad	0-100	.	73,65	70	Cohesividad	0-100	***	70	74,52
	20-80	ns	-	-		20-80	***	72,3	76
	40-60	.	76	72,5		40-60	*	70	76
	60-40	ns	-	-		60-40	ns	-	-
	80-20	.	76	70		80-20	***	72,4	76
	100-0	.	73	76		100-0	*	73,3	70
Masticabilidad	0-100	***	70	73,97	Gomosidad	0-100	.	70	74,07
	20-80	ns	-	-		20-80	ns	-	-
	40-60	ns	-	-		40-60	ns	-	-
	60-40	***	71,41	76		60-40	***	71	76
	80-20	***	72,6	76		80-20	.	72,7	76
	100-0	***	70	76		100-0	**	70	76

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

La tabla 1 muestra que en las salchichas el menor valor de dureza se alcanza cuando se utiliza una temperatura de 70°C y un valor máximo de dureza cuando se alcanzan valores de 76°C; en cuanto a las formulaciones las variaciones de dureza se vieron afectadas por la temperatura alcanzada así en la formulación 0-100 su dureza máxima se alcanza cuando se somete a una temperatura de 74°C y para la formulación 100-0 la máxima dureza la alcanza a 76°C, las demás no tuvieron diferencias significativas ($p < 0,05$). Para el atributo adhesividad en sus dos primeros niveles (70°C y 72°C) hay cierta homogeneidad en el comportamiento de las formulaciones, y mayor dispersión en las demás. Para el atributo elasticidad existen diferencias a un $p < 0,1$ con unos valores de elasticidad mínimos cuando se alcanzan temperaturas de 73,65°C, 76°C y 73°C para las formulaciones de 0-100; 40-60; 80-20 y 100-0 respectivamente y valores máximos de elasticidad cuando la salchicha alcanza valores de temperaturas de 70°C, 72,5°C, 70°C y 76°C para las mismas formulaciones. (Tabla 2); las demás formulaciones fueron no significativas. Si se analiza la medida de cohesividad se nota unas diferencias significativas en cada uno de los niveles de temperatura presentando diferentes comportamientos en cada una de las formulaciones (tabla 2). Al realizar un análisis exploratorio del atributo gomosidad se nota que a 76°C, es donde las formulaciones presentan las más altas medidas. Para el atributo masticabilidad se puede observar que a los 70°C de temperatura es cuando se obtiene un mínimo valor de masticabilidad (tabla 2), mientras que para las formulaciones 20-80 y 40-60 resultaron no significativas; y el máximo punto de masticabilidad se obtiene cuando la emulsion se somete a 76°C (tabla 2).

DISCUSIÓN

A los 76°C de Temperatura es donde cada una de las formulaciones parece tomar sus valores más altos de dureza excepción de las formulaciones 0-100 y 20-80. Este resultado concuerda con el hecho que al iniciar un proceso térmico, se generan pérdidas de humedad, por ende un incremento en la dureza. Este mismo resultado fue reportado por Cheng et al (2004) (4) al evaluar los efectos de la calidad de jamones influenciada por métodos de cocción y almacenamiento. Para el atributo de adhesividad los resultados obtenidos en este estudio fueron

negativos, lo que indica que la textura es pegajosa o adhesiva lo que conlleva en un trabajo adicional para retirarlo del paladar. Por su parte Thomas et al. (2008) (5) reportan valores de -0.014 N.s de adhesividad en salchichas de cerdo, valores muy por debajo a los obtenidos en este estudio; cabe recordar que si se analiza el factor temperatura en cada uno de los niveles de formulación, se puede concluir que sólo existen altas diferencias significativas entre los niveles de temperatura en las formulaciones 100-0 y 80-20. El atributo de elasticidad muestra una uniformidad o similitud en el comportamiento de las formulaciones, para cada una de las temperaturas. Los resultados para cohesividad en este estudio se asemejan a los resultados reportados por Xiong et al (1999) (6) con valores de 0,79 para salchichas de carne bovina; pero fueron diferentes a los obtenidos por algunos autores como Andres et al (2009) (7) reporta valores de cohesividad de 0,57 para salchichas de pollos elaborados con grasa bovina; Leyva-Mayorga (2002) (8) reporta valores muy por debajo de este estudio con valores de 0,574 para salchichas de carne de bovino y grasa de cerdo; Algunos trabajos de investigaciones muestran que el contenido de grasa presente en una muestra puede interferir o modificar la medida de cohesividad (9) de tal manera que la cohesividad es mayor en embutidos tipo Bologna con alto contenido de grasa que en aquellos bajos en grasa (10). Se debe tener en cuenta que en los ejemplos citados los métodos de cocción son distintos al utilizado en esta experiencia y podrían conducir a productos con distintas características sensoriales". Para el atributo de la gomosidad, se obtiene que no hay diferencias al comparar las formulaciones a 70 y 72°C de temperatura. Existen diferencias significativas entre las formulaciones, internamente en el resto de temperaturas. Para el atributo de masticabilidad sólo existen diferencias significativas entre la formulación 0-100 y el resto de ellas. Entre las demás hay igualdad, de tal manera que se puede afirmar que el trabajo para masticar la muestra hasta la deglución es exactamente igual en todas las formulaciones sometidas a una temperatura de 74°C a excepción de la formulación 0-100 (100% de carne de vacuno), esto debido a que actualmente se ha demostrado la existencia de diferencias en terneza entre y dentro de las razas bovinas (11) lo que conlleva a definir que el valor final de la terneza resulta de un balance entre dos procesos opuestos: uno que la reduce debido a un reforzamiento de la unión actina-miosina y al

acortamiento del sarcómero durante las primeras 24 h y otro que produce la tiernización, debido a un debilitamiento de la unión de proteínas miofibrilares asociado con un proceso de proteólisis de las mismas (12). Otro factor que influye es el nivel de veteadado y el contenido de tejido conectivo que pueden explicar hasta el 20% de la variación en terneza entre animales (13).

Limitaciones

La mayoría de los autores reportados utilizaron métodos de cocción distintos a los utilizados en esta investigación lo que dificulta la precisión de las comparaciones.

CONCLUSION

El análisis de perfil de textura (TPA) general muestra que existe una interacción altamente significativa entre las variables de temperatura y formulación, Los valores de adhesividad son negativos, lo que implica que la emulsión elaborada tiene a pegarse en el paladar; La dureza se comporta diferente cuando se utilizan diferentes temperaturas, encontrando que la menor dureza se presenta cuando se somete el producto a un escaldado de 70°C y una mayor dureza cuando se somete a 76°C; El atributo cohesividad muestra una marcada diferencia en sus valores con respecto a su formulación y a su temperatura, pero se puede afirmar que alcanza un valor máximo de cohesividad cuando estas se someten a una temperatura de escaldado de 76°C; El trabajo para masticar el producto hasta la deglución, es exactamente igual en cada una de las formulaciones

REFERENCIAS

1. Bianchi G, Garibotto G, Feed O, Bentancur O, Franco J. Efecto del peso al sacrificio sobre la calidad de la canal y de la carne de corderos Corriedale puros y cruza. Arch. med. vet. 2006; 38(2): 161-165.
2. Restrepo, M. Plan estratégico para el desarrollo gremial 2010-2018. [internet]. Bogotá, Colombia: Asoovinos [actualidad 23 de marzo 2010; citado 12 de octubre del 2014]. Disponible en: www.asoovinos.org
3. Agrocadenas. La Industria de Carnes Frescas en Colombia: res, cerdo y pollo. [internet]. Bogotá, Colombia: Ministerio de agricultura 2005; [actualizado 02 de febrero 2005; citado 15 de mayo 2009]. Disponible en :[http://webiica.iica.ac.cr/colombia/iica/anexos/Agroindustria%20Observatorio/agroindustria_carnes%20\(original\).doc](http://webiica.iica.ac.cr/colombia/iica/anexos/Agroindustria%20Observatorio/agroindustria_carnes%20(original).doc)
4. Cheng Q, Sun DW. Quality of pork ham as affected by locations within sample. Cooking methods and storage. J Food Eng. 2004; 65(4): 551-556.
5. Thomas R, Anjaneyulu A, Kondaiah S. Development of shelf stable pork sausages using hurdle technology and their quality at ambient temperature (37 ± 1 °C) storage. Meat Science. 2008; 79: 1-12
6. Xiong Y, Noel D, Moody W. Textural and sensory properties of low-fat beef sausages with added water and polysaccharides as affected by pH and salt. J. Food. 1999; Sci. 64: 550-554.
7. Andrés S, Zaritzky N, Califano A. Innovations in the development of healthier chicken sausages formulated with different lipid sources. Poult. 200; Sci. 88: 1755-1764.
8. Leyva-Mayorga M A, Ramírez A, Martín-Polo J A, Hernández M O, Vázquez, M. Empleo de surimi liofilizado en emulsiones cárnicas con bajo contenido en grasa. Journal of Food. 2002; 3(5): 288-294.
9. Bonato P, Perlo F, Teira G, Fabre R, Kueider S. Características texturales de nuggets de pollo elaborados con carne de ave mecánicamente recuperada en reemplazo de carne manualmente deshuesada. Ciencia, Doc. Tecn. 2006; 17: 219-239.
10. Carballo J, Barreto G, Solas MT, Jiménez- Colmenero F. Characteristics of high- and low-fat bologna sausages as affected by final internal cooking temperature and chilling storage. Journal of the Science of Food and Agriculture. 1996; 72: 40-48.
11. Marshall D.M. Genetics of meat quality. In: The genetics of cattle. R.F Fries and A. Ruvinsky. New York: CABI Publishing. 1999; 605p
12. Taylor R G, Geesink GE, Thompson VF, Koohmaraie M., Goll D.E. Is Z-disk degradation responsible for postmortem tenderization. J. Anim.Sci. 1995; 73:1351
13. Crouse J.D, Cundiff L.V, Koch R.M, Koohmaraie M. Seideman S.C. 1989. Comparisons of Bos indicus and Bos taurus inheritance for carcass beef characteristics and meat palatability. J. Anim. Sci. 1989; 67:2661

EVALUACIÓN DEL TERMOENCOGIMIENTO EN PELÍCULAS FLEXIBLES OBTENIDAS A PARTIR DE ALMIDÓN, PLASTIFICANTE Y ÁCIDO POLILÁCTICO

EVALUATION OF FLEXIBLE FILMS HEAT SHRINKAGE OBTAINED FROM STARCH, PLASTICIZER AND POLYLACTIC ACID

Camilo E. MONTILLA-BUITRAGO, Ing^{1*}, Diego F. JOAQUI-DAZA Ing¹,
Héctor S. VILLADA-CASTILLO PhD¹.

RESUMEN

Antecedentes: El uso de materiales amigables con el ambiente es un tema que ha venido adquiriendo mayor interés debido a los requerimientos comerciales y a las políticas públicas que cada vez restringen más el uso de plásticos provenientes de fuentes petroquímicas por el impacto ambiental que generan, entre éstos materiales se encuentran las películas termoencogibles que son ampliamente usadas en diversas aplicaciones industriales, sin embargo las investigaciones en películas termoencogibles biodegradables son pocas, lo que promueve la investigación en el tema. **Objetivo:** Evaluar la contracción por calor en películas flexibles obtenidas a partir de almidón de yuca, ácido poliláctico (PLA) y plastificante. **Métodos:** Las películas flexibles fueron obtenidas mediante la extrusión del almidón, el plastificante y el PLA. Se evaluó el comportamiento mediante el uso de un diseño factorial 2^2 , utilizando como variables independientes la velocidad de giro de los tornillos y la referencia del PLA usado en la formulación para determinar la influencia de éstas en el termoencogimiento de las películas. Adicionalmente se efectuó un análisis térmico por calorimetría diferencial de barrido (DSC) a las películas obtenidas. **Resultados:** Se evidenció que todos los tratamientos presentaron termoencogimiento, donde la contracción por calor máxima obtenida fue de 69,33 % y 53,33 % en los sentidos de orientación longitudinal y transversal, respectivamente, los factores estudiados no influyeron significativamente sobre esta propiedad. Con el ensayo de DSC se pudieron identificar las transiciones de fase del almidón termoplástico

(TPS) y del PLA en las películas obtenidas, con estos resultados, se logró estimar el comportamiento del termoencogimiento frente a la cristalinidad de las películas. **Conclusiones:** Las películas obtenidas en la investigación presentaron contracción por calor a la temperatura ensayada, donde la velocidad del giro de los tornillos y la referencia del PLA no influyeron significativamente en esta propiedad, sin embargo, el análisis térmico permitió explicar el comportamiento del termoencogimiento en las películas obtenidas.

Palabras clave: Almidón, ácido poliláctico, extrusión, termoencogible, biopolímeros.

ABSTRACT

Background: The use of friendly materials with the environment is an issue that has been gaining interest due to customer requirements, public policy increasingly restrict the use of plastics from petrochemical sources because of the environmental impact generated. Among these materials, the shrink films are widely used in various industrial applications, however research into biodegradable shrink film are few, which promotes research on the subject. **Objectives:** The aim of the study was to evaluate the heat shrinkage flexible films obtained from cassava starch, polylactic acid (PLA) and plasticizer. **Methods:** The flexible films were obtained by the extrusion process with a factorial design 2^2 , using as independent variables the rotational speed of the screws and the reference PLA used in the formulation to determine their influence on the heat shrinkage of the films. Additionally, a mechanical tensile test and thermal analysis by differen-

¹ Grupo de investigación Ciencia y Tecnología de Biomoléculas de Interés Agroindustrial (CYTBIA), Departamento de Agroindustria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: cemontilla@unicauca.edu.co

tial scanning calorimetry (DSC) was performed. **Results:** It evidenced that all treatments had heat shrinking, where maximum heat shrinkage obtained was 69.33% and 53.33% in the longitudinal and transverse directions, respectively. Factors studied did not significantly influence this property. Using the DSC test is able to identify phase transitions of thermoplastic starch (TPS) and the PLA films obtained, with these results, it was possible to estimate the behavior of the heat shrinkage versus the crystallinity of the films. **Conclusions:** The films obtained in the present investigation the heat shrinkage temperature tested, where the speed of rotation of the screws and the reference PLA did not significantly influence this property, however, thermal analysis allowed to explain the behavior of heat shrinkage in the movies obtained.

Keywords: Starch, polylactic acid, extrusion, shrink, biopolymers.

INTRODUCCIÓN

Las películas termoencogibles se han fabricado tradicionalmente a partir de polipropileno, polícloruro de vinilo (PVC), poliestireno o poliésteres aromáticos (1), obtenidas de materiales de fuentes petroquímicas no biodegradables generando problemas ambientales y sociales (2), impulsado el desarrollo de materiales termoencogibles provenientes de bioplímeros, donde el PLA ha sido una de las alternativas más estudiadas (1), no obstante, el uso de este material está limitado por la fragilidad intrínseca y el alto costo, por ende, la mezcla de almidón termoplástico con este polímero es uno de los caminos más prometedores para ampliar las aplicaciones mediante la reducción de su costo (3, 4). El objetivo fue evaluar el termoencogimiento en películas elaboradas a partir de almidón de yuca, plastificante (glicerina) y ácido poliláctico para determinar el uso potencial como empaque termoencogible de las películas obtenidas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Los materiales empleados fueron los siguientes: almidón nativo de yuca de la variedad Veronica (Almidones de Sucre, Colombia), glicerina con un nivel de pureza de 99,5% (DISAN S.A, Colombia), ácido poliláctico bajo las referencias 4032D y 2002D (Cargill Dow Polymers LLC, USA) y anhídrido

maleico con pureza de 99 % (Merck, USA). Se empleó aceite vegetal de soya para realizar el ensayo de termoencogimiento.

Obtención de las películas de almidón, plastificante y PLA

La producción de las películas fue realizada mediante dos procesos de extrusión, en el primero se empleó un extrusor de doble tornillo Rheomex PTW 16/25 OS con un dado de cordón y una boquilla de 3 mm de diámetro en el cual se realizó la mezcla del almidón de yuca, plastificante, PLA (4032D y 2002D según el diseño experimental) y anhídrido maleico (AM) como agente acoplante entre el almidón y PLA (5). El almidón fue acondicionado con la glicerina en una relación 75:25, posteriormente fue mezclado con el PLA en relación 80:20 y se adicionó 3 % de AM con respecto a la mezcla total. La temperatura promedio de proceso fue de 200 °C y se emplearon dos velocidades de giro en los tornillos 200 rpm y 250 rpm, el cordón obtenido de la mezcla binaria (MB) entre el almidón y el PLA fue pelletizado y reservado para la siguiente operación. En la segunda extrusión se procesaron los pellets de MB en un extrusor de tornillo sencillo Rheomex 19/25 OS, usando un cabezal de soplado con una abertura en la boquilla anular de 70 μ m y un conjunto de rodillos para estandarizar el espesor de la película flexible. La temperatura de proceso promedio en el extrusor fue de 195 °C y la velocidad de giro en el tornillo se mantuvo constante a 60 rpm.

Evaluación del termoencogimiento de las películas obtenidas

Este ensayo se realizó según la norma ASTM D2732-08 (6). Se cortaron muestras de 5 cm x 5 cm, las cuales fueron sumergidas en un baño líquido de aceite vegetal a temperatura constante (140 °C) por-10 segundos. El porcentaje de encogimiento fue calculado según la ecuación % Encogimiento = $(L_i - L_f) \cdot 100 / L_i$ (Ecuación 1) (6), donde, L_i y L_f son las longitud inicial y final de la película, respectivamente.

Calorimetría de barrido diferencial

Se desarrolló según la norma ASTM D3418-08 (7), empleando un calorímetro marca TA Instruments modelo Q20, USA. Esta prueba se efectuó para las muestras obtenidas y al PLA de las dos referencias en estado puro.

Análisis estadístico

Se empleó un diseño factorial 2^2 , donde los factores fueron velocidad de giro de los tornillos durante la producción de la MB y referencia de PLA, cada uno con dos niveles. Los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas de tensión y termoencogimiento fueron analizados con el software estadístico SPSS versión 21, como primera medida se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, determinando que los resultados obedecen a una distribución normal, por tanto se realizó un análisis normal de varianza (ANOVA), usando la prueba de comparación múltiple de Tukey para muestras independientes, previo a ello, se estimó la igualdad de varianzas mediante el ensayo de Levene. El valor de significancia fue de 0,05. Se evaluaron 5 muestras por tratamiento y cada uno fue realizado por triplicado. Los datos corresponden al promedio de las mediciones.

RESULTADOS

Evaluación del termoencogimiento de las películas obtenidas

En la tabla 1 se presentan los resultados del ensayo de termoencogimiento para los cuatro tratamientos. Es posible observar que en todos los tratamientos se presentó una contracción por calor que estuvo por encima del 60 % en el sentido de orientación longitudinal (OL), mientras que en el sentido de orientación transversal (OT) obtuvo un máximo de 53,3 %. Estos resultados son cercanos al termoencogimiento exhibido por el policloruro de vinilo (PVC), estando alrededor del 60 %. Se observó que las películas no presentaron un encogimiento similar si se comparan los sentidos de OL y OT, por lo cual se podría decir que la película no está orientada biaxialmente de forma equilibrada.

Tabla 1. Resultados de termoencogimiento

Trat*	Encogimiento (%)	
	Longitudinal	Transversal
M1	67,3 ^b ± 1,2	51,3 ^a ± 1,2
M2	69,3 ^b ± 1,2	53,3 ^a ± 1,2
M3	60,7 ^a ± 1,2	48,7 ^a ± 1,2
M4	67,3 ^b ± 1,2	50,7 ^a ± 1,2

* Tratamientos: M1 (PLA 4032D a 200 rpm), M2 (PLA 4032D a 250 rpm), M3 (PLA 2002D a 200 rpm), M4 (PLA 2002D a 250 rpm)

Los factores estudiados (velocidad de giro de los tornillos y la referencia del PLA) no afectaron significativamente la contracción por calor en la mayoría de las películas a la temperatura del ensayo, sin embargo, se puede notar que las muestras con PLA 2002D presentaron menor termoencogimiento que las obtenidas con el PLA 4032D. En cuanto al efecto de la velocidad de giro de los tornillos se observó que a menor velocidad exhibieron menor contracción si se comparan con las muestras obtenidas con la misma referencia de PLA a mayor velocidad.

Calorimetría de barrido diferencial

Los resultados del análisis térmico por calorimetría de barrido diferencial (DSC) son presentados en la tabla 2, indicando las temperaturas y entalpías de fusión (T_m y ΔH_m) y una señal de temperatura y entalpía de cristalización (T_c y ΔH_c), y de la temperatura de transición vítrea (T_g).

Tabla 2. Transiciones de fase de las películas

Tratamiento	T_{gPLA} (°C)	T_{cPLA} (°C)	ΔH_{cPLA} (J/g)	T_{mPLA} (°C)	ΔH_{mPLA} (J/g)	T_{mTPS} (°C)	ΔH_{mTPS} (J/g)
M1	58,9	101,7	7,0	158,1	17,0	182,6	121,0
M2	59,8	103,8	4,1	154,2	13,2	187,2	138,0
M3	55,2	104,3	8,3	154,4	7,3	178,7	174,0
M4	54,8	105,4	4,0	150,1	5,5	180,1	172,0

Se logró identificar la T_g para el PLA la cual estuvo entre 54,8 °C y 59,8 °C, estando por debajo de los valores para este compuesto en estado puro (63,42 °C y 64,69 °C para las referencias de PLA 2002D y 4032D, respectivamente). El segundo pico identificado fue una señal de cristalización para el PLA (T_{c-PLA}) oscilando entre 101,7 °C y 105,4 °C. Las temperaturas del pico endotérmico de fusión se registraron por encima de los 150 °C. El último pico de fusión que se registró entre 180,1 °C y 187,2 °C fue asignado al TPS (T_{mTPS}). Se puede observar que las T_m para el PLA y TPS disminuyeron con el incremento de la velocidad de giro de los tornillos al igual que la ΔH_{mPLA} y ΔH_{cPLA} , mientras que la ΔH_{mTPS} fue mayor para los tratamientos M3 y M4.

DISCUSIÓN

Los resultados de termoencogimiento determinaron que esta propiedad es mayor en el sentido de OL lo cual puede ser un efecto de la orientación ejercida en ese sentido durante la producción de

la película, esto concuerda con lo investigado por Chapleau *et al.*, (8), quienes comprobaron este comportamiento mediante observaciones morfológicas por microscopía electrónica de barrido (SEM) en películas de TPS y PLA orientadas biaxialmente. La incidencia del PLA y la velocidad de giro en los tornillos en el termoencogimiento de las películas, estaría relacionado con la movilidad de las cadenas poliméricas y la cristalinidad de la película. Es posible notar que la temperatura de transición vítrea del PLA (T_{g-PLA}) registrado en las muestras estudiadas estuvo por debajo de la T_g del PLA puro las cuales están en 63,42 °C y 64,69 °C para las referencias de PLA 2002D y 4032D respectivamente. Este comportamiento puede ser causado por la movilidad que le infiere la incorporación de almidón termoplástico (TPS) a las cadenas del PLA en la mezcla, donde la glicerina presente en el TPS promueve la movilidad de las cadenas de PLA incrementando la cristalización del mismo (9, 10, 11). La reducción de la T_g del PLA también afecta la temperatura de fusión (T_m) y la de cristalización (T_c) del mismo (9), hallando que estos valores disminuyeron aproximadamente en 15 °C. El detrimento en estas temperaturas estaría relacionado con el efecto nucleante que tiene el TPS en la cristalización del PLA (12), por ende, las películas obtenidas con el PLA 2002D presentarían mayor cristalinidad ya que exhiben menor T_m que las películas que contienen PLA 4032D, afectando negativamente el termoencogimiento de las películas como se muestra en los resultados de termoencogimiento. Se evidenció que la ΔH_c y ΔH_m del PLA las cuales son un indicador de la cristalinidad (13) disminuyen con el incremento de la velocidad de giro de los tornillos indicando que se podría tener un material menos cristalino, explicando que la contracción por calor sea mayor en los tratamientos procesados a 250 rpm (14). En cuanto a las señales del TPS, la T_{mTPS} de los tratamientos fueron similares entre sí, no obstante, se nota que la entalpía de fusión es mayor en las muestras M3 y M4, indicando una mayor cristalinidad (13) lo que explicaría el menor termoencogimiento.

CONCLUSIONES

Las películas obtenidas presentaron termoencogimiento, donde la velocidad del giro de los tornillos (rpm) y la referencia del PLA no influyeron significativamente en la mayoría de los tratamientos, a pesar que el comportamiento térmico permitió identificar que las películas de PLA 4032D + TPS

procesadas a velocidades altas de tornillo pueden presentar menores estructuras cristalinas, debido a este cambio físico, su contracción por acción del calor es alta.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue realizada en el marco del proyecto Investigación y desarrollo de empaques biodegradables, por lo cual los autores agradecen al Sistema General de Regalías – SGR por la financiación del proyecto y a las entidades ejecutoras (Gobernación del Cauca, Universidad del Cauca y la Corporación Clayuca) por el acompañamiento en la investigación.

REFERENCIAS

1. Niaounakis M. *Biopolymers: Processing and Products*. Chadds Ford, PA, United States: *Plastics Design Library (PDL)*. 2015; 361 p.
2. Mihai M, Legros N, Alemdar A. Formulation-properties versatility of wood fiber biocomposites based on polylactide and polylactide/thermoplastic starch blends. *Polym Eng Sci*. 2014 Jun; 54(6): 1325-1340.
3. Zhang S, *et al.* Novel toughening mechanism for polylactic acid (PLA)/starch blends with layer-like microstructure via pressure-induced flow (PIF) processing. *Mater Lett*. 2012 Dic; 98(1): 238–241.
4. Reddy R L, Reddy V S, Gupta G A. Study of bio-plastics as green and sustainable alternative to plastics. *Ijtae*. 2013 May; 3(5): 82-89.
5. Arboleda G A, *et al.* Obtaining a Flexible Film Elaborated from Cassava Thermoplastic Starch and Polylactic Acid. *Int J Poly Sci*. 2015 Jul; 9p.
6. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D2732-08: Standard Test Method for Determining Unrestrained Linear Thermal Shrinkage of Plastic Film and Sheeting. Pennsylvania (USA): 2008
7. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D3418-82: Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry Pennsylvania (USA): 2009.
8. Chapleau N, Huneault M A, Li H. Biaxial orientation of polylactide/thermoplastic starch blends. *Int Polym Proc, Special issue on biobased polymers*. 2007 Nov; 22 (5): 1-8.
9. Jalalvandi E, *et al.* Processing, Thermal Behavior and Tensile Properties of PLA/Thermoplastic Starch/Montmorillonite Nanocomposites. *Adv Mat Res*. 2013 Abr; 75-79 p.
10. Li H, Huneault M A. Crystallization of PLA/thermoplastic starch blends. *Int Polym Proc*. 2008 Nov; 23(5): 412-418.
11. Li H, Huneault M. A. Comparison of sorbitol and glycerol as plasticizers for thermoplastic starch in TPS/PLA blends. *J Appl Polym Sci*. 2011 Feb; 119(4): 2439-2448.
12. Teixeira E, *et al.* Properties of thermoplastic starch from cassava bagasse and cassava starch and their blends with poly (lactic acid). *Ind Crop Prod*. 2012 May; 37(1): 61-68.
13. Lim L.-T, Auras R, Rubino M. Processing technologies for poly(lactic acid). *Prog Polym Sci*. 2008 Ago; 33(8): 820-852.
14. Tsai C, *et al.* Crystallinity and dimensional stability of biaxial oriented poly(lactic acid) films. *Polym Degrad Stabil*. 2010 Ago; 95(8): 1292-1298.

EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE FLUIDEZ (MFI) Y COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE MEZCLAS DE ALMIDÓN TERMOPLÁSTICO (TPS) Y ÁCIDO POLILÁCTICO (PLA)

MELT FLOW INDEX (MFI) AND THERMAL BEHAVIOR EVALUATION OF BLENDS OF THERMOPLASTIC STARCH (TPS) AND POLYLACTIC ACID (PLA)

Karen L. DELGADO-MUÑOZ, Esp.^{1*}, Alcy R. CERÓN-MOSQUERA, M.Sc.¹, Héctor S. VILLADA-CASTILLO, PhD.¹

RESUMEN

Antecedentes: Los problemas medioambientales generados por la disposición de materiales no biodegradables utilizados especialmente en el empaquetado de productos y servicios de alimentos, han llevado a la investigación y desarrollo de materiales biodegradables con características que permitan su uso a escala comercial. Uno de los procesos convencionales más empleados para la fabricación de artículos a partir de materiales termoplásticos es el moldeo por inyección, especialmente para lograr piezas de formas complejas y que requieren gran precisión dimensional. **Objetivo:** El objetivo de esta investigación fue evaluar el índice de fluidez (MFI) y el comportamiento térmico de un nuevo material biodegradable, elaborado a partir de almidón de yuca y ácido poliláctico con aplicación potencial en la fabricación de piezas moldeadas por inyección. **Métodos:** Se evaluó el índice de fluidez (MFI) y el comportamiento térmico por calorimetría de barrido diferencial (DSC) de pellets elaborados a partir de mezclas de almidón de yuca termoplástico (TPS) y ácido poliláctico (PLA) obtenidos por extrusión de tornillo doble. **Resultados:** Según los resultados de MFI se identificó que la muestra de PLA sin mezclar fue la de mayor valor en esta propiedad, sin ser diferente a lo obtenido para la mezcla que contenía 55% de TPS y 45% de PLA. Con respecto al comportamiento térmico de las muestras se evidenció que la temperatura de transición vítrea (T_g) de las mezclas TPS/PLA estuvo por debajo de la T_g del PLA sin mezclar, además

ocurrió un incremento en la cristalinidad de las mezclas a medida que aumentó el contenido de PLA en su composición. **Conclusiones:** En este estudio preliminar se encontró que la incorporación de TPS al PLA, en un nivel de 55% con respecto a la mezcla total, no afectó significativamente el MFI del PLA, además la presencia de TPS en la mezcla confirió al material menores valores en la T_g lo cual indica un aumento en la procesabilidad del PLA. Los comportamientos observados, brindan la posibilidad que este nuevo material sea apto para ser utilizado en procesos de moldeo por inyección.

Palabras clave: Biopolímeros, Almidón, Ácido poliláctico (PLA), Índice de fluidez (MFI).

ABSTRACT

Background: The environmental problems generated by the disposal of non-biodegradable materials especially used in the packaging of food products and food services, have led to research and development of biodegradable materials with characteristics that enable its use on a commercial scale. One of the most used conventional processes for manufacturing articles from thermoplastic material is injection molding, especially to achieve parts with complex shapes and require high dimensional accuracy. **Objective:** The aim of this research was to evaluate the melt flow index (MFI) and the thermal behavior of a new biodegradable material, made from cassava starch and polylactic acid with potential application in the manufacture of injection-molded parts. **Methods:** It was evaluated

¹ Grupo de Investigación de Ciencia y Tecnología de Biomoléculas de Interés Agroindustrial - CYTBIA, Departamento de Agroindustria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.

* Autor al que se debe enviar la correspondencia: karendelgado@unicauca.edu.co

the melt flow index (MFI) and thermal behavior by differential scanning calorimetry (DSC) of pellets made from blends of thermoplastic cassava starch (TPS) and polylactic acid (PLA) obtained by twin screw extrusion. **Results:** According to results of MFI is identified as unmixed PLA sample was the highest value in this property, without being different to that obtained for the mixture containing 55% of TPS and 45% PLA. Regarding the thermal behavior of the samples it evidenced that the glass transition temperature (T_g) of TPS / PLA blends was below the T_g of the PLA unmixed also occurred an increase in the crystallinity of the blends as increased PLA content in its composition. **Conclusions:** In this preliminary study we found that the incorporation of TPS to PLA at a level of 55% relative to the total mixture, not significantly affect the MFI of PLA, the presence of TPS in the mixture gave the minor materials values T_g which indicates an increase in the processability of the PLA. The observed behaviors, offer the possibility that this new material is suitable for use in molding processes injection.

Keywords: Biopolymers, starch, polylactic acid (PLA), Melt flow index (MFI).

INTRODUCCIÓN

Los polímeros son los materiales más utilizados debido a su facilidad de procesamiento, bajo costo y densidad. Pero muchos de estos materiales no son fácilmente reciclables y son difíciles de degradar completamente en la naturaleza, creando problemas ambientales. Una alternativa para mitigar esta situación ha sido fabricar materiales compuestos de polímero y materiales naturales, tales como fibras, almidones, desechos agroindustriales, entre otros (1, 2, 3).

Recientemente el ácido poliláctico (PLA) ha suscitado un gran interés como material para diversos campos de aplicación (4, 5), debido a que presenta excelentes propiedades mecánicas, transparencia y compostabilidad que lo hacen útil para la fabricación de envases y otros empaques (5, 6). También cabe destacar el gran uso que ha tenido el almidón en la fabricación de nuevos materiales biodegradables aunque presenta algunos inconvenientes como la retrogradación o envejecimiento (7, 8) carácter hidrofílico, bajas propiedades mecánicas y altos valores de contracción cuando se moldea por inyección. A pesar que el almidón posee estos inconvenientes,

es considerado un material con gran potencial para la fabricación de productos biodegradables (9).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto del cambio en la composición de pellets elaborados a partir de almidón de yuca termoplástico (TPS), ácido poliláctico (PLA) y agente acoplante obtenidos por extrusión de tornillo doble, sobre el índice de fluidez (MFI) y el comportamiento térmico determinado por calorimetría de barrido diferencial (DSC) y de esta manera evaluar su uso potencial como material para la fabricación de piezas moldeadas por inyección.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Los materiales empleados fueron los siguientes: almidón nativo de yuca de la variedad Verónica (Almidones de Sucre, Colombia), glicerina con un nivel de pureza de 99,5% (DISAN S.A, Colombia), ácido poliláctico referencia 2002D (Cargill Dow Polymers LLC, Estados Unidos) y anhídrido maléico con pureza de 99 % (Merck, Estados Unidos).

Obtención de pellets de almidón termoplástico (TPS) y ácido poliláctico (PLA)

Se mezcló almidón con glicerina en una relación 70:30 (10), se empacó y se almacenó por un periodo de dos horas, luego se mezcló con el PLA según las proporciones presentadas en el Tabla 1, se empleó como agente acoplante anhídrido maléico (5% del total del PLA en cada muestra). Todas las muestras se elaboraron por triplicado y se procesaron bajo una temperatura promedio de 190°C y una velocidad de rotación de tornillos de 200 rpm, empleando un extrusor de doble tornillo Rheomex PTW 16/25 OS de marca ThermoScientific y un dado de cordón para obtener una mezcla binaria (TPS/PLA) en forma de pellets, los cuales se empacaron en bolsas de polietileno y se almacenaron durante ocho días para su posterior evaluación.

Tabla 1. Composición de las mezclas

MUESTRA	COMPOSICIÓN (%)	
	TPS	PLA
1	100	0
2	70	30
3	55	45
4	40	60
5	0	100

Evaluación del índice de fluidez de las mezclas de TPS/PLA

Se procedió de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM D 1238-13 (11) para determinar el índice de fluidez de termoplásticos mediante el uso de un plastómetro de extrusión Tinus Olsen, MP600. Se empleó una temperatura de 190 °C para el TPS y para las mezclas de TPS/PLA (12) y 210°C para PLA, la carga empleada fue de 2,16 kg en todos los casos.

Evaluación del comportamiento térmico de las mezclas de TPS/PLA por Calorimetría de barrido diferencial (DSC)

Se procedió de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM D 3418-08 (13), las muestras fueron previamente acondicionadas por un período de 48 horas a una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ y humedad relativa del $50 \pm 10\%$. Se empleó un calorímetro marca TA Instruments modelo Q20, USA.

Diseño experimental

Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) a los resultados de MFI, seguido de una prueba de Tukey, para evaluar las diferencias en resultados, verificada previamente la normalidad y la homogeneidad de las varianzas de los datos, trabajando con un nivel de significancia $\alpha=0,05$. Los análisis fueron reali-

zados en el paquete estadístico IBM SPSS Statistics 22. Se evaluaron 5 muestras por tratamiento. Los datos reportados corresponden al promedio de las mediciones desarrolladas.

RESULTADOS

Índice de fluidez de las mezclas de TPS/PLA

Los resultados de las mediciones de MFI realizadas se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Índice de fluidez (MFI) de las mezclas TPS/PLA

MUESTRA	ÍNDICE DE FLUIDEZ (g/10 min)
2	24,5009 + 4,6973
3	26,9626 + 3,7538
4	24,9981 + 2,7209
5	33,0464 + 5,1699

El MFI del TPS no pudo ser determinado, este material presentó alta viscosidad en estado fundido.

Calorimetría de barrido diferencial (DSC)

Los resultados de los análisis por DSC se presentan en la tabla 3, en esta se reportan la temperatura y entalpía de las señales de fusión (T_m y ΔH_m) y de cristalización (T_c y ΔH_c) de las muestras evaluadas, además de la temperatura de las señales de transición vítrea observadas (T_g).

Tabla 3. Transiciones térmicas observadas en las muestras analizadas por DSC

Muestra	$T_{g\text{-TPS}}$ (°C)	$T_{g\text{-PLA}}$ (°C)	$T_{c\text{-PLA}}$ (°C)	$\Delta H_{c\text{-PLA}}$ (J/g)	$T_{m\text{-TPS}}$ (°C)	$T_{m\text{-PLA}}$ (°C)	$\Delta H_{m\text{-TPS}}$ (J/g)	$\Delta H_{m\text{-PLA}}$ (J/g)
2	-	59,48	114,12	5,099	234,94	145,92	38,54	8,145
3		59,51	114,13	8,710	243,62	148,35	20,30	13,86
4		55,57	108,61	10,18	250,42	148,12	29,41	16,40
5		63,72	-	-	-	153,92	-	35,78

DISCUSIÓN

La variación en la composición de las muestras incidió significativamente ($p < 0,05$) sobre el MFI. Los cambios en esta variable de respuesta pudieron verse influenciados por el grado de compatibilización alcanzado entre los polímeros mezclados (14). En la tabla 2 se observa que el MFI de la muestra 3 presentó uno de los mayores valores en esta propiedad y fue el más cercano al obtenido por la

muestra 5. Según Wootthikanokkhan *et al.*, (2012) el anhídrido maléico, empleado como compatibilizante, es capaz de activar escisiones de cadena en las moléculas de PLA durante la mezcla en estado fundido a través de un mecanismo de hidrólisis, esto ocasiona que el peso molecular del PLA se reduzca y por lo tanto el MFI puede incrementar (14).

En cuanto al comportamiento térmico de las muestras se puede observar una reducción en el

valor de la T_g del PLA al incrementar el contenido de TPS en la mezcla (ver tabla 3), este resultado concuerda con las investigaciones realizadas por Martín y Averous (2001) quienes muestran como al aumentar el TPS (disminuir el PLA) se reduce la T_g de la mezcla, estos autores resaltan que una mejor compatibilización ocasiona una reducción de la T_g (15). Por lo tanto se podría decir que la muestra 3 es la de menor compatibilidad entre PLA y TPS (mayor T_g), lo cual pudo ocasionar un mayor MFI. Otra explicación a este comportamiento es efecto que pudo tener el TPS en las mezclas, según estudios realizados por Jalalvandi *et al.*, (2013) y Lee *et al.*, (2003), el almidón termoplástico genera un efecto plastificante sobre el PLA ocasionando una disminución de su T_g (16, 17).

Se observó que la T_m para el TPS y para el PLA incrementó a medida que el contenido del TPS disminuía siendo la muestra 3 la de mayor valor. Según Martín y Averous (2001), se presenta un aumento en la T_m cuando un componente semicristalino (PLA) pierde miscibilidad con un polímero amorfo (TPS) (15), resultado que coincide con lo mencionado anteriormente donde esta muestra fue la menos miscible de acuerdo a lo reportado por la T_g . Así mismo esta tendencia se observó en los valores de las entalpías de fusión reportadas para el PLA. Lim *et al.*, (2008) afirman que la ΔH_c y ΔH_m del PLA son un indicador de cristalinidad (18), por tanto se puede indicar que existió un aumento de la cristalinidad de las mezclas a medida que aumentó el contenido de PLA en la misma.

Cabe destacar que los picos endotérmicos de fusión (ΔH_m) y exotérmico de cristalinidad (ΔH_c) se reducen a medida que disminuye el contenido de PLA en la mezcla TPS/PLA. La muestra 3 reporta el menor valor de H_m para el TPS y esta a su vez es la de mayor MFI, se requiere menos energía para el flujo o movilidad de las cadenas poliméricas (19).

CONCLUSIONES

En este estudio preliminar se encontró que la incorporación de TPS al PLA, en un nivel de 55% con respecto a la mezcla total, no afectó significativamente el MFI del PLA, además la presencia de TPS en la mezcla confirió al material menores valores en la T_g lo cual indica un aumento en la procesabilidad del PLA. Los comportamientos observados, brindan la posibilidad que este nuevo material sea apto para ser utilizado en procesos de moldeo por inyección.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue desarrollada en el marco del proyecto titulado “Investigación y desarrollo de empaques biodegradables”, financiado por el Sistema General de Regalías y ejecutado por la Gobernación del Cauca en convenio con la Universidad del Cauca y la corporación CLAYUCA.

REFERENCIAS

- Holbery, James; Houston, Dan. Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive applications. JOM-J MIN MET MAT S. 2006 Nov; 58(11): 80-86.
- Kuang, Jao-Hwa; Hsu, Ming-Hung. The effect of fiber angle on the natural frequencies of orthotropic composite pre-twisted blades. COMPOS STRUCT. 2002 Dic; 58(4): 457-468.
- Jeon Byungjoo, et al. Microcellular foam processing of biodegradable polymers—review. INT J PREC ENG. 2013 Abr; 14(4): 679-690.
- Saeidlou, Sajjad, et al. Poly (lactic acid) crystallization. PROG POLYM SCI. 2012 Dic; 37(12): 1657-1677.
- Pang Xuan, et al. Polylactic acid (PLA): research, development and industrialization. BIOTECHNOL J. 2010 Nov; 5(11): 1125-1136.
- Pantani Roberto, Sorrentino Andrea. Influence of crystallinity on the biodegradation rate of injection-moulded poly (lactic acid) samples in controlled composting conditions. POLYM DEGRAD STABIL; 2013 May; 98(5): 1089-1096.
- Van Soest, Jeroen JG, et al. Crystallinity in starch bioplastics. IND CROP PROD. 1996 Mar; 5(1): 11-22.
- Kuutti L., et al. AFM in studies of thermoplastic starches during ageing. CARBOHYD POLYM. 1998 Sep; 37(1): 7-12.
- Tábi T, Kovács J G. Examination of injection moulded thermoplastic maize starch. EXPRESS POLYM. 2007 Jul; 1(12): 804-809.
- Montilla-Buitrago C, Delgado K, Varona G, Villada H. Efecto del ácido esteárico en películas flexibles de almidón de yuca: propiedades mecánicas y térmicas. Rev. facultad nacional de agronomía Medellín. 2014 Jun; 67(2): 568-570.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry. ASTM D 3418-08. West Conshohocken Pennsylvania. 2008; 1-4p.
- Quiroga Mendoza Ricardo Andrés, Perilla Medina Jorge Alberto. Propiedades adhesivas de mezclas de almidón de yuca termoplástico y ácido poliláctico (TPS/PLA). INGE CUC. 2011 Jul; 7(1): 217-228.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer. ASTM D 1238-13. West Conshohocken Pennsylvania. 2013; 1-16 p.
- Wootthikanokkhan J, et al. Preparation of modified starch-grafted poly (lactic acid) and a study on compatibilizing efficacy of the copolymers in poly (lactic acid)/thermoplastic starch blends. J APPL POLYM SCI. 2012 Abr; 126(S1): E389-E396.
- Martin O, Averous L. Poly (lactic acid): plasticization and properties of biodegradable multiphase systems. POLYMER. 2001 Jun; 42(14): 6209-6219.
- Jalalvandi E, et al. Processing, Thermal Behavior and Tensile Properties of PLA/Thermoplastic Starch/Montmorillonite Nanocomposites. ADV MATER. 2013 Abr; 684: 75-79.
- Lee J H, et al. Thermal and mechanical characteristics of poly (L-lactic acid) nanocomposite scaffold. BIOMATERIALS. 2003 Jul; 24(16): 2773-2778.
- Lim LT, Auras R, Rubino M. Processing technologies for poly (lactic acid). Prog Polym Sci. 2008, Ago; 33(8): 820-852.
- Park Young-Jun, et al. Adhesion and rheological properties of EVA-based hot-melt adhesives. INT J ADHES ADHES. 2006 Dic; 26(8): 571-576.

EFECTO DE PH Y TEMPERATURA EN LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO CON *LACTOBACILLUS CASEI SSP CASEI* (ATCC-393) EN FERMENTACIÓN DISCONTINUA

PH AND TEMPERATURE EFFECT ON LACTIC ACID PRODUCTION WITH *LACTOBACILLUS CASEI SSP CASEI* (ATCC-393) IN BATCH FERMENTATION

Lina Marcela AGUDELO-LAVERDE^{1*}, John Alexander VELÁSQUEZ T.² y Germán A. GIRALDO G.³

RESUMEN

Antecedentes: El ácido láctico entre otros, es considerado una materia prima para producir polímeros biodegradables, el cual se puede obtener de la fermentación de sueros de quesería. En este proceso se deben controlar los valores de pH y temperatura debido a las condiciones óptimas necesarias para desarrollo de los microorganismos responsables de la fermentación. **Objetivo:** Este trabajo evaluó el efecto del pH y la temperatura sobre la producción de ácido láctico con *Lactobacillus casei ssp casei* ATCC 393. **Métodos:** La cepa de *Lactobacillus casei ssp casei* fue activada en agar ATP y conservada antes de su uso en esferas de cerámica en solución de glicerol 50%. El microorganismo fue inoculado en suero de leche clarificado. El suero fue desproteínizado considerando su punto isoeléctrico. Se estudiaron las características fisicoquímicas del suero y del suero desproteínizado. El rango de pH evaluado fue entre 6 y 8 a temperaturas de 32, 37 y 42 °C. La producción de ácido láctico en las diversas condiciones de pH y temperatura fue evaluada a través de un diseño compuesto rotatable 2². **Resultados:** El suero clarificado presentó reducción de los valores de °Brix, pH, nitrógeno, proteína y calcio. Parámetros como densidad y lactosa, no mostraron cambios luego de la desproteínización. En este trabajo la máxima producción de ácido láctico fue de 85,992 g/L a pH 7 y 37 °C. Mediante el uso del diseño experimental se estableció que se relaciona satisfactoriamente la

producción de ácido láctico con las condiciones experimentales propuestas, mostrando una producción óptima de 86,6 g/L. **Conclusiones:** La mejor respuesta en la producción de ácido láctico a 86,60 g/L se obtuvo a pH cercano de 6,7 y temperatura de 36,5°C. Estos resultados incentivan el proceso de producción de ácido *láctico a partir de diversas fuentes que podrían ser de gran utilidad en el desarrollo de nuevos materiales poliméricos.*

Palabras clave: Ácido láctico, *Lactobacillus casei*, Suero clarificado, pH, Temperatura, Metodología de superficie de respuesta.

ABSTRACT

Antecedents: Lactic acid is considered as an ingredients employed to produce biodegradable polymers. One form to obtain it is by whey fermentation. In fermentation processes are important controlled the pH and temperature values to get the better condition to microorganisms development. **Objective:** In this research was studied the pH and temperature effect on lactic acid production with *Lactobacillus casei ssp casei* ATCC 393. **Methods:** *Lactobacillus casei ssp casei* culture was activated in APT agar and storage at glycerol 50% before be used. The microorganism was inoculated with clarified whey. The protein content whey was reduced reach the isoelectric point. Physicochemical characteristics of whey and clarified whey were determined. A range

¹ Docente Ingeniería de Alimentos, Directora del Grupo de Investigación Procesos Agroindustriales, Dra. en Química Industrial, Universidad del Quindío.

² Estudiante de maestría en Química. Universidad del Quindío. Armenia, Colombia.

³ Docente Ingeniería de Alimentos, Integrante del Grupo de Investigación Procesos Agroindustriales, Dr. en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Quindío.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: lmagudelo@uniquindio.edu.co

between 6 and 8 of pH at 32, 37 and 42 °C were studied. In this work, was employed a statics composite design was evaluated on pH and temperature conditions. **Results:** clarified whey shown a °Brix, pH, nitrogen, protein and calcium decrease values in comparison to whey. Parameters as density and lactose, do not presented changes after whey protein content reduction. In this work, the maximum lactic acid production was 85.992 g/L at pH 7 and 37 °C. The experimental design shown an appropriate related of experimental conditions with optimal production of 86.6 g/L. **Conclusions:** The best lactic acid production was 86.6 g/L, it was obtained at pH 6.7 and 36.5 °C approximately. This results promote the lactic acid production from different fonts that could be a very useful on the development of new polymeric materials.

Keywords: Lactic acid, *Lactobacillus casei*, whey, pH, Temperature, response surface methodology.

INTRODUCCIÓN

El ácido láctico es ampliamente utilizado en la industria alimenticia, química, farmacéutica, textil, del plástico, la agricultura entre otros, sin embargo la aplicación más interesante del ácido láctico radica en la posibilidad de producir ácido poliláctico (Plástico biodegradable) (1), constituyendo una solución para la problemática ambiental y social que representa la contaminación con materiales plásticos (2). El proceso de fermentación del ácido láctico es afectado por factores ambientales como el pH y la temperatura, actuando directamente sobre el desarrollo del microorganismo (3). En este trabajo se evalúa el efecto del pH y la temperatura sobre la producción de ácido láctico, utilizando *Lactobacillus casei ssp casei* ATCC 393 en suero clarificado en fermentación discontinua.

MATERIALES Y MÉTODOS

La cepa de *Lactobacillus casei ssp casei* ATCC 393 (Remel-Apogent) se activó en 10 mL de agar APT, se incubó a 37 °C durante 48 horas. Esferas porosas se sumergieron en la solución anterior y se conservaron en glicerol al 50% a -5 °C. Las esferas fueron retiradas de la solución de glicerol, y se sembraron en agar APT e incubaron a 37 °C por 48 horas. De esta solución se tomaron 200 microlitros y se inocularon en 10 mL de suero clarificado, el cual fue homogenizado y utilizado en los procesos de fermentación (4). Para evaluar el efecto del pH y la temperatura sobre la producción de ácido láctico,

se empleó un fermentador tipo tanque agitado con un volumen de trabajo de 4 L, se realizaron las corridas experimentales sin control de pH, 180 rpm por 120 horas y 10% de inóculo inicial. El pH se estandarizó con adición de HCl 3N - NaOH 6N. Los datos reportados sobre producción de ácido láctico corresponden son los registrados a las 120 horas del proceso fermentativo. El lactosuero utilizado se obtuvo del proceso de manufactura de queso, empleando leche comercial, el cual fue desproteínizado empleando la técnica del punto isoeléctrico, ajustando el pH a 5,5 con adición de HCl 3N y aplicando tratamiento térmico en autoclave a 105 °C por 15 min, luego se enfrió a 4 °C por 24 horas y se decantó para remover las proteínas precipitadas. Para la caracterización del suero y el suero desproteínizado se determinaron los grados Brix en el refractómetro Thermo Electron Corporation ABBE-3L. El pH en un potenciómetro Hanna. La densidad se determinó en un termolactodensímetro (Brixco). El nitrógeno se cuantificó por el método Kjeldahl y la proteína multiplicando por el factor 6,38 (5). El calcio se cuantificó en un espectrofotómetro de llama Thermo Electron Corporation S4 AA Spectrometer (6). El contenido de lactosa se determinó por el método espectrofotométrico de Teles (7) y el ácido láctico por el método de acidez total (5).

La producción de ácido láctico se evaluó a través de la metodología de superficies de respuesta, utilizando un diseño central compuesto rotatable 2², evaluando los factores de pH inicial y temperatura, utilizando el paquete estadístico Statgraphics Centurión. Los factores en el diseño se codificaron de acuerdo a la ecuación 1.

$$x_i = \frac{(X_i - X_{cp})}{\Delta X_i} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde x_i = valor codificado de la variable independiente, X_i = valor real de la variable independiente, X_{cp} = valor real de la variable independiente en el punto central y ΔX_i = valor del paso de cambio.

El comportamiento del sistema (fermentación) se explica con la ecuación 2.

$$Y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ii} x_i^2 + \sum b_{ij} x_i x_j \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde Y = valor de la respuesta predicha, b_0 = constante, b_i = efecto lineal, b_{ii} = efecto cuadrático, b_{ij} = efecto de interacción y x_i = variable independiente.

De acuerdo con el análisis estadístico se obtuvo que los valores reales de las variables a usar son pH de 6, 7 y 8 a temperaturas de 32, 37 y 42 °C.

RESULTADOS

La tabla 1 muestra los análisis composicionales obtenidos para suero entero y clarificado.

Tabla 1. Caracterización de suero entero y clarificado.

Variable	Suero entero	Suero clarificado
°Brix	7,2 ± 0,07	6,5 ± 0,08
pH	6,57 ± 0,02	5,71 ± 0,03
Densidad (g/cm ³)	1,029 ± 0,001	1,029 ± 0,001
Nitrógeno (%)	0,20 ± 0,02	0,11 ± 0,02
Proteína (%)	1,28 ± 0,02	0,70 ± 0,02
Lactosa (g/L)	43,5 ± 0,3	43,7 ± 0,2
Calcio (g/L)	0,313 ± 0,02	0,223 ± 0,01

Tabla 2. se presentan los resultados experimentales y los valores obtenidos por el modelo usando el diseño central compuesto codificado.

Ensayo	X ₁	X ₂	Producción de ácido láctico experimental (g/L)	Producción de ácido láctico del modelo (g/L)
1	-1	-1	52,856	55,578
2	1	-1	46,817	46,154
3	-1	1	43,240	46,768
4	1	1	30,842	30,985
5	-1,41421	0	73,896	70,070
6	1,41421	0	51,283	52,245
7	0	-1,41421	37,925	37,063
8	0	1,41421	22,109	20,107
9	0	0	85,101	85,512
10	0	0	85,922	85,512

A partir del modelo de regresión para la producción de ácido láctico se obtuvo la ecuación 3.

$$Y = -2063,69 + 175,943X_1 + 85,2776X_2 - 12,1772X_1^2 - 0,31795X_1X_2 - 1,13853X_2^2 \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde Y es la respuesta predicha para concentración de ácido láctico (g/L), X₁ y X₂ son las variables codificadas de pH y temperatura respectivamente.

En la tabla 3, se muestra el análisis de varianza (ANOVA) del modelo cuadrático para la producción de ácido láctico.

Tabla 3. Análisis de varianza del modelo cuadrático

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:pH	317,729	1	317,729	31,02	0,0051
B:Temperatura °C	287,499	1	287,499	28,07	0,0061
AA	677,868	1	677,868	66,17	0,0012
AB	10,1092	1	10,1092	0,99	0,3767
BB	3703,6	1	3703,6	361,55	0,0000
Error total	40,9747	4	10,2437		
Total (corr.)	4359,92	9			

R² = 99,0602 %; R² ajustada = 97,8854 %; Error estándar de estimación = 3,20057

En la figura 1, se presentan los valores predichos contrastados con los residuos del análisis.

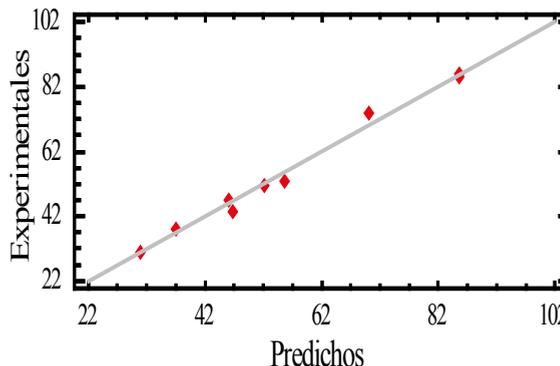


Figura 1. Valores predichos vs experimentales en la producción de ácido láctico.

En la figura 2, se muestra la superficie de respuesta para la producción de ácido láctico bajo los rangos de las variables de pH y temperatura.

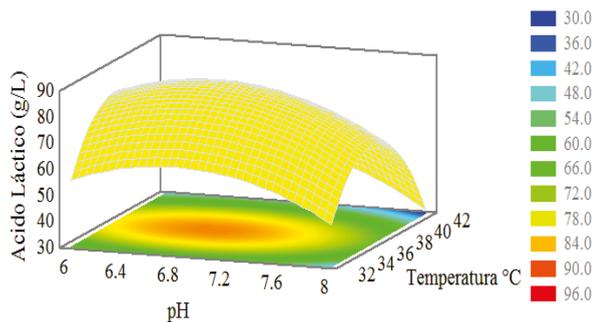


Figura 2. Superficie y el contorno de respuesta para la producción de ácido láctico.

DISCUSIÓN

Al comparar la composición del suero entero y clarificado se observa la disminución en los valores de sólidos solubles, nitrógeno y proteínas, y en el contenido de calcio, mientras que la lactosa y la densidad no presentaron cambios significativos después de la desproteinización. Los valores del suero estudiado se encuentran dentro de los rangos reportados para el suero entero de leche de vaca (8). Los valores del suero clarificado son similares a los obtenidos por otros autores (9), quienes utilizaron el mismo tratamiento de clarificación.

Los resultados de producción de ácido láctico experimental (tabla 1) se aproximaron a los obtenidos a través del modelo matemático (86,60 g/L), lo que indica que fue un modelo adecuado, debido que explica satisfactoriamente el efecto del pH y la temperatura sobre la obtención de ácido láctico, con un coeficiente ajustado de (R^2) 97,89%.

En la tabla 3, se evidencia que las variables evaluadas, tienen efecto significativo lineal y cuadrático del pH y la temperatura sobre la concentración de ácido láctico, mientras que el término de interacción no muestra un efecto significativo.

La figura 1, muestra la correlación de los valores predichos y experimentales, donde todos los puntos están alrededor de la línea diagonal, encontrándose que ninguno presenta una falta significativa al modelo, lo que indica que este es adecuado para describir la obtención de ácido láctico bajo los rangos estudiados de pH y temperatura.

En la figura 2, se muestra la superficie y el contorno de respuesta para la producción de ácido láctico con una superficie convexa, esta figura permite localizar el nivel óptimo de pH y temperatura del proceso y así maximizar la concentración del ácido. La máxima producción de ácido láctico obtenido experimentalmente en este trabajo fue 85,992 g/L, este valor fue similar al logrado por otros investigadores (10) quienes obtuvieron una máxima concentración de ácido láctico de 88 g/L. Sin embargo el resultado de producción de ácido láctico en este trabajo fue inferior al reportado en otros trabajos (11) donde se obtuvo una máxima producción de ácido láctico de 93,2 g/L. Por otra parte, investigaciones en las que se usó suero enriquecido con glucosa (150g/L) reportaron valores de 96 g/L (12).

CONCLUSIONES

El análisis estadístico del modelo aplicado en este trabajo fue adecuado para predecir el efecto del pH y la temperatura sobre la concentración de ácido láctico a partir de suero de leche clarificado inoculado con *Lactobacillus casei ssp casei*, debido a su proximidad con los valores experimentales donde se obtuvo una concentración de ácido láctico de 85,992 g/L. De acuerdo con la optimización realizada por la ecuación cuadrática, para maximizar la producción de ácido láctico en 86,60 g/L el proceso debe ser realizado a pH cercano de 6,7 y temperatura de 36,5°C.

Estos resultados incentivan el proceso de producción de ácido **láctico a partir de diversas fuentes, como es el suero de leche, que podrían ser de gran utilidad en el desarrollo de nuevos materiales poliméricos, mostrando un alto potencial industrial.**

REFERENCIAS

1. Korawit C, Albert-Linton C, Yuan-Kuang G, Tsair-Bor Y, Chiu-Hsia C. Optimization Lactic Acid Production from Molasses Renewable Raw Material through Response Surface Methodology with *Lactobacillus Casei* M-15. APCBEE Procedia. 2014; 8: 194-198.
2. Franco M, Higueta A, Novoa J. Estudio de la síntesis de biopolímeros de origen microbiano. Revista QUID. 2015; 25: 69-78.
3. Tango MS, Ghaly AE. Effect of temperature on lactic acid production from cheese whey using *Lactobacillus helveticus* under batch conditions. Biomass Bioenergy. 1999 January; 16: 61-78.
4. Velásquez JA, Giraldo GA, Padilla L, Giraldo YM. Crecimiento de *Lactobacillus casei ssp casei* ATCC 393 en suero clarificado. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2015; 131: 19-27.
5. Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C) Official Methods of Analysis. 16th Ed. 3rd Revision. 1997.
6. Ross JT, Price WJ. Analysis of fruit juices. Sci Food Agr. 1970; 21: 51.
7. Feitosa-Teles FF, Young CK, Stull JM. A method for rapid determination of lactose. J. Dairy Sci. 1978 April; 61(4): 506-508.
8. Jelen P. Industrial whey processing technology: an overview. J. Agric. Food Chem. 1979; 27(4): 658-661.
9. Urribarrí L, Vielma A, Paéz G. Producción de ácido láctico a partir de suero de leche, utilizando *Lactobacillus helveticus* en cultivo continuo. Rev Cient. 2004; 14(4): 297-302.
10. Ik-Keun Y, Ho NC, Eun GL, Yong KC, Seung-Hyeon M. Effect of B Vitamin Supplementation on Lactic Acid Production by *Lactobacillus casei*. J. Ferment. Bioeng. 1997; 84(2): 172-175.
11. Ghaffar T, Irshad M, Anwar Z, Aqil T, Zulifqar Z, ATariq A, et al. Recent trends in lactic acid biotechnology: A brief review on production to purification. J Radiat Res. 2014; 7: 222-229.
12. Abdel-Rahman MA, Tashiro Y, Sonomoto K. Recent advances in lactic acid production by microbial fermentation processes. Biotechnol. Adv. 2013; 31: 877-902.

CARACTERIZACIÓN DE LA CARNE DE BABILLA (*Caimán Crocodylus Fuscus*) EN CAUTIVERIO

CHARACTERISATION OF THE MEAT OF BABILLA (*Caiman Crocodylus Fuscus*) IN CAPTIVITY

Armando ALVIS Ph.D.^{1*} Pedro ROMERO Msc.¹, Carlos GARCIA Msc.²

RESUMEN

Antecedentes: La carne de babilla (*Caimán crocodylus fuscus*) procedente de zoológicos se presenta como una de estas nuevas alternativas que aparecen en el mercado con un alto potencial nutricional dado que posee altos niveles de proteína, bajos niveles de grasa con una alta proporción de ácidos grasos poliinsaturados, a diferencia de los animales domésticos comúnmente utilizados para la alimentación humana. Por lo tanto, se requiere su caracterización nutricional y funcional para darle un uso industrial apropiado. **Objetivo:** El objetivo de este trabajo fue caracterizar la composición proximal y las propiedades funcionales de la carne de babilla en cautiverio. **Métodos:** Se utilizaron 10 colas de babilla de 2 kg cada una, procedentes del Zoológico los Caimanes (localizado en el municipio de Buenavista Córdoba) empacadas al vacío a -20 °C y almacenadas durante 8 días y se caracterizaron mediante análisis proximal, funcional (pH, Capacidad de retención de agua y Capacidad de emulsificación) y microbiológica (Número Más Probable de Coliformes totales y fecales, y fueron enumerados por el método de recuento en placa los *Staphylococcus aureus*, esporas de *Clostridium*, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella*). Se aplicó un análisis estadístico descriptivo mediante la determinación de la media y la desviación estándar para evaluar la variabilidad de los datos obtenidos. **Resultados:** La composición proximal fue 62,88% de humedad, 19,79% de proteína, 14,81% de grasa, 0,9% de cenizas, las características funcionales fueron 25% de CRA, pH 5,61 y un 50% de CE y las microbiológicas con 33 NPM/g de Coliformes totales, de Coliformes fecales < 3 NMP/g, *Clostridium Sulfito Reductor* <10, ausencia de *Salmonella* y *Staphylococcus aureus* < 100 UFC/g cumpliendo con

los estándares de calidad exigidos para ser utilizada para el consumo humano. **Conclusiones:** La carne de babilla tiene una buena composición nutricional para aprovechar en la dieta básica y como materia prima para el procesamiento industrial y la producción de embutidos.

Palabras clave: calidad de carne, *Caimán crocodylus fuscus*, análisis proximal, capacidad de retención de agua, capacidad de emulsificación.

ABSTRACT

Background: Babilla meat (*Caiman crocodylus fuscus*) from nurseries is one of these new alternatives appearing on the market with a high potential nutritional given that possesses high levels of protein, low levels of fat with a high proportion of fatty acids, polyunsaturated, unlike domestic animals commonly used for human consumption. Therefore, its nutritional and functional characterization is required to give you a proper industrial use. **Objective:** The objective of this work was to characterize the proximate composition and functional properties of babilla meat in captivity. **Methods:** 10 queues of babilla 2 kg each were used, from the Zoológico caimans (located in the municipality of Buenavista Cordoba), packaged in a vacuum at -20 °C and stored for 8 days and they characterized by proximal, functional (pH, Water Holding Capacity and Emulsifier Capacity) and microbiological analysis (NMP of Total and fecal coliforms and method plate count *Staphylococcus aureus*, spores of *Clostridium* and *Salmonella*). A descriptive statistical analysis through the determination of the average and deviation standard to evaluate the variability of the data. **Results:** The proximal outcomes were: 62.88 % of moisture, 19.79 % protein, 14.81

¹ Docente Programa Ingeniería de Alimentos. Universidad de Córdoba, Montería, Colombia.

² Docente Programa Ingeniería Agroindustrial. Universidad de Sucre. Sincelejo, Sucre, Colombia

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: aalvis@hotmail.com

% of ether extract, 0.9 % ash, proving to be good nutritional quality, functional characteristics were 25% of CRA, pH 5.61 and 50% of EC and the microbiological obtained show that the meat of Babilla meets the quality standards to be used for human consumption, since it presented 33 MPN/g of total coliforms, fecal coliforms <3 MPN/g, Clostridium Sulphite Reducer <10, absence of Salmonella and *Staphylococcus Aureus* <100 CFU/g. **Conclusions:** Babilla meat has a good nutritional composition to tap into the basic diet and as raw material for industrial processing and production of sausages.

Keywords: meat quality, *Caimán crocodylus fuscus*, proximal analysis, water holding capacity, emulsifier capacity.

INTRODUCCIÓN

La Babilla (*Caimán Crocodylus Fuscus*) es un reptil de la familia taxonómica de los Alligatoridae, tiene el cuerpo alargado y la piel recubierta con escamas debajo de las cuales se desarrollan placas óseas; habita en aguas sin corrientes como pantanos, caños pequeños, lagunas; se alimenta de proteína animal como peces, aves, anfibios, tortugas y pequeños mamíferos y carroña, Hoy día se presenta en Colombia el problema de la malnutrición y la subnutrición, este inconveniente es tan grande que según las cifras presentadas por la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en el periodo entre 2011 y 2013, muestran que en Colombia hay 5,1 millones de personas en estado de desnutrición, siendo las poblaciones pobres, especialmente en las zonas rurales, las más vulnerables a este problema donde por lo general el consumo de proteínas necesarios para el buen funcionamiento del cuerpo no se alcanza (1). Otro aspecto importante en este sentido es que hoy día las personas se preocupan mucho más por la composición de los alimentos que consumen y en general buscan productos que contengan una buena fuente de proteínas y que además sean bajos en grasa y colesterol, esto hace que se busquen nuevas alternativas que permitan suplir estas necesidades, ya que muchas veces la carne de los animales de abasto tradicionales no cumplen todas estas características (2,3), es aquí donde entran en juego las llamadas carnes exóticas las cuales cada día se aumenta el consumo a nivel mundial (4, 5).

La carne de la babilla (*Caimán Crocodylus Fuscus*) procedente de zocriaderos se presenta como una de estas nuevas alternativas que aparecen en el

mercado, dado que esta es una carne que tiene un alto potencial nutricional, posee bajos niveles de grasa y una alta proporción de ácidos grasos poliinsaturados a diferencia de los animales domésticos comúnmente utilizados para la alimentación humana (6). La carne de babilla contiene alrededor de 21.78% y 0.17% en grasa (2).

Colombia, según Andrés Valencia Pinzón, gerente general del ICA, está en capacidad de producir 150.000 kg de carne de babilla anualmente en los zocriaderos que funcionan de manera oficial en el país (7); estos centran su enfoque en la piel de la babilla dado la importancia que representa para la industria marroquinera, empleando la carne de babilla principalmente como fuente de proteína para la alimentación de los animales más pequeños, como ingrediente de alimentos concentrados para animales, y en muchos casos, es arrojada a las vertientes hídricas, lo que causa un gran deterioro del medio ambiente, por lo anterior, es necesario establecer buenas prácticas de manufactura en el proceso de obtención de la carne a fin de garantizar su calidad final y así poder aprovecharla de manera comercial e industrial (8). En el presente trabajo se caracterizó la carne de babilla en cautiverio, y se estableció las propiedades de esta con el fin de conocer su posible aprovechamiento industrial. Esto mediante el análisis fisicoquímico, microbiológico y funcional de la carne de babilla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon 10 animales con un peso promedio de 15 kg obtenidos del Zoológico los Caimanes, ubicado en el municipio de Buenavista, Córdoba (Colombia). Estos se sacrificaron a través de una insensibilización con un golpe contundente en el cráneo, luego se realizó la extracción de la sangre, corte de la cabeza y se procedió a retirar la piel de manera manual. En el desuello se separó la piel del animal realizando incisiones alrededor del cuello y extremidades, y a lo largo del lomo desde la nuca hasta la cola aprovechando así la piel del vientre que resulta ser la más suave de todo el animal. Posteriormente se retiraron las reservas de grasa y por último la cola, descartando el resto de las partes. Las 10 colas de babilla, cada una de 2 kg, fueron empacadas en cavas con Gel Pack para garantizar la cadena de frío hasta llegar a las instalaciones de la Universidad, estas se deshuesaron descartándose los huesos y empacando la carne al vacío para posteriormente almacenarla a una temperatura de -20 °C.

Con el fin de conocer la composición nutricional de la carne de babilla se realizaron análisis de los contenidos de humedad (método 950.46), proteína total (método 981.10), grasa (método 991.36), cenizas (método 75) acorde a la AOAC (9) y carbohidratos totales de acuerdo a lo exigido por la norma técnica colombiana (10). Para determinar las características funcionales de la carne de babilla se realizó la medición del pH, mediante el método potenciométrico empleando un potenciómetro marca Mettler Toledo; la capacidad de retención de agua (CRA) se efectuó utilizando el método de presión en papel filtro planteado (11) y los cálculos de la CRA se realizaron midiendo la diferencia de peso entre el papel filtro húmedo y seco, denominado como porcentaje de agua liberada (12) y para la capacidad emulsificante (CE) se determinó mediante la técnica descrita por Yu *et al.* (2007) (13).

Para evaluar la calidad microbiológica de la carne de babilla se determinaron con la técnica Número más Probable (NMP) de Coliformes totales y fecales, y fueron enumerados por el método de recuento en placa los *Stafilococcus aureus*, esporas de *Clostridium* y *Salmonella* de acuerdo a lo exigido por la Norma Técnica Colombiana (10).

Análisis estadístico

Se utilizaron 10 colas de babilla de 2 kg cada una, procedentes del Zooparque los Caimanes (localizado en el municipio de Buenavista Córdoba) empacadas al vacío a -20°C y almacenadas durante 8 días y se caracterizaron mediante análisis proximal, funcional y microbiológica, aplicando un análisis estadístico descriptivo mediante la determinación de la media y la desviación estándar para evaluar la variabilidad de los datos obtenidos.

RESULTADOS

La tabla 1 presenta los resultados de la composición nutricional a la carne de babilla.

Tabla 1. Composición nutricional de la carne de babilla

Nutriente	Composición (%)
Humedad	62,88 ± 0,78
Proteína	19,79 ± 0,22
Grasa	14,51 ± 1,65
Cenizas	0,91 ± 0,35
Carbohidratos	1,91 ± 0,17
Calorías	217,38 ± 2,25

Teniendo en cuenta la composición nutricional de la carne de babilla y comparándola con las carnes de animales de abasto tradicionales presentado en la tabla 2; se puede evidenciar que esta carne posee un elevado contenido de proteínas así como un porcentaje bajo de grasas.

Tabla 2. Comparación nutricional de la carne de babilla con otras carnes

Producto	Humedad	Proteína	Grasa	Cenizas	Calorías
Cola de babilla	62,88	19,79	14,51	0,91	217,38
Canal de vacuno(14)	54,70	16,50	28,00	0,80	326
Canal de cerdo(14)	41,10	11,20	47,00	0,60	472
Carne magra de pollo(14)	75,00	22,80	0,90	1,20	105
Carne de pescado(15,16)	60-79,3	16,4-22,1	0,4-1,7	1-1,5	ND

Los resultados obtenidos del análisis funcional de la carne de babilla es mostrado en la tabla 3, donde el pH de $5,61 \pm 0,1$ se encuentra dentro del rango normal característico de las carnes (5,8 y 5,4 pasadas 24 horas después de la muerte del animal).

Tabla 3. Propiedades funcionales de la carne de babilla

Propiedad	Valor (%)
pH	5,61 ± 0,10
CRA	25,16 ± 0,59
CE	50,00 ± 0,15

En la tabla 4 se puede observar que la carne de babilla posee una calidad funcional similar a las carnes que normalmente se utilizan para el consumo directo y procesamiento industrial, razón por la cual puede ser utilizada para sustituir una de estas en la elaboración de productos cárnicos.

De acuerdo con los resultados microbiológicos obtenidos de la carne de babilla tabla 5, se puede ver que esta cumple con todos los estándares exigidos por las normas técnicas colombiana, NTC 4516, NTC 4574 y NTC 4779 (10), para Coliformes Totales y Fecales, Clostridium Sulfito Reductor, Salmonella y Stafilococcus Coagulasa para ser considerada apta para el consumo humano o para el procesamiento industrial.

Tabla 4. Comparación de la CRA y pH de la carne de babilla

Tipo de carne	CRA	pH	Fuente
Babilla	25,160	5,61	Este estudio
Res	22,917	5,65	Rengifo y Ordóñez (17)
Cerdo	21,667	5,74	
Pollo	22,500	5,70	
Ovino	22,917	5,72	
Conejo	24,167	5,81	
Pescado Paco	25,000	6,39	

Tabla 5. Resultados microbiológicos de la carne de babilla

Análisis	Resultado	Valor aceptado
NMP Coliformes Totales/g	33	120-1100/g
NMP Coliformes Fecales/g	<3	< 3
Recuento de esporas Clostridium Sulfito Reductor UFC/g	<10	100-1000
Salmonella en 25 g	Ausencia	Ausencia
Stafilococcus Coagulasa Positiva UFC/g	<100	< 100

DISCUSIÓN

Los resultados que se obtuvieron en el análisis bromatológico realizado a las colas de babilla dejan ver que este animal posee una carne con buena calidad nutricional por su alto contenido de proteínas $19,79 \pm 0,22\%$ y un moderado nivel de grasa $14,51 \pm 1,65\%$ de tipo intramuscular o marmóreo, específicamente dentro de las fibras musculares y que se conoce también como el jaspeado de las carnes (18), Según Benítez (1994) (19) se caracteriza por un bajo nivel de grasas saturadas y alto en mono-insaturadas. Es tanto el potencial de la grasa de la familia de los *Crocodylus* que en África y Asia es de singular importancia y es muy utilizada por sus múltiples propiedades medicinales (20). El contenido de cenizas $0,91\% \pm 0,35$ indica que es rica en macro-minerales y micro-minerales necesarios en la alimentación. Los resultados obtenidos difieren de los reportados por Bustacara y Joya (2007) (2) donde muestran valores de 76,31% de humedad, 21,46% de proteínas, 0,72 % de grasas y 1,26 % de cenizas; sin embargo, su estudio lo realizaron con carne magra, lo que puede explicar la diferencia entre la cantidad de humedad y grasa de los dos estudios. Teniendo en cuenta la composición nutricional de la carne de babilla y comparándola con las carnes de animales de abasto tradicionales se puede evidenciar que es una alternativa para el consumo y el procesamiento industrial.

El grado de reducción del pH muscular posterior al sacrificio tiene un efecto significativo en la calidad final de la carne (21), ya que si este es muy acelerada y el pH queda por debajo de los valores normales, las proteínas presentes en la carne pueden alcanzar el punto isoeléctrico lo que hace que se desnaturalicen y se reduzcan propiedades como la capacidad de retención de agua y se presente un defecto denominado carne PSE, caracterizado por distinguir en la misma un color pálido, una textura suave, casi blanda y una superficie muy húmeda o exudativa (22). La capacidad de retención de agua (CRA) de la carne se debe, en última instancia, al estado químico de las proteínas del músculo y el pH tiene un efecto definitivo en estas, pues el pH en el cual la CRA está en su mínimo valor (pH 5,5) corresponde al punto isoeléctrico de la actomiosina, que constituye el mayor porcentaje de las proteínas estructurales del músculo (23). Esta propiedad está directamente relacionada con la jugosidad en carnes procesadas, es un atributo de calidad que contribuye a su aceptabilidad y a la de los productos cárnicos por parte del consumidor (22). El alto pH causa que las proteínas musculares conserven la mayor parte del agua ligada, lo que hace que los músculos permanezcan hinchados y absorban la mayor parte de la luz que incide sobre la superficie de la carne, dándole un aspecto oscuro (21). El pH en la carne también puede quedar por encima de los valores normales lo que hace que aumente la CRA, pero las condiciones de crecimiento de microorganismos mejoran y como resultado de esto disminuye su vida útil; cuando esto sucede la carne tiene un aspecto seco, oscuro y firme (carne DFD).

La capacidad emulsificante (CE) resultó ser de $50\% \pm 0,15$, esta propiedad es especialmente importante en la calidad industrial de la carne debido a que es responsable en gran parte, junto con la CRA, de la estabilidad de las emulsiones cárnicas. Existen algunos factores que influyen directamente en la CE, entre los más comunes se encuentran el pH, la temperatura y la cantidad de grasa presente en la carne (23), otros factores que influyen son la cantidad de proteínas miofibrilares, frecuentemente reconocidas como la fracción soluble en soluciones salinas concentradas, quienes tienen mayor capacidad para emulsionar grasa que las proteínas sarcoplásmicas o fracción soluble en agua o soluciones salinas diluidas.

Comparando la capacidad emulsificante de la carne de babilla con lo reportado por Idarraga (1991) (24) para otras especies, se puede notar que esta carne posee una buena capacidad emulsificante,

superando a la carne de res, conejo y oveja africana; sin embargo, se encuentra por debajo de carnes como las de tiburón, bocachico y tilapia quienes presentan una capacidad de emulsificante muy alta.

Uno de los requisitos críticos en la carne de reptil es la presencia de *salmonella*, ya que se trata del peligro bacteriano más relevante, con una incidencia de un 16% a un 27%, constituyendo un riesgo de salud pública que viene corroborado por su alta incidencia intestinal en cocodrilos vivos y que eleva contaminación de la carne fresca si no se realiza adecuadamente el sacrificio y faenado de los animales (3, 25). A pesar de que la carne cumple con los criterios exigidos por la normatividad Colombiana, es necesario que en los zocriaderos donde se realiza el sacrificio de babillas se garantice la calidad de su carne a través de la aplicación de buenas prácticas de manufactura (BPM), al momento de la realización del sacrificio y faenado con lo que se evitaría su posible contaminación.

CONCLUSIONES

La carne de babilla es nutricionalmente muy completa; ya que posee 19,79% de proteínas, 14,51% de grasas y 0,91% de cenizas, por lo que se puede aprovechar dentro de la dieta básica de los colombianos, supliendo sus requerimientos nutricionales, además, posee una buena CRA la cual fue de 25,16% y una CE de 50%, así como un pH de 5,61 el cual se encuentra en los rangos establecidos para la carne, por lo que puede fácilmente convertirse en una alternativa interesante como materia prima para la producción de embutidos, posee una buena calidad microbiológica, ya que todos valores exigidos se encuentran dentro de los rangos permitidos, lo que la hace acta para el consumo humano y el procesamiento industrial, sin embargo se hace necesario que se apliquen las buenas prácticas de manufactura en las etapas de sacrificio y faenado para garantizar la calidad de esta.

REFERENCIAS

1. FAO. Food and Agricultural Organization. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo. 2013.
2. Bustacara P, Joya T. Elaboración de tres productos cárnicos: Chorizo, Longaniza y Hamburguesa, con 100% carne de Babilla. [Tesis de Pregrado], [Bogotá, Colombia]: Universidad de la Salle. 2007.
3. Magnino S, Colin PB, Dei-Cas EC, Madsen MD, McLauchlin JE, Nöckler KF, Prieto M, Tsigarida H, Vanopdenbosch EI, Van Peteghem, CJ. Biological risks associated with consumption of reptile products. *International Journal of Food Microbiology*. 2009; 134: 163-175.
4. Spiegel N, Winn P. Alternative sources of meat protein to meet a protein hungry world, *Proc. Pakistan Congress of Zoology*. 2007; 27:19-33.
5. Hoffman L, Cawthorn D. Exotic Protein sources to meet all needs. *Meat Science*. 2013; 95: 764-771.
6. Sinclair A, O'Dea K. Fats in human diets through history: is the Western diet out of step In *Reducing fat in meat animals*. London: Elsevier Applied Science. 1990.
7. Chinos "devoran" carne de babilla colombiana [Internet]. *Diario El País*. [23 de marzo de 2007; citado 18 de enero 2016]. Disponible en: <http://historico.elpais.com.co/historico/mar232007/INT/babilla.html>
8. Castro P, Gutiérrez M. 2009. Diseño y montaje de una estación móvil para sacrificio de babilla (*Caimán Crocodilus*). [Tesis de Pregrado], [Bogotá, Colombia]: Universidad de la Salle: 2009.
9. AOAC. Métodos de Análisis Oficiales. Washington D.C.: Asociación Oficial de Química Analítica, Métodos 950.46, 981.10, 991.36 y 75, 2003.
10. ICONTEC. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Industrias Alimentarias. Productos cárnicos procesados no enlatados. NTC 1325, 2008.
11. Hamm R. Functional properties of the myofibrillar system and their measurements. 1986. Citado por Huidobro, A. y Tejada, M. Propiedades de hidratación del músculo de pescado. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 1993; 3(4): 365-381.
12. González J. Capacidad de retención de agua y pH de la carne de conejos de monte procedentes de caza. En: *Congreso Ibérico de Cunicultura*. 2007.
13. Yu J, Ahmedna M, Goktepe I. Peanut proteins concentrate: Production and functional properties as affected by processing. *Food Chemistry*. 2007; 103: 121-129.
14. FAO. Food and Agricultural Organization. Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor. Producción y Sanidad Animal. Carne y Productos Cárnicos. 2007.
15. Perea A, Gómez E, Mayorga Y, Triana C. Caracterización nutricional de pescados de producción y consumo regional en Bucaramanga, Colombia. *Escuela de Química-CICTA, Escuela de Nutrición y Dietética. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga*. 2008.
16. Hoffman L. The yield and nutritional value of meat from African ungulates, camelidae, rodents, raites and reptiles. *Sthellenbosch University, Departmen of Animal Sciences*. 2008.
17. Rengifo S, Ordóñez F. Efecto de la temperatura en la capacidad de retención de agua y pH en carnes de res, cerdo, pollo, ovino, conejo y pescado paco. *Revista ECI*. 2010.
18. ICTA. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Ministerio de agricultura y desarrollo rural de Colombia. Sistema ICTA de clasificación de canales y cortes de carne bovina. 2005; 34p.
19. Benítez P. Evaluación del potencial funcional de la carne de babilla. [Tesis de Pregrado]. [Bogotá, Colombia]: Universidad Nacional de Colombia: 1994. 7p, citado por Castro, P. F y Gutiérrez, M. Y. Diseño y montaje de una estación móvil para sacrificio de babilla. [Trabajo de grado] [Bogotá, Colombia]: Universidad de la Salle: 2009.
20. Quintana A. Evaluación sensorial de la carne de cocodrilo moreletti. [Tesis de Pregrado]. [Puebla, México]: Universidad de las Américas: 2006.
21. Heinz L, Hautzinger H. Meat processing technology. For small-to medium-scale producers. Bangkok, Thailand: AGRIS. 2007; 432p.
22. Restrepo D, Arango C, Restrepo R, Amézquita A. Tratamientos térmicos en productos cárnicos. En: *Industria de Carnes*. (Eds. D. Restrepo; C. Arango; A. Amézquita y R. Restrepo). Medellín, Colombia. 2001; 279p.
23. Medina A. Evaluación de la capacidad de retención de agua y emulsificación en carne fresca de tres especies. *Guía de prácticas. Tecnología e industrias cárnicas e hidrobiológicos* [Arequipa, Perú]: Universidad Nacional de Arequipa: 2009.
24. Idarraga P. Evaluación de algunos parámetros de rendimiento y calidad en canales de ovejas africanas. [Trabajo de Pregrado]. [Bogotá, Colombia]: Universidad Nacional Colombia: 1991.
25. Chavarrías T. Análisis europeo a la carne de reptil. [Internet]. *Consumer Eroski*. 2007 [29 de noviembre de 2007; citado 20 de enero 2016]. Disponible en: <http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/tendencias/2007/11/29/172357.php> [18 Enero 2016].

COMPORTAMIENTO REOLÓGICA DE LA PULPA DE NONI (*Morinda citrifolia*, L.)

RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF NONI PULP (*Morinda citrifolia*, L.)

Armando ALVIS Ph.D.^{1*} Guillermo ARRAZOLA Ph.D.², Carlos GARCÍA Msc.²

RESUMEN

Antecedentes: La pulpa de noni puede ser utilizada con fines medicinales pues se le atribuyen propiedades para el tratamiento de diversas enfermedades. Sus propiedades de flujo no se han informado y representan características de importancia para determinados cálculos de ingeniería. **Objetivo:** En el presente trabajo se realiza un estudio de las propiedades de flujo de una pulpa de noni obtenida en la Planta Piloto de Vegetales. **Métodos:** Se procesaron 60 kg de frutos maduro, obteniendo pulpa utilizando un equipo despulpador/repasador Shuttevaerweg 60 con malla de 1mm de diámetro. Se realizaron los ensayos físico-químicos establecidos (contenido de sólidos solubles e insolubles, pH y acidez valorable siguiendo las técnicas recomendadas. Para los ensayos reológicos se utilizó un reoviscosímetro Haake RV20. Las corridas experimentales se llevaron a cabo en el intervalo de velocidades de deformación de 0 – 400 s⁻¹ ascendente y luego descendente a la temperatura de 25° C por duplicado. De esta forma se obtiene el posible lazo de histéresis si el producto es tixotrópico. Los datos obtenidos de la curva ascendente se procesaron estadísticamente mediante ajuste de diferentes modelos, con la finalidad de establecer su naturaleza reológica y calcular los principales parámetros que caracterizan al producto. **Resultados:** De acuerdo con los resultados obtenidos la pulpa de noni tiene un comportamiento pseudoplástico y la ley de potencia es el modelo que mejor describe su comportamiento de flujo, ya que el coeficiente de determinación de la regresión tuvo el valor de R² = 0.95. Los parámetros de regresión obtenidos a 25° C. son los siguientes: K = 40.50 Pa.sⁿ, n = 0.22. **Conclusiones:** La pulpa de noni se comporta como un fluido pseudoplástico y la ley de potencia es un modelo adecuado para describir su comportamiento de flujo.

Palabras clave: *Morinda citrifolia* L., pulpa, viscosidad, ley potencia, pseudoplástico

ABSTRACT

Background: Noni (*Morinda citrifolia*, L.) pulp can be used medicinally because of their properties are attributed to the treatment of various diseases. Its flow properties have not been reported and represent certain characteristics of importance for engineering calculations. **Objective:** In this paper a study of the flow properties of noni pulp obtained in the pilot plant is made. **Methods:** 60 kg of ripe fruits were processed, obtaining pulp using a pulper equipment Shuttevaerweg 60 mesh 1 mm diameter. Established physico-chemical tests (soluble and insoluble solids, pH and titratable acidity is performed following the recommended techniques. Experimental runs were conducted in the range of shear rates of 0 - 400 s⁻¹ ascending and then descending to the temperature of 25°C in duplicate. Thus the hysteresis loop can be obtained if the product is thixotropic. The data obtained from the upward curve were processed statistically by fitting different models, in order to establish its rheological nature and calculate the main parameters that characterize the product. **Results:** According to the results of noni pulp has a pseudoplastic behavior and the power law is the model that best describes the flow behavior, as the coefficient of determination of the regression had the value of R² = 0,95. The regression parameters obtained at 25°C were K = 40,50 Pa.sⁿ and n = 0,22. **Conclusions:** Noni pulp behaves as a pseudoplastic fluid and the power law is an appropriate model to describe the flow behavior.

Keywords: *Morinda citrifolia* L., pulp, viscosity, power law, pseudoplastic

¹ Docente Programa Ingeniería de Alimentos. Universidad de Córdoba, Montería, Colombia.

² Docente Programa Ingeniería Agroindustrial. Universidad de Sucre. Sincelejo, Sucre, Colombia.

* Autor al que se debe enviar la correspondencia: aalvis@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

Morinda citrifolia L. perteneciente a la familia Rubiaceae, es un árbol pequeño originario de la Polinesia, India y Sureste de Asia; aunque se ha propagado en otras regiones tales como América Latina incluyendo el Caribe y Australia (1). El fruto es más o menos del tamaño de una papa, de 5 a 10 cm de largo y de 5 a 7 cm de grosor, con un peso promedio de 118g de aspecto grumoso, con cáscara cerosa y traslúcida, cuyo color puede variar desde verde a negro. El fruto maduro se torna amarillento y transparente (2). La masa es jugosa, astringente, de color amarillo tenue o blanco amarillento. En el ámbito de la medicina tradicional se ha usado para el tratamiento de diversas enfermedades tales como diabetes, hipertensión arterial, así como en combatir infecciones producidas por bacterias, virus, y hongos, además de prevenir la formación y proliferación de tumores, antioxidante (1, 3-7).

En cuanto a las propiedades de flujo de la pulpa de noni no se han encontrado trabajos publicados; sin embargo, el conocimiento de las propiedades reológicas de las pulpas de frutas tiene gran importancia ya que son fundamentales para el cálculo y diseño del equipamiento tecnológico (8), la evaluación de los procesos industriales y el control de la calidad. Se conoce que todos estos derivados de frutas son de naturaleza reológica pseudoplástica y que por tanto su comportamiento de flujo puede ser descrito por la Ley de Potencia con los parámetros índice de consistencia (K) e índice de comportamiento de flujo (n). Se han desarrollado numerosos trabajos donde se informan acerca de las características reológicas de pulpas de frutas tropicales (9-17). El objetivo del presente trabajo es el de determinar las propiedades reológicas de la pulpa de noni, cuyos datos pueden ser útiles en determinados cálculos de ingeniería y como fuente comparativa entre productos similares.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los frutos de noni (*Morinda citrifolia* L.) fueron cosechados verdes, durante el mes de junio, se almacenaron en cajas plásticas (20kg) a temperatura ambiente hasta alcanzar la madurez para su procesamiento. Se procesaron 60 kg de frutos maduros (blancos traslúcidos con textura suave al tacto). La pulpa de noni se obtuvo a escala piloto utilizando un equipo despulpador/repasador Shuttevaerweg 60

con malla de 1mm de diámetro. Una vez obtenida la pulpa, se procedió a determinar los sólidos solubles (AOAC 932.12, 1998) (18), pH y acidez valorable (AOAC 981.12, 1998) (18).

Los ensayos reológicos se realizaron mediante un reoviscosímetro Haake RV20 con el sistema de medición SV2. Las corridas experimentales se llevaron a cabo en el intervalo de velocidades de deformación de 0 – 400 s⁻¹ ascendente y luego descendente a la temperatura de 25° C por duplicado. De esta forma se obtiene el posible lazo de histéresis si el producto es tixotrópico. Los datos obtenidos de la curva ascendente se procesaron estadísticamente mediante ajuste de diferentes modelos, con la finalidad de establecer su naturaleza reológica y calcular los principales parámetros que caracterizan al producto. Los resultados del esfuerzo de cizalla σ (Pa) y el gradiente de velocidad $\dot{\gamma}$ (s⁻¹) se ajustaron a la ley de potencia (ecuación 1).

$$\sigma = K \dot{\gamma}^n \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde el índice de consistencia (K) Pa.sⁿ y el índice de flujo (n).

RESULTADOS

En la tabla 2 se presentan las concentraciones medias de las características físico-químicas evaluadas de la pulpa de noni.

Tabla 1. Caracterización físico-química de la pulpa de noni

Producto	Sólidos totales (%)	Sólidos Solubles (%)	pH	Acidez (meq NaOH)
Pulpa de noni	11,25	9,5	4,01	0,09

El ajuste del modelo reológico de la pulpa de noni muestra que cumple con la ley de potencia (R² >90%) caracterizado por no tener esfuerzo de fluencia; además, la viscosidad se reduce con el incremento de la deformación y el índice de flujo es menor a 1, indicando un comportamiento pseudo-plástico. Las constantes del modelo se presentan en la tabla 2 correspondientes al índice de consistencia (K) y el índice de flujo (n).

Tabla 2. Parámetros modelo Ley de Potencia 25° C

Producto	K (Pa.s ⁿ)	n (--)	R ²
Pulpa de noni	40,50	0,22	0,95

DISCUSIÓN

La composición en sólidos solubles, pH, acidez y sólidos totales de la pulpa de noni están acorde a lo reportado por Canuto et al. (19) y Chan-Blanco et al. (20) que obtuvieron valores de pH de 3,72 a 4,0 y corresponde a una pulpa caracterizada como ácida (3,7 a 4,5) (21); en cuanto a los sólidos solubles presenta un alto contenido de sustancias disueltas como ácidos orgánicos, vitaminas y polifenoles, que le confieren preferencia para el consumo y el uso industrial por ofrecer un mayor rendimiento (5, 22).

La pulpa de noni en los ensayos reológicos de deformación las fases ascendente y descendente de velocidades no presentaron histéresis, la viscosidad aparente se reduce cuando la deformación se incrementa, exhibe un comportamiento independiente del tiempo, no newtoniano y sin esfuerzo de fluencia, estableciendo que la pulpa es de naturaleza pseudoplástica. Este comportamiento puede estar asociado a la composición en fibra de la pulpa, que al someterse a la deformación se reorganizan e interactúan influyendo en los parámetros reológicos, estudios con pulpas de uva (*Eugenia pyriformis Cambess*) y grosella (*Eugenia uniflora L.*) (23) han demostrado la dependencia con el contenido de fibra de este tipo de pulpas. Los valores de K son elevados en comparación con las pulpas de mango ($K = 8,2 - 5,06 \text{ Pa.s}^n$ y $n = 0,32 - 0,34$) estudiadas por Piñera et al. (24) y en cereza Pereira et al., (25) pero muy similar a las obtenidas para la pulpa de guayaba ($K = 41,7 \text{ Pa.s}^n$ y $n = 0,19$) (24) y $K = 40,0 \text{ Pa.s}^n$ y $n = 0,24$ (24) lo que indica que el producto es muy viscoso. El valor de n, es muy bajo por lo que su grado de pseudoplasticidad es marcado y significa que cuando el producto se somete a esfuerzos de cizalla (agitación) la viscosidad disminuye drásticamente (11,12, 26-29). Con este comportamiento la estructura de la pulpa es ablandada con el incremento de la velocidad de deformación.

CONCLUSIONES

La pulpa de noni se caracteriza por un alto contenido de sólidos solubles y puede considerarse una pulpa ácida. La pulpa se comporta como un fluido independiente del tiempo, sin esfuerzo de fluencia de comportamiento pseudoplástico y la ley de potencia es un modelo adecuado para describir su comportamiento de flujo.

REFERENCIAS

- Ulloa J, Ulloa P, Ramírez J, Ulloa B. El noni: propiedades, usos y aplicaciones potenciales. *Revista Fuente* 2012; 4(10): 44-49.
- Yang J, Gadi R, Paulino R, Thomson T. Total phenolics, ascorbic acid, and antioxidant capacity of noni (*Morinda citrifolia L.*) juice and powder as affected by illumination during storage. *Food Chemistry*. 2010; 122: 627-632.
- Earle J E. Plantas medicinales en el Trópico Húmedo. Editorial Guayacan, San José; 2001.
- Chan Y, Vaillant F, Perez A, Reynes M, Brillouet J, Brat P. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2006; 19: 645-654.
- Correia A, Gonzaga M, Aquino A, Souza P, Figueiredo R, Maia G. Caracterização química e físico-química da polpa do noni (*Morinda citrifolia*) cultivado no estado do Ceará. *Alim. Nutr., Araraquara*. 2011; 22(4): 609-615.
- Ahmad MD, Sultan A, Sheeba A, Rai-Kanchan B. Cancer preventive Effect of *Morinda citrifolia* (Noni) fruit juice against the Aflatoxin B2-induced genotoxicity in human peripheral lymphocytes in vitro. *IOSR Journal of Pharmacy*. 2012; 2(2): 228-234.
- Sullón J, Ordóñez E, Vela J, Sandoval M. Evaluación de la Actividad Antioxidante del noni (*Morinda Citrifolia L.*) en tres Estados de Madurez en Tingo Maria. *ECIPERU*. 2012; 19-22.
- McKenna B, Lyng J. Introduction to food rheology and its measurement. En: *Texture in food: Volume 1: Semi-solid foods*, ed. B. M. McKenna, Woodhead Publishing Limited; 2013.
- Andrade R, Torres R, Montes E., Pérez O, Bustamante C, Mora B. Effect of temperature on the rheological behavior of zapote pulp (*Calocarpum sapota Merr*). *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*. 2010; 33(2): 138-144.
- Díaz R, Zapateiro L, José María Franco J, Vallejo C. Caracterización Bromatológica, Físicoquímica Microbiológica y Reológica de la Pulpa de Borojó (*Borojoa patinoi cuatrec*). *Ciencia y Tecnología*. 2012; 5(1): 17-24.
- Muñoz E, Luis A. Rubio; María S. Cabeza. Comportamiento de flujo y caracterización físicoquímica de pulpas de durazno. *Scientia Agropecuaria*. 2012; 2: 107-116.
- Manayay D, Castillo W, Quezada S, Palacios L, López S. Caracterización del comportamiento al flujo de pulpa simple y concentrada de manzana (*Phyruus malus L.*) variedad San Antonio. *Agroind Sci*. 2013; 3: 47-51.
- Erdmann G, Simas-Tosin F, Iacomini M, James P, Cordeiro L. Rheological behavior of high methoxyl pectin from the pulp of tamarillo fruit (*Solanum betaceum*). *Carbohydrate Polymers*. 2016; 139: 125-130.
- Gallego H, Álvarez C, Vélez C, Fernández A. Caracterización Reológica de dos Salsas Alimenticias. *Vitae*. 2012; 19(1): S433-S435.
- Pereira C, De Resende J, Giarola T. Relationship between the thermal conductivity and rheological behavior of acerola pulp: Effect of concentration and temperature. *Food Science and Technology*. 2014; 58(2): 446-453.
- Balestra F, Cocci E, Marsilio G, Dalla M. Physico-chemical and rheological changes of fruit purees during storage. *Procedia Food Science*. 2011; 1 576-582.
- Millán L, Cardona B, Herrera J, Arbeláez D, Gutiérrez D. Análisis sensorial e instrumental (textura) a una salsa agrídulce de borjój. *Revista Lasallista de Investigación. Corporación Universitaria Lasallista Colombia*. 2010; 7(1):36-41.
- AOAC. Official methods of analysis. Washington D.C: Association of Analytical Chemists; 1998.
- Canuto G A B, et al. Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. *Rev. Bras. Frutic*. 2010; 32:1196-1205.

20. Chan-Blanco Y, et al. The noni fruit (*Morinda citrifolia* L.): a review of agricultural research, nutritional and therapeutic properties. *J. Food Comp. Anal.* 2006; 19: 645-654.
21. Baruffaldi R, Oliveira M. Fundamentos de tecnología de alimentos. São Paulo: Atheneu; 1998. 317p.
22. Rodrigues L, Queiroz P, Andrade G, Pereira K, Mendonça V, Galdino G. *Rev Cubana Plant Med.* 2012; 17(1): 93-100.
23. Karwowski M, Masson M, Lenzi M, Scheer A, Haminiuk C. Characterization of tropical fruits: rheology, stability and phenolic compounds. *Acta Alimentaria.* 2013; 42: 586-598.
24. Piñera R M, De Hombre R, Batista A, Cerezal P. Comportamiento reológico de pulpas procedentes de diferentes variedades de guayaba. Informe técnico IIIA, 1995.
25. Pereira C, De Resende J, Giarola T. Relationship between the thermal conductivity and rheological behavior of acerola pulp: Effect of concentration and temperature. *Food Science and Technology.* 2014; 58(2): 446-453.
26. Andrade R, Torres R, Montes E, Ortega F. Comportamiento reológico de pulpas de frutas tropicales: guayaba (*Psidium guajava* L), guanábana (*Annona muricata* L), zapote (*Calocarpum sapota* Merr) y níspero (*Achras sapota* L). *@limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria.* 2007; 5(2):37-44.
27. Andrade R, Fabián F, Montes E, Torres R, Pérez O, Castro M, Gutiérrez L. Caracterización Físicoquímica y Reológica de la Pulpa de Guayaba (*Psidium guajava* L.) Variedades Híbrido de Klom Sali, Puerto Rico, D14 y Red. *Vitae.* 2009; 16(1): 13-18.
28. Medina M, Pagano F. Caracterización de la pulpa de guayaba (*Psidium guajava* L.) tipo "Criolla Roja". *Rev. Fac. Agron.* 2003; 20(1): 72-86.
29. Sánchez C, Oria R, Sánchez Y, Gimeno A. Efecto de la temperatura en las propiedades reológicas de purés de guayaba (*Psidium guajava* L.). Grupo de Investigación en Alimentos de Origen Vegetal. Universidad de Zaragoza. España. 2006.

EXTRACCION ASISTIDA POR MICROONDAS DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES A PARTIR DE CÁSCARA DE PAPA (*Solanum tuberosum*)

MICROWAVE-ASSISTED EXTRACTION OF ANTIOXIDANTS COMPOUNDS FROM
POTATO PEEL (*Solanum tuberosum*)

Diana CHAVES MORILLO, IAI^{1*}, Valery BOLAÑOS PATIÑO, IAI¹,
Mauricio BUCHELI JURADO, MSc², Oswaldo OSORIO MORA, PhD³

RESUMEN

Antecedentes: La extracción Asistida por Microondas (EAM), se constituye en una alternativa de extracción por sus ventajas frente a técnicas de extracción convencional, esto, junto al aprovechamiento de residuos agroindustriales marcan la pauta para la innovación tecnológica en la obtención de metabolitos de interés sin afectar negativamente el ambiente **Objetivos:** El principal objetivo de esta investigación fue evaluar la Extracción asistida por Microondas (EAM) sobre los rendimientos y actividad antioxidante de compuestos fenólicos de la cáscara de papa. **Métodos:** Se realizó una extracción asistida por microondas de compuestos antioxidantes de cáscara de papa, se determinó Contenido de Fenoles Totales (FT) y Actividad Antioxidante (TEAC), los niveles óptimos de los factores utilizados en la presente investigación se encontraron utilizando un diseño factoriales 3². **Resultados:** Los valores más altos de fenoles totales y actividad antioxidante fueron de 7.632 mg de AGE/g de cáscara de papa seca y 0,0984 mmol trolox/ g de cáscara de papa seca respectivamente. **Conclusión:** los resultados de EAM obtenidos fueron comparados con métodos convencionales de extracción, demostrando que es una tecnología más rápida, más económica y más amigable con el ambiente.

Palabras clave: Extracción, Microondas, cáscara de papa, antioxidantes, actividad antioxidante.

ABSTRACT

Background: Microwave assisted extraction (MAE) is an alternative extraction method because its advantages over conventional extraction techniques, this, with the use of agro-industrial waste, set the standard for technological innovation in the production of metabolites of interest without adversely affecting the environment **Objectives:** The main objective of this research was to evaluate the microwave assisted extraction (MAE) on yield and antioxidant activity of phenolic compounds of the potato peel. **Methods:** A power microwave extraction of antioxidant compounds from potato peel antioxidant activity (TEAC) was performed, total phenolic content (TPC) was determined and the optimum levels of the factors used in this investigation were found using a factorial design 3². **Results:** The highest values of total phenols and antioxidant activity were AGE 7.632 mg / g dried potato peel and trolox 0.0984 mmol / g dried potato peel respectively. **Conclusions:** MAE results obtained were compared with conventional methods extraction, showing that it is faster, cheaper and a more environmentally friendly technology.

Keywords: Extraction, Microwave, potato peel, antioxidants, antioxidant activity.

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum*) es una de las hortalizas más consumida en todo el mundo (1). La cáscara

1 Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño, grupo de investigación GAIDA. Pasto, Colombia

2 Docente Hora Cátedra, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño. grupo de investigación GAIDA. Pasto, Colombia

3 Docente Tiempo Completo, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño, grupo de investigación GAIDA. Pasto, Colombia

* Autor a quien se debe enviar la correspondencia: diana2-@hotmail.com

es el principal subproducto de la industria de la papa, el cual puede causar problemas de saneamiento cuando no es gestionado adecuadamente(2); el gran interés en torno a la cáscara de papa se centra en que contiene varios compuestos de interés como los polifenoles (3, 4); estos compuestos antioxidantes tienen potenciales aplicaciones tanto en la industria alimentaria como en la no alimentaria(1,2). El interés creciente por sustancias bioactivas de origen natural, impone la necesidad de desarrollar métodos de extracción menos contaminantes y con el máximo rendimiento de extracción (5), tecnologías como la de microondas han sido utilizadas como métodos alternativos de extracción y en comparación con métodos tradicionales presenta ventajas como ahorro energético, tiempos cortos de extracción, mayor rendimiento, procesos económicos y amigables con el ambiente, por lo cual se comprueba su viabilidad industrial (6–8). El objetivo de la presente investigación busca evaluar la eficiencia de esta tecnología no convencional sobre el rendimiento y actividad antioxidante de los compuestos fenólicos de la cáscara de papa diacol capiro.

MATERIALES Y MÉTODO

Cáscara de papa

La papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol capiro fue obtenida en el mercado local en el municipio de Pasto (Nariño-Colombia), se trasladó a las instalaciones de planta piloto de la Universidad de Nariño, donde se retiró la cáscara mediante pelado mecánico, se secó y se realizó una molienda final del material para la posterior extracción.

Procedimiento de extracción

La extracción de polifenoles se realizó en recipientes erlenmeyer de 100 mL, con una relación cáscara: solvente de 1:20, el proceso fue realizado en un microondas convencional (whirpool wm2014s); Se evaluaron dos factores: Diámetro de partícula (0,508mm, 0,335mm y 0,214mm) y tiempo (3, 6 y 9 minutos); basándose en pruebas preliminares se utilizó como solvente etanol estableciendo una concentración de 50%. Finalizada la extracción se separó la fase sólido-líquido utilizando una centrifuga Dinamic Velocity 18R a 1026g por 10 minutos.

Métodos analíticos

El contenido de fenoles totales (FT) en los extractos fue determinado con el método colorimé-

trico Folin Ciocalteau (2). La curva de calibración utilizada se reportan en los estudios de Cerón y López (9) de la cual se obtiene la siguiente ecuación: $y = 0.0016x + 0.0209$. Todos los análisis se hicieron por triplicado. Los resultados fueron expresados en equivalentes de ácido gálico (mg de AGE/g de cascara de papa seca).

Para la determinación de la actividad antioxidante TEAC, se utilizó Trolox como antioxidante de referencia y un radical coloreado ABTS como lo reporta Jimenez & Villarreal(10). Se utilizó la curva de calibración de Cerón & López (9) encontrando la siguiente ecuación: $y = -0,1398x + 0,6903$. Los resultados se expresaron en mmol de trolox/g de cascara seca.

Análisis estadístico

Se aplicó un diseño factorial 3^2 , El análisis de resultados se desarrolló en el programa Statgraphics centurión© XVI.I, los datos obtenidos en la experimentación fueron tratados con un análisis de varianza multifactorial; se realizó una prueba de comparación LSD de Fisher a un 5% de nivel de significancia, con el fin de determinar cómo influyen los factores sobre la variable respuesta.

RESULTADOS

Tabla 1. Contenido de fenoles totales y actividad antioxidante influenciado por Tiempo y Tamaño de partícula

Corridas	FACTORES		RESPUESTA	
	Tiempo (minutos)	Tamaño de partícula (mm)	Fenoles totales (mg de AGE/g de cascara seca) (\pm DE)	TEAC (mM de trolox/g de cascara seca) (\pm DE)
1	3	0.508	4.653 \pm 0.130 ^b	0,0808 + 0,0004359 ^b
2	3	0.335	2.862 \pm 0.280 ^c	0,06743 + 0,000105 ^c
3	3	0.214	1.067 \pm 0.094 ^d	0,05413 + 0,001 ^d
4	6	0.508	7.630\pm0.102^a	0,09838 + 0,0001^a
5	6	0.335	4.941 \pm 0.09 ^b	0,085 + 0,00036 ^b
6	6	0.214	2.883 \pm 0.232 ^c	0,06832 + 9,50438E-05 ^c
7	9	0.508	7.632\pm0.096^a	0,09863 + 0,0002^a
8	9	0.335	4.931 \pm 0.092 ^b	0,08467 + 0,0002 ^b
9	9	0.214	2.9606 \pm 0.087 ^c	0,06939 + 0,00021 ^c

Nota: los resultados son la media de tres réplicas \pm DE, resultados con letras diferentes (a,b c y d) indican diferencias estadísticamente significativas en un nivel de 5%.

En la Tabla 1 se observan los resultados del contenido de fenoles totales y actividad antioxidante influenciados por los parámetros previamente esta-

blecidos, se obtiene que los mejores resultados para FT fue de 7.632 mg de AGE/g de cáscara seca, y el mayor valor de TEAC fue de fue de 0,09863 mmol de trolox/g de cáscara de papa seca, los cuales se obtienen con el tamaño de partícula de 0,508 mm y con un tiempo de 9 minutos. El análisis de varianza indicó que las variables tiempo (T) y Diámetro de partícula (DP) son significativos ($p < 0.05$) con un efecto positivo sobre las variables respuesta fenoles totales y actividad antioxidante. La relación empírica entre el contenido de fenoles totales y los parámetros de extracción se muestra Con la siguiente ecuación: (Ecuación 1)

$$FT = 6.42645 + 1.67356 \cdot T + 16.4045 \cdot DP - 0.125907 \cdot T^2 + 0.633175 \cdot T \cdot DP - 7.56309 \cdot DP^2 \quad (01)$$

Por otro lado la ecuación que relaciona los parámetros de extracción con la actividad antioxidante es la siguiente (Ecuación 2)

$$TEAC = -0.0146705 + 0.0130504 \cdot T + 0.20247 \cdot DP - 0.000895556 \cdot T^2 + 0.00139788 \cdot T \cdot DP - 0.157049 \cdot DP^2 \quad (02)$$

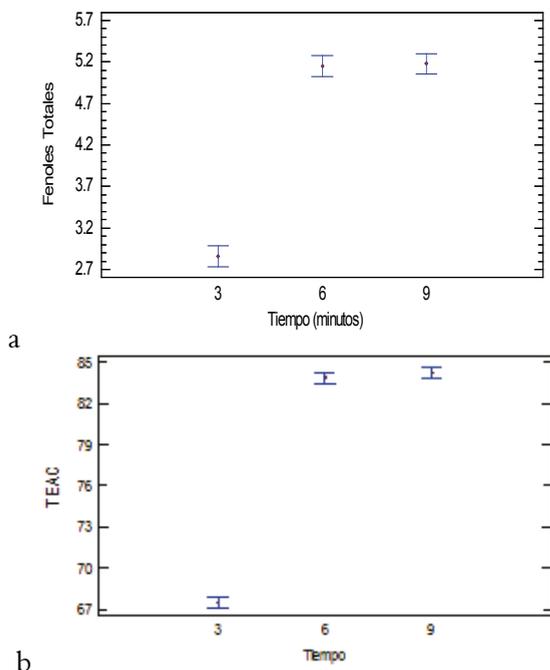


Figura 1. Gráfico de medias para el contenido de fenoles totales (a) y actividad antioxidante (b) con relación al tiempo.

Se presentaron diferencias significativas entre todos los niveles de diámetro de partícula, siendo 0.508 mm el nivel con el que se alcanzaron los mayores valores de FT Y TEAC, en cuanto al

factor tiempo En la figura 1 se evidencia que hay una diferencia significativa entre los niveles 3 y 6 minutos y 3 y 9 minutos, sin embargo no hay diferencia entre los niveles 6 y 9, tiempos en los cuales se obtuvo tanto mayor contenido de fenoles totales como una mayor actividad antioxidante, para observar con más claridad el comportamiento de las variables con respecto al tiempo se llevaron a cabo extracciones aumentando el tiempo de extracción hasta 15 minutos y cuantificando minuto a minuto tanto fenoles totales como actividad antioxidante (Figura 2).

En el gráfico 2, se observa un comportamiento característico e igual tanto en la variable fenoles totales como en la variable actividad antioxidante, en las cuales se muestran valores ascendentes hasta el minuto 6, a partir del cual los valores se tornan constantes hasta el final del proceso de extracción.

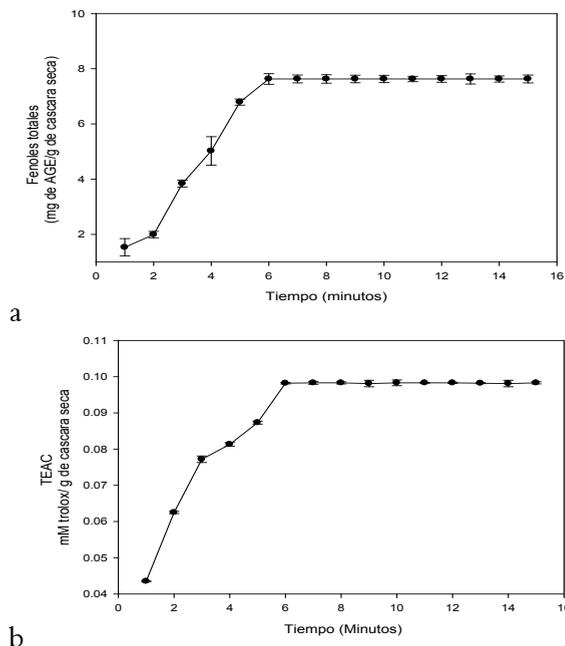


Figura 2. Comportamiento de Contenido de fenoles totales (a) y actividad antioxidante (b) con respecto al tiempo

DISCUSIÓN

La extracción de compuestos antioxidantes depende de diferentes factores como diámetro de partícula y tiempo, estudios muestran resultados similares en cuanto al primer factor mencionado (9), siendo al igual que en esta investigación el más influyente sobre la variable respuesta y con una significancia positiva, es decir que a mayor diámetro

de partícula mayor es la extracción de fenoles totales en el rango evaluado (9). Otras investigaciones han evidenciado que el tiempo no es un factor directamente proporcional a la variable respuesta (fenoles totales), es así como los compuestos antioxidantes independientemente de la matriz de extracción, muestran un comportamiento común con respecto a la variable tiempo, en cuyas graficas es posible observar tres fases siendo la primera un aumento en los fenoles totales y/o actividad antioxidante, la segunda una fase constante y la tercera una fase de decrecimiento (11). Esto es debido que en un inicio hay una extracción gradual de antioxidantes hasta el punto en el que se ha extraído la mayoría de compuestos del material vegetal, sin embargo y debido a varios factores como el calentamiento estos compuestos pueden degradarse poco a poco y por ende los valores de compuestos fenólicos tienden a disminuir, así mismo si hay una disminución de la cantidad de antioxidantes la actividad antioxidante también disminuirá (5,12–14). En el presente estudio solo se presenta la fase inicial la cual se observa desde el minuto 1 al minuto 6, tiempo durante el cual se observa un aumento de fenoles y la segunda fase a partir del minuto 6 durante la cual se observa una comportamiento constante hasta el minuto 15, la tercera fase no se evidencia pues el tiempo de extracción no es lo suficientemente largo para observar este fenómeno. Estudios de extracción de compuestos antioxidantes de la cáscara de papa variedad Diacol Capiro (9) reportan que utilizando un método de extracción convencional los mejores resultados fueron de 7.64 ± 0.269 g de AGE/g de cáscara de papa seca, para para fenoles totales y de 0.0934 ± 0.00012 mM de trolox/g de cáscara de papa seca, para actividad antioxidante, cabe resaltar que la investigación mencionada anteriormente utilizó como solvente metanol, producto altamente contaminante y tóxico (14, 15), por su parte el etanol es ampliamente utilizado para la extracción de antioxidante, no es contaminante y es seguro para el consumo humano (11), de igual manera es necesario resaltar que los tiempos de extracción de la presente investigación fueron de 6 a 9 minutos, lo cual represente una gran ventaja por parte de la tecnología de microondas pues se traduce en un ahorro de tiempo y energía, la extracción asistida por microondas se aplica con éxito en escala de laboratorio porque es rápida, ecocompatible (menos solvente requerido), y muy eficaz (16). Las condiciones de extracción dependen de cada producto y

proceso, para esta investigación el punto óptimo de extracción de 7.632 mg de AGE/g de cáscara de papa seca y 0,0984 mmol trolox/g de cáscara de papa seca respectivamente se alcanzó a los 7.65 minutos, con un diámetro de partícula de 0.508 mm.

CONCLUSIONES

El punto óptimo encontrado en la presente investigación se obtiene con un tamaño de partícula 0.508 mm y tiempo de extracción de aproximadamente 7,6 minutos alcanzando una actividad antioxidante de 0,09863 mmol de trolox/g de cascara de papa seca, y una cantidad de fenoles totales de 7.632 g AGE/g, los resultados indican que las extracciones realizadas con microondas son una alternativa adecuada para obtener compuestos tipo fenólicos de subproductos agroindustriales como lo es la cáscara de papa, pues se constituye como una tecnología emergente amigable con el ambiente, rápida y segura.

Se observaron diferencias estadísticamente significativas en el contenido de fenoles totales y actividad antioxidante a diferentes tamaños de partícula, obteniendo mayores resultados a mayor tamaño; en cuanto al tiempo se evidenció que existe una fase constante donde no hay mayor extracción de compuestos antioxidantes, por lo cual si se toman tiempos muy largos resultará en un gasto innecesario de energía y la posibilidad de una pérdida de antioxidantes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este proyecto desean expresar su agradecimiento a la Vicerrectoria de Investigaciones, Postgrados y Relaciones Internacionales (VIPRI) por la financiación de la investigación de la Universidad de Nariño.

REFERENCIAS

1. Weshahy A, Rao A. Isolation and characterization of functional components from peel samples of six potatoes varieties growing in Ontario. *Food Res Int.* 2009;42:1062-6.
2. Koduvayur SF, Nielsen NS, Jacobsen C. Antioxidant Activity of Potato Peel Extracts in a Fish-Rapeseed Oil Mixture and in Oil-in-Water Emulsions. *J Am Oil Chem Soc.* 2010 Jun;87(11):1319-32.
3. Llanos E. Capacidad antioxidante de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) con y sin cáscara : Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Lima-Peru); 2009.
4. Toma R, Orr P, D'Appolonia B, Dintzis F, Tabekhia M. Physical and chemical properties of potato peel as a source of dietary fiber in bread. *J Food Sci.* 1979;44:1403-7.

5. Chen T, Sun X, Xiao W, Liu X, Zhang W, Ma K, et al. Optimization of microwave-assisted extraction of solanesol from potato leaves and stems. *Med Chem Res* [Internet]. 2009 Jun 23 [cited 2013 Feb 27];19(8):732-42.
6. Kaufmann B, Christen P. Recent extraction techniques for natural products: Microwave-assisted extraction and pressurized solven. *Phytochemistry*. 2002;13:105-13.
7. Pan Y, Wang K, Huang S, Wang H, Mu X, He C, et al. Antioxidant activity of microwave-assisted extract of longan (*Dimocarpus Longan Lour.*) peel. *Food Chem* [Internet]. 2008 Feb [cited 2013 Feb 22];106(3):1264-70.
8. Puertas M, Rios Y, Rojano B. Determinación de antocianinas mediante extracción asistida por radiación de microondas en frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) de alto consumo en Antioquia-Determination of anthocyanins by microwave assisted extraction in beans (*Phaseolus vulgaris L.*) comm. *Rev Cuba plantas Med*. 2013;18(2):288-97.
9. Cerón L, López I. Extracción y cuantificación de compuestos con actividad antioxidantes a partir de cáscaras de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) en el departamento de Nariño. Tesis de pregrado. Universidad De Nariño. Facultad De Ingeniería Agroindustrial. Programa De Ingeniería Agroindustrial. San Juan De Pasto.; 2013.
10. Jimenez J, Viarreal J. Estudio químico de pigmentos tipo antocianina presentes en el fruto del motilon (*Hyeronima macrocarpa*). Universidad de Nariño; 2008.
11. Pavlović MD, Buntić A V, Šiler-Marinković SS, Dimitrijević-Branković SI. Ethanol influenced fast microwave-assisted extraction for natural antioxidants obtaining from spent filter coffee. *Sep Purif Technol* [Internet]. 2013 Oct [cited 2014 Jun 16];118:503-10.
12. Hemwimon S, Pavasant P, Shotipruk A. Microwave-assisted extraction of antioxidative anthraquinones from roots of *Morinda citrifolia*. *Sep Purif Technol* [Internet]. 2007 Mar [cited 2014 Jul 17];54(1):44-50.
13. Wu T, Yan J, Liu R, Marcone MF, Aisa HA, Tsao R. Optimization of microwave-assisted extraction of phenolics from potato and its downstream waste using orthogonal array design. *Food Chem* [Internet]. Elsevier Ltd; 2012 Aug [cited 2014 Jun 2];133(4):1292-8.
14. Singh A, Sabally K, Kubow S, Donnelly DJ, Garipey Y, Orsat V, et al. Microwave-assisted extraction of phenolic antioxidants from potato peels. *Molecules* [Internet]. 2011 Jan [cited 2014 Jun 16];16(3):2218-32.
15. Bravo J, Monente C, Juániz I, De Peña MP, Cid C. Influence of extraction process on antioxidant capacity of spent coffee. *Food Res Int* [Internet]. Elsevier Ltd; 2013 Mar [cited 2014 Jul 17];50(2):610-6.
16. Pérez-Serradilla J A, Luque de Castro M D. Microwave-assisted extraction of phenolic compounds from wine lees and spray-drying of the extract. *Food Chem* [Internet]. 2011 Feb [cited 2014 Jul 21];124(4):1652-9.

CUANTIFICACIÓN DE CINAMALDEHÍDO Y RENDIMIENTO EN ACEITE ESENCIAL DE CANELA COMERCIAL OBTENIDO POR HIDRODESTILACION ASISTIDA CON MICROONDAS

QUANTIFICATION OF CINNAMALDEHYDE AND PERFORMANCE IN ESSENTIAL OIL OF "COMMERCIAL CINNAMON" OBTAINED BY MICROWAVE ASSISTED HYDRODISTILLATION

Olga L. BENAVIDES C.^{1*}, David ARTURO P.², Camilo VILLEGAS³

RESUMEN

Antecedentes: El aceite esencial de canela es un aditivo de gran importancia en la industria alimentaria y farmacéutica debido a sus propiedades antioxidantes y terapéuticas. **Objetivos:** El objetivo principal de este trabajo fue realizar la extracción de aceite esencial de canela comercial y la cuantificación de su compuesto mayoritario. **Métodos:** La extracción de aceite esencial de canela comercial se llevó a cabo mediante hidrodestilación asistida por microondas, se evaluó el rendimiento de extracción y se determinó el compuesto volátil mayoritario de este aceite mediante la técnica de GC-MS. **Resultados:** El rendimiento de aceite esencial de canela osciló entre 0,934 a 2,089%, además, se obtuvo diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos evaluados. Por otro lado, el análisis de GC-MS indicó que el componente mayoritario en los extractos de aceite esencial es cinamaldehído el cual se detectó en un contenido relativo de 80,4 a 86,9%. **Conclusiones:** La hidrodestilación asistida por microondas fue un método apto para la extracción de aceite esencial de canela, además, se logró identificar el compuesto mayoritario de este aceite.

Palabras clave: Aceite esencial, Hidrodestilación asistida por microondas, cinamaldehído, GC-MS

ABSTRACT

Background: Cinnamon essential oil is an additive of great importance for food and pharmaceutical industries due to its antioxidant and therapeutic properties. **Objectives:** Aim object of this work was made the commercial cinnamon essential oil extraction and quantification of its major compound. **Methods:** Extraction of essential oil of cinnamon commercial is carried out by microwave hydrodistillation performed, extraction yield and volatile major compound by GC-MS are evaluated. **Results:** Essential oil yield vary among 0.934 to 2.089%, in addition to, statistically significant differences ($P < 0.05$) was obtained between treatments. Furthermore, GC-MS analysis indicated that the major compound was cinnamaldehyde which was detected in a relative content of 80.4 to 86.9%. **Conclusions:** Hydrodistillation assisted by microwave was a suitable method for cinnamon essential oil extraction, additionally, major compound of this essential oil was identified.

Keywords: Essential oil, MWHD, Cinnamaldehyde, GC-MS

INTRODUCCIÓN

La canela (*Cinnamomum verum*) es originario de Sri Lanka y pertenece a la familia *Lauraceae* y es una planta medicinal muy importante que se distribuye ampliamente en China, Vietnam, Sri Lanka, Madagascar, Seychelles y la India; tiene un olor suave y

¹ M.Sc. Docente Facultad de Ingeniería Agroindustrial. Grupo de Investigación en Biotecnología Agroindustrial y Ambiental BIOTA. Universidad de Nariño. Pasto – Colombia.

² Químico. Técnico de Cromatografía Laboratorios Especializados. Universidad de Nariño. Pasto – Colombia.

³ Ingeniero Agroindustrial. Facultad de Ingeniería Agroindustrial. Universidad de Nariño. Pasto – Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: olgalucia@udenar.edu.co

dulce sabor ligeramente picante (1). La canela es una especie muy utilizada en gastronomía y medicina natural, no obstante, en las últimas décadas la canela se usa mediante su aceite esencial el cual tiene un potencial conservante y antioxidante que lo convierte en un aditivo ideal en el campo agroindustrial y alimentario. Por otro lado, el aceite esencial de canela también tiene efectos terapéuticos, antiinflamatorios, anticancerígenos y antibacteriales (2, 3, 4, 5, 6). Algunos autores indican que el cinamaldehído es el principal componente de este aceite y el responsable de darle la importancia que este aceite posee (7, 8). Es por esta razón que este trabajo tiene como objeto la determinación del rendimiento de aceite esencial de canela a partir de la extracción asistida por microondas MWHD y la cuantificación del compuesto mayoritario por GC-MS

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó canela comercial marca BADIA (Badia Spices, US), la extracción se llevó a cabo mediante el método de hidrodestilación asistida por microondas (MWHD) (2), utilizando un microondas LG modelo NMB-314V6., para la extracción se puso en contacto 30g de canela con 500mL de agua destilada.

La identificación del componente volátil mayoritario se realizó mediante GC-MS empleando un cromatógrafo de gases con detector de ionización en llama (GC-FID) Shimadzu GC-17A. Se empleó para la separación una columna capilar DB-5MS (J&W Scientific, 30m x 0,25mm d.i., df 0,25 μ m). Los espectros de masas se obtuvieron con un cromatógrafo de gases acoplado a un detector selectivo de masas, Shimadzu QP2010S, empleando una columna SHXIR-5MS (Shimadzu 30m x 0,25mm d.i., df 0,25 μ m). La identificación de los compuestos del aceite esencial se realizó mediante el cálculo de los índices de retención lineales empleando una serie homologa de n-alcános C6–C20 (Restek, bellefonte) y por comparación de los espectros de masas reportados por las bases de datos ADAMS 2004 y NIST 05 (1).

Tabla 1. Tratamientos aplicados para la extracción de aceite esencial de canela por MWHD.

Tratamiento	Potencia (%)	Tiempo de extracción (min)
1	60	30
2	80	30
3	60	60
4	80	60

RESULTADOS

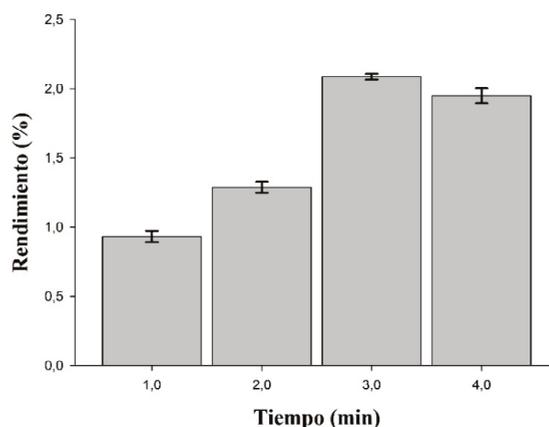


Figura 1. Rendimiento (% p/p) de aceite esencial de canela de los diferentes tratamientos analizados.

Tabla 2. Contenido de cinamaldehído (% relativo de área cromatográfica) en los diferentes extractos de aceite esencial.

Tratamiento	Cinamaldehído (%)
1	80,4
2	81,4
3	86,9
4	80,7

DISCUSIÓN

Los aceites esenciales de canela extraídos por hidrodestilación asistida por microondas analizados, tuvieron un rendimiento de 0,934 a 2,089 % como se observa en la Figura 1. El ANOVA demostró que hay diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos analizados. El mayor rendimiento se obtuvo en el tratamiento 3 (2,106 %) y el menor rendimiento se obtuvo en el tratamiento 1 (0,928%).

Los rendimientos son similares a los presentados por algunos autores los cuales indican que los rendimientos de aceite esencial de canela extraído por hidrodestilación con microondas oscilan entre 0,72 a 3,08% (1) y 0,72 a 1,54% (8).

El análisis de GC/MS determinó que el componente mayoritario presente en las muestras de canela es cinamaldehído, el cual se encuentra presente en todos los extractos de aceite esencial con una proporción entre 80,4 a 86,9% como se refleja en la

Tabla 2. Estos resultados concuerdan con lo establecido en otras investigaciones donde la concentración de cinamaldehído fue de 66,28 a 81,97% (1), 80 a 95% de cinamaldehído (9). No obstante, algunos autores indican que por MWHD los rendimientos de aceite esencial de canela se acercan al 70% (10). Esto posiblemente se debe a la variedad de canela utilizada y a las condiciones de extracción.

CONCLUSION

La extracción de aceite esencial de canela asistida por microondas tuvo un rendimiento oscilante entre 0,934 a 2,089%, por otro lado el compuesto mayoritario en los extractos de aceites obtenidos fue el Cinamaldehído el cual se encontró en un contenido relativo que osciló entre 80,4 a 86,9%.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño por su contribución en el Desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

1. Yan-qun L, De-xin K, Hong W. Analysis and evaluation of essential oil components of cinnamon barks using GC-MS and FTIR spectroscopy. *Industrial Crops and Products*, 2013; 41: 269-278.
2. Wang R, Wang R, Yang B. Extraction of essential oils from five cinnamon leaves and identification of their volatile compound compositions. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2009; 10(2): 289-292.
3. Chao L, Hua K, Hsu H, Cheng S, Liu J, Chang S. Study on the anti-inflammatory activity of essential oil from leaves of *Cinnamomum osmophloeum*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005; 53: 7274-7278.
4. Shan B, Yoshida Y, Sugiura T, Yamashita U. Stimulating activity of Chinese medicinal herbs on human lymphocytes in vitro. *International Journal of Immunopharmacology*. 1999; 21: 149-159.
5. Schoene N, Kelly M, Polansky M, Anderson R. Water-soluble polymeric polyphenols from cinnamon inhibit proliferation and alter cell cycle distribution patterns of hematologic tumor cell lines. *Cancer Letters*. 2005; 230: 134-140.
6. Chang S, Chen P, Chang S. Antibacterial activity of leaf essential oils and their constituents from *Cinnamomum osmophloeum*. *Journal of Ethnopharmacology*. 2001; 77: 123-127.
7. China Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China. Volume 1. Chinese Medical Science and Technology Press, Beijing, China. 2010; 63-127p.
8. Vernon F., and Richard H. La canelle. In: Quelques épices et aromates et leurs huiles essentielles. Massy: CDIUPA. 1976; 2: 21-45p.
9. Wang R, Wang R, Yang B. Extraction of essential oils from five cinnamon leaves and identification of their volatile compound compositions. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2009; 10: 289-292.
10. Weiss E. Spice Crops. CABI Publishing, London, UK. 2002; 55-56.
11. Wang Y, Jiang Z, Jiang S. Chemical composition of the essential oils of *Cinnamomum loureirii* Nees from China obtained by hydrodistillation and microwave-assisted hydrodistillation. *Journal of Essential Oil Research*. 2010; 22: 129-131.

EVALUACIÓN DE BIOMASA RESIDUAL DE PAPA (*Solanum tuberosum*) COMO SUSTRATO PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL HIDRATADO

EVALUATION OF RESIDUAL BIOMASS OF POTATO (*Solanum tuberosum*) AS SUBSTRATE FOR HYDRATED ETHANOL PRODUCTION

William SOSA-ROMERO^{1*}, Diana BENAVIDES¹, Renato PANTOJA²

RESUMEN

Antecedentes: La tendencia sobre energías renovables como alternativa al uso de combustibles fósiles y las grandes cantidades de residuos de papa en el mundo y en Colombia permite enfocarse en una nueva fuente renovable para la producción de etanol como combustible, aprovechando un subproducto que ocasiona problemas de contaminación (1), (2). **Objetivo:** Evaluar condiciones de obtención de etanol hidratado a partir de tubérculos residuales de la papa (*Solanum tuberosum*) tipo Richie en el departamento de Nariño, Colombia. **Métodos:** Se realizó hidrólisis con ácido clorhídrico HCl 1M. Se hizo un diseño experimental de dos factores (relación papa licuada/ácido, temperatura) y tres niveles (1:0,75; 1:1; 1:2 y 80°C, 85°C y 90°C respectivamente) por un tiempo de 1h según la metodología de (1) y (3). La concentración de azúcares reductores (g/L) se midió para la selección del mejor tratamiento de hidrólisis de acuerdo a (3). Para la fermentación se usó levadura de panadería (*Saccharomyces cerevisiae*) bajo un diseño con dos factores (pH y %inóculo) y tres niveles cada uno (5%, 7,5%, 10% para el primer factor, y 4.0; 5.0 y 6.0 para el segundo factor), con el fin de determinar su efecto sobre la variable respuesta, volumen de etanol hidratado que se determinó rotaevaporando el producto de la fermentación. **Resultados:** El tratamiento de hidrólisis con relación papa:ácido de 1:2 (p/v) y a una temperatura de 90°C presentó la mejor concentración de azúcares reductores 8,4g/L. De la fermentación se obtuvo un mayor volumen de etanol (35,8mL) y un porcentaje de rendimiento global (42,5% p/p) de etanol hidratado trabajando con un tamaño de inóculo del 10% y pH 6.0. **Conclusión:** La bio-

masa residual de papa tipo richie, como residuo agroindustrial, es buena fuente para obtención de etanol hidratado según los resultados obtenidos de contenido y porcentaje de rendimiento mediante los tratamientos de hidrólisis ácida y fermentación aplicados en este estudio.

Palabras clave: Papa, hidrólisis, fermentación, etanol.

ABSTRACT

Background: The trend of renewable energy as an alternative to fossil fuels and waste large amounts of potatoes in the world and in Colombia can focus on a new renewable source for fuel ethanol production, taking advantage of a product that causes problems pollution (1), (2). **Objective:** To assess conditions for obtaining hydrated ethanol from waste potato tubers (*Solanum tuberosum*) Richie type in Nariño, Colombia. **Methods:** hydrolysis with hydrochloric acid HCl 1M was performed. An experimental design of two factors (liquefied potato relationship / acid, temperature) and three levels was created (1: 0.75, 1: 1, 1: 2 and 80 ° C, 85 ° C and 90 ° C respectively), and by a 1h time according to the methodology of (1) and (3). The concentration of reducing sugars (g/L) was measured for the selection of the best hydrolysis treatment according to (3). For fermenting bakers yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) was used under a design with two factors (pH and % inoculum) and three levels (5%, 7.5%, 10% for the first factor, and 4.0, 5.0, 6.0 for the second factor), in order to determine its effect on the response variable, volume of hydrous ethanol was determined by distilling the fermentation product. **Results:** Treatment of hydrolysis under potato:acid

¹ Ingeniero Agroindustrial, Grupo Biotecnología Agroindustrial y Ambiental (BIOTA), Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

² Ingeniero Químico, Docente Facultad Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño, Grupo de Investigación Biotecnología Agroindustrial y Ambiental (BIOTA), Pasto, Colombia.

* Autor a quien debe dirigirse la correspondencia: williamsosaromero@gmail.com

ratio of 1:2 (w/v) and a temperature of 90°C has a greater concentration of reducing sugars 8.4g/L. After fermentation a larger volume of ethanol (35,8mL) and a percentage of overall yield (42.5% w/w) of a hydrated ethanol were obtained with a 10% working inoculum size and pH 6.0. **Conclusions:** The residual biomass of potato Richie type, such as agro-industrial waste, is a good source for obtaining hydrous ethanol according to the results of content and percent yield by treatment of acid hydrolysis and fermentation used in this study.

Keywords: Potato, hydrolysis, fermentation, ethanol.

INTRODUCCIÓN

Para (5) uno de los principales problemas de la producción de biocombustibles, es la competitividad con los alimentos en la tierra por lo tanto la menor disponibilidad de biomasa, (6) propone el uso de los desperdicios agroindustriales y agrícolas para obtención de materia prima que permita producción de etanol combustible (5). En 2007, la producción mundial de la papa fue unos 325 millones de toneladas, donde alrededor de casi una tercera parte representa excedentes de papa (6). Según (6) del total de papa producida en el Colombia, aproximadamente el 8% va dirigido a la industria, el 10% corresponde a autoconsumo, el 64% se dirige a las centrales mayoristas y el remanente es papa para semilla. Una parte de la producción de papa cada año, entre 5 y 30%, se destina como excedentes de papa. En 2009 (1) usaron ácido clorhídrico 1 M con una relación de papa y ácido de 1:2 (w/v) con un rendimiento de 69 L/ton después de 18 h de fermentación. En 2012 (3) obtuvieron etanol a partir de papa mediante una hidrólisis enzimática y una fermentación a 30°C por 48 horas con una producción de 56.8 g/L de etanol. Un rendimiento menor de 35 g/L de etanol con un pH de 5.5 y un tamaño del inóculo del 3% obtuvieron (2). (6) estudiaron la hidrólisis enzimática y la fermentación de la papa (*S. tuberosum*), a fin de determinar las mejores condiciones para producir alcohol, alcanzando una concentración máxima de alcohol de 10,33% v/v.

El fin de este estudio fue evaluar las condiciones de obtención de etanol hidratado a partir de tubérculos residuales de la papa (*Solanum tuberosum*) tipo Richie, mediante la determinación de los parámetros adecuados para la hidrólisis y fermentación, y

la evaluación del rendimiento global de la obtención de etanol hidratado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Acondicionamiento de tubérculos

Se obtuvo papa tipo Richie del Corregimiento de Catambuco (Pasto, Nariño). Se seleccionó la variedad Punto Azul o Pera que según el Grupo de Investigación de Papa de la Universidad Nacional de Colombia, tiene uno de los más altos porcentajes de materia seca (23 %).

Hidrólisis ácida

Se creó un diseño experimental con dos factores (relación papa licuada/ácido clorhídrico 1M, temperatura) y tres niveles (1:0,75; 1:1; 1:2 y 80°C, 85°C y 90°C respectivamente) por un tiempo de 1 hora en base a la metodología reportada por (1) y (3), obteniendo 9 tratamientos en total.

Concentración de azúcares reductores

Se utilizó el Método de colorimetría DNS (Ácido 3,5 dinitrosalicílico) (7) y (3). De este modo se escogió el mejor tratamiento de hidrólisis con mayor concentración de azúcares reductores.

Fermentación

Se trabajó con dos factores (Tamaño de inóculo y pH) y tres niveles (5%, 7,5%, 10% y 4.0; 5.0, 6.0 respectivamente). El hidrolizado se centrifugó a 3000 rpm durante 15 minutos y se ajustó el pH adicionando hidróxido de potasio KOH 5M (1), se agregó sales como micronutrientes según (6). El procedimiento se llevó con un volumen de trabajo 150mL (1), (3), (6). Se incubó durante 3 días a 30°C. Cada tratamiento se realizó por triplicado.

Extracción y cuantificación de etanol

Se utilizó un rotaevaporador EYELA, se destiló el alcohol producto de la fermentación. El rendimiento medido en porcentaje de etanol hidratado se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{[(\text{Gramos de etanol producto de fermentación}) / (\text{Gramos de papa})] \times 100}{1}$$

Análisis estadístico

Todos los resultados fueron analizados con la ayuda de los programas estadísticos INFOSTAT Versión 2014 y el programa Statgraphics Plus 5.1.

RESULTADOS

Aplicando la ecuación resultante de la curva patrón de glucosa con la que se realizaron los análisis y la obtención de los resultados de la concentración de azúcares reductores en las muestras hidrolizadas a las absorbancias de las muestras de hidrolizado, se encontró la concentración de azúcares reductores como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Cuantificación de azúcares reductores en las muestras hidrolizadas.

Tto*	Frecuencia	Media Concentración (g/L)	Desviación Estándar	Coficiente de Variación
80-1	3	2,84652	0,281076	9,87436%
80-2	3	4,51691	0,194007	4,29513%
80-3	3	5,69182	0,271345	4,76728%
85-1	3	3,52382	0,147812	4,19465%
85-2	3	5,01422	0,136635	2,72494%
85-3	3	7,09178	0,1869	2,63544%
90-1	3	3,74948	0,0864696	2,30618%
90-2	3	5,64706	0,224312	3,97219%
90-3	3	8,40221	0,139168	1,65633%

* Tratamientos: temperatura (°C) - relacion papa/ácido (1= 1:0,75; 2= 1:1; 3= 1:2)..

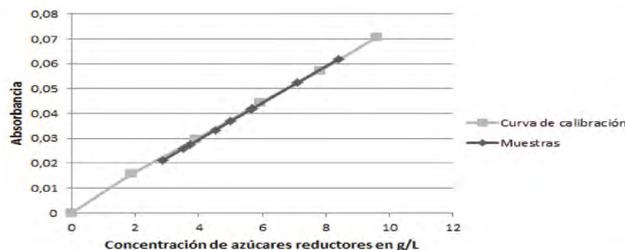


Figura1. Comparación de la concentración de azúcares reductores de hidrolizados y curva patrón.

El figura 1 presenta la concentración de azúcares reductores de las muestras de papa hidrolizada. Los rendimientos de etanol presentes en el destilado producto de la fermentación por triplicado y analizados por cromatografía de gases en cada una de los tratamientos se presentan a continuación (Figura 2).

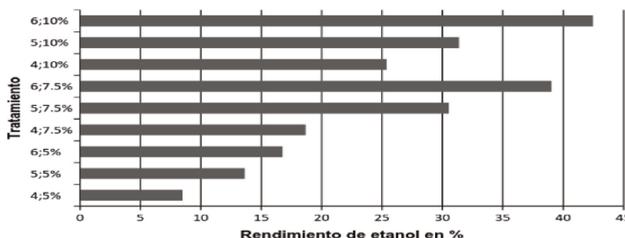


Figura 2. Rendimiento de etanol hidratado.

DISCUSIÓN

Los dos factores evaluados: Relación de papa/ácido y Temperatura al igual que su interacción bajo los niveles evaluados, causan un efecto estadísticamente significativo sobre la concentración de azúcares reductores con p-valores inferiores a 0.05. Estas diferencias se presentaron debido a que la concentración de azúcares reductores depende del grado de hidrólisis según la temperatura y concentración de ácido. Se logró una mejor hidrólisis a una temperatura de 90°C y una relación de papa:ácido de 1:2 (p/v) indicado con la mayor concentración de azúcares reductores de 8,4 g/L. La temperatura tiene efecto sobre la hidrólisis debido a que la energía cinética de las moléculas de agua caliente rompe los puentes de hidrógeno de las moléculas de almidón. A medida que se forman puentes de hidrógeno, el agua es capaz de penetrar más profundamente en el gránulo de almidón, dando lugar a la difusión de las cadenas de amilosa y amilopectina y su liberación hasta la implosión del gránulo de almidón y la formación de dextrinas hasta glucosa (3).

La sinergia que existe entre el ácido como agente catalizador y la temperatura a favor de la hidrólisis consiguen mejores concentraciones de azúcares reductores, aun así se hace necesario el control de estos parámetros para evitar una posible degradación de los productos de hidrólisis deseados (1, 3). Se encontraron reportes de concentración de azúcares reductores de 5.8 g/L mediante hidrólisis enzimática a partir de papa (4), 18 g/L a partir de papa mediante hidrólisis con ácidos fríos (3) y 15,2% con hidrólisis enzimática a base de harina de papa siendo comparables con nuestros resultados.

A partir de la fermentación, el análisis de varianza muestra la significancia que tienen las variables tamaño de inóculo y pH sobre el volumen de alcohol. Su interacción también es significativa al resultar con un p-valor menor a 0.05 con un nivel de significancia del 95%. Se logró un mayor volumen y porcentaje de rendimiento de etanol con un tamaño de inóculo del 10% a pH 6 con la obtención de 35,8mL de etanol hidratado y 42,5% (p/p) de rendimiento. Algunos autores reportan rendimientos de 13.7% (p/v) de etanol a partir de papa por sacarificación y fermentación simultánea con tres cepas de levadura obtuvieron 15.4% (p/v) de etanol a partir de papa mediante sacarificación y fermentación simultánea. Se reportan rendimientos de 31% (p/p) de etanol con la hidrólisis ácida y fer-

mentación de tubérculos de papa (1) y 56.8% (p/p) de etanol (3) quienes utilizaron cepas fermentativas modificadas y métodos especiales de hidrólisis como sacarificación.

CONCLUSIONES

Se obtuvo una concentración de 8,4g/L de azúcares reductores mediante hidrólisis ácida con una relación papa:ácido de 1:2 (p/v) y temperatura de 90°C. Tras la fermentación a un pH 6,0 y un tamaño de inóculo de 10% se produjo 35,8mL de etanol hidratado lo que representa un rendimiento de 42,5 % (p/p) en base a papa. Estos resultados evidencian el potencial de la biomasa residual de papa tipo Richie para la obtención de etanol hidratado.

AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de Investigaciones, Posgrados y Relaciones Internacionales (VIPRI) por la financiación de este trabajo, al Grupo de Investigación Biotecnología Agroindustrial y Ambiental (BIOTA), al Grupo de Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario (GAIDA) y a nuestro

Director el Ingeniero Químico Renato Pantoja Guerrero por el apoyo prestado en el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

1. Tasic M, Konstantinovic B, Lazic M, Veljkovic V. The acid hydrolysis of potato tuber mash in bioethanol production. *Biochemical engineering journal*. 2009; 43(2): 208-211.
2. Izmirlioglu G, Demirci A. Ethanol Production from Waste Potato Mash by Using *Saccharomyces Cerevisiae*. *Applied Sciences*. 2012; 2(4): 738-753.
3. Hashem M, Darwish I. Production of bioethanol and associated by-products from potato starch residue stream by *Saccharomyces cerevisiae*. *Biomass and Bioenergy*. 2010; 34(7): 953-959.
4. International Starch Institute A/S. Technical Memorandum on Potato Starch. [Internet]. Agro Food Park 13, DK-8200 Aarhus N, Denmark. 2012. Disponible en: <http://www.starch.dk/isi/starch/tm5www-potato.asp#top>
5. Castro C, Zuluaga R, Putaux L, Caro G, Mondragon I, Gañán P. Structural characterization of bacterial cellulose produced by *Gluconacetobacter swingsii* sp. from Colombian agroindustrial wastes. *Carbohydrate Polymers*. 2011; 84(1): 96-102.
6. Lareo C, Ferrari M, Guigou M, Fajardo L, Larnaudie V, Ramírez M, Martínez J. Evaluation of sweet potato for fuel bioethanol production: hydrolysis and fermentation. Springer Plus. *Bioingeniería*. 2013; 11 p.
7. Cortés W, Ibla J, Calderón L, Herrera A. Cuantificación de azúcares reductores en las cáscaras de naranja y banano. 2013; 72 – 76 p.

OBTENCION Y CARACTERIZACION DE PECTINA EXTRAIDA DE LA CASCARA DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) MEDIANTE HIDROLISIS ACIDA.

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF PECTIN EXTRACTED FROM COCOA
HULLS (*Theobroma cacao* L.) BY ACID HYDROLYSIS.

William SOSA-ROMERO^{1*}, Carmen MARTINEZ¹, Ivan LOPEZ LEDEZMA¹.

RESUMEN

Antecedentes: la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) es considerada como materia prima de relativo bajo costo por ser un subproducto de la industria cacaotera y que actualmente está siendo sub-aprovechado y podría ser una fuente factible de producción de pectinas a nivel industrial. **Objetivo:** El presente estudio tuvo como objetivo la extracción y caracterización de la pectina a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.). **Métodos:** La pectina se extrajo por el método de hidrólisis acida empleando ácido cítrico y ácido sulfúrico como agentes de extracción, durante 60 min de calentamiento a 85 °C a pH 2,0 y 3,0 de acuerdo a (1), (2) y (3) estableciendo un diseño factorial multicategorico 2 factores, 2 niveles. La pectina se caracterizó en términos de contenido de metóxilos y de ácido galacturónico (AGA) en base a lo propuesto por (4). Se utilizó el programa estadístico Statgraphics® Plus 5.1 (2000) para el análisis. **Resultados:** Los factores estudiados tienen influencia sobre el rendimiento de pectina, con un p-valor menor al 5%. El mayor rendimiento de pectina fue de 11,03% obtenido al emplear ácido cítrico a pH 2,0. Esta pectina presentó el mayor contenido de AGA (68,29%) y un contenido de metóxilo de 3,95%. La extracción de pectina con ácido sulfúrico a pH 3,0 dio como resultado la obtención de una pectina de bajo metóxilo (5,06% metóxilos) y por ende de una menor capacidad gelificante. **Conclusión:** El mayor rendimiento de extracción de pectina se obtuvo cuando se empleó ácido cítrico a pH 2,0, y se caracterizó por tener un mayor contenido de ácido galacturónico (AGA) (68,29%) cuyo valor representa la pureza

del proceso de extracción. La pectina extraída a pH 3,0 con ácido sulfúrico presentó un contenido de metóxilos de 5,06% indicando que es una pectina de bajo metóxilo y de menor capacidad gelificante.

Palabras clave: Pectina, cacao, hidrolisis acida, metóxilos, ácido galacturónico.

ABSTRACT

Background: the peel of cacao (*Theobroma cacao* L.) is considered relatively low cost raw material to be a byproduct of the cocoa industry which is currently being sub-taken and could be a feasible source of pectin production at industrial level. **Objective:** This study aimed at the extraction and characterization of pectin from the peel of cacao (*Theobroma cacao* L.). **Methods:** The pectin was extracted by the acid hydrolysis method using citric acid and sulfuric acid as extractants, 60 min of heating at 85°C and at pH 2.0 and 3.0 for each agent according to (1), (2) and (3) and a multicategorical factorial design with 2 factors, 2 levels was established. The pectine was characterized in terms of methoxyl content and galacturonic acid (AGA) based on proposed by (4). To analyze Statgraphics® Plus 5.1 (2000) software was used. **Results:** The studied factors influence the performance of pectin, with a p-value less than 5%. The highest yield of 11.03% pectin was obtained by using citric acid at pH 2.0. This pectin had the highest content of AGA (68.29%) and a methoxyl content of 3.95%. Pectin extraction with sulfuric acid to pH 3.0 resulted in obtaining a low methoxyl pectin (5.06% methoxyl) and hence less gelling ability. **Conclusions:** The highest yield of extraction of pectin was obtained when citric acid at

¹ Ingeniero Agroindustrial, Grupo Biotecnología Agroindustrial y Ambiental (BIOTA), Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

* Autor a quien debe dirigirse la correspondencia: williamsosaromero@gmail.com

pH 2.0 was used, and was characterized by a higher content of galacturonic acid (AGA) (68.29%) whose value represents the purity of the process extraction. The pectin extracted at pH 3.0 with sulfuric acid showed a methoxyl content of 5.06% indicating a low methoxyl pectin and less gelling ability.

Keywords: Pectin, cocoa, acid hydrolysis, methoxyl, galacturonic acid.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los productos agroalimentarios de origen neotropical de mayor penetración en el mercado internacional y sus exportaciones en grano han representado más de 71% de volumen producido. En la explotación cacaotera solo se aprovecha económicamente la semilla, que representa aproximadamente un 10% del peso del fruto fresco. Esta circunstancia se ha traducido en serios problemas ambientales así como también problemas de disposición. Los desechos generados están constituidos en su mayoría por la cáscara, que además se considera un foco para la propagación de *Phytophthora* spp, causa principal de pérdidas económicas de la actividad cacaotera (3). (5) extrajo pectinas del endocarpio de cacao con un rendimiento de 8,0% en base seca. Mientras que (6) obtuvo un rendimiento de extracción de 8,0% a 11,0% (base seca) a partir de cáscaras de cacao. De lograr extraer pectinas de dicha fuente se aumentaría el valor agregado del cacao y podría representar una solución parcial al problema ambiental generado por las cáscaras. Así entonces, esta investigación tiene como objetivo establecer si la cascara de cacao es una fuente significativa de pectina y lograr una caracterización de esta para analizar la eficiencia de la hidrólisis acida como método de extracción, poniendo así en evidencia el aprovechamiento que puede tener la cascara de cacao contribuyendo a la disminución de la contaminación de los ambientes donde actualmente se ven sus efectos negativos.

MATERIALES Y METODOS

Preparación de la materia prima

Se seleccionaron cáscaras del fruto de cacao en buen estado, provenientes de la zona pacifica del departamento de Nariño. Posteriormente se trocearon y deshidrataron a 55°C hasta alcanzar un contenido de humedad de aproximadamente 6% en la mufla STANDARD ASTM E 145-94 Type 11^a. Una vez

secas fueron molidas hasta a un tamaño de partícula de 4 um empleando un tamiz de malla 80.

Hidrólisis acida

Se siguió la metodología planteada por (1), (2) y (3) bajo un diseño factorial multicategórico con dos agentes extractantes (ácido cítrico y ácido sulfúrico) correspondientes al factor A y dos valores de pH (2,0 y 3,0) correspondientes al factor B. Se usó una relación de 1L de agua por 100 gramos de cáscaras. Las soluciones acidas fueron sometidas a calentamiento durante 60 minutos a 85°C con agitación constante. Luego se filtraron usando tela de liencillo, enfriando rápidamente por debajo de 25°C y se centrifugo en la centrifuga DINAMYC CENTRIFUGE PATETN No 211,466 durante 10 minutos a 3.000 r.p.m. Al sobrenadante se le adiciono etanol al 95% y se dejó reposar durante 24 horas. La pectina extraída se secó a temperatura ambiente. Los ensayos tuvieron dos replicas. Se estimó el rendimiento de extracción como la relación entre el peso de la pectina extraída y el peso inicial de la cáscara seca.

Caracterización de la pectina

Se evaluaron el contenido de metoxilos (% Metoxilos) (ecuación 1) y la cantidad de ácido anhidro galacturónico (%AAG) (ecuación 2), de acuerdo a lo planteado por (4) donde una solución de 0,5 g de pectina /100 ml de agua se tituló con NaOH 0,1 N (meq A). Luego se añadió 25 ml de NaOH 0,25N, se dejó reposar por 30 min, y se agregó 25 ml de HCl 0,25N; se tituló con NaOH 0,25N (meq B).

$$\% \text{ metoxilos} = \frac{\text{gasto (ml)} * \text{Normalidad} * 3,1}{\text{peso muestra (gr)}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\% \text{ AAG} = \frac{176 * 100 (\text{meq A} + \text{meq B})}{\text{mg de pectina}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Análisis estadístico

Los resultados fueron interpretados mediante el análisis de varianza, grafico de interacciones y prueba de comparación de medias LSD de Fisher a un nivel de significancia del 5% mediante el programa estadístico Statgraphics® Plus 5.1 (2000).

RESULTADOS

La tabla 1 presenta los resultados obtenidos del rendimiento de la extracción y de las características

fisicoquímicas de la pectina extraída de la cáscara de cacao mediante hidrólisis ácida empleando como agentes extractantes ácido cítrico y ácido sulfúrico a pH 2,0 y 3,0. En la tabla 2 se presenta el resumen de la ANOVA de dos factores aplicado a los valores de rendimiento de extracción, contenido de metóxilos y de ácido galacturónico en términos de porcentaje.

Tabla 1. Rendimiento de extracción y características fisicoquímicas de la pectina.

Agentes de Extracción	Ácido Cítrico		Ácido Sulfúrico		
	pH	2.0	3.0	2.0	3.0
Rendimiento (%)		11,5	6,73	7,96	2
		10,97	6,89	7,81	1,5
		10,62	7,03	6,89	2,45
Metóxilo (%)		3,61	4,18	3,49	5,01
		4,33	4,23	3,27	4,94
		3,92	4,09	3,38	5,24
AGA (%)		67,57	38,46	57,24	50,23
		69,4	35,62	55,38	52,99
		67,89	34,16	54,76	50,36

Tabla 2. ANOVA de dos factores aplicado al rendimiento de extracción, contenidos de metóxilo y AGA.

Fuente de variación	Valor p		
	Rendimiento %	Metóxilo	AGA
Tipo de ácido	0,0000	0,2141	0,1858
pH	0,0000	0,0000	0,0000
Interacciones	0,0235	0,0003	0,0000

DISCUSIÓN

Se encontró que tanto los factores (tipo de ácido y pH) como sus interacciones influyen significativamente en cada parámetro evaluado, a excepción del efecto del tipo de ácido sobre el contenido de metóxilo y de ácido galacturónico (AGA), cuyo valor p fue mayor a 0.05. Durante el proceso de extracción se obtuvo una fracción de sustancias pécticas de color pardo, esta coloración según (6, 7) se debe a la presencia de compuestos fenólicos, específicamente a la presencia de taninos. La obtención de pectina de color oscuro también fue reportada por (8) quien extrajo pectina a partir de cáscara de cacao.

Según la tabla 1 el mayor rendimiento de extracción fue de 11,03 %, el cual se obtuvo cuando se utilizó ácido cítrico como agente extractante a pH 2,0, mientras que el rendimiento a pH 3,0 con los dos tipos de ácido fue menor. Otros estudios concuerdan con lo encontrado en esta investigación, el mayor rendimiento de extracción de pectina a partir de frutos de Maushan (9) y de la cáscara

del cambur manzano (10) se presentó cuando se empleó un pH 2.0 del agua acidulada con ácido cítrico. Según (2) el incremento en el rendimiento podría estar asociado a que durante el proceso de hidrólisis además de pectina se extrajeron diferentes biomoléculas existentes en la corteza como almidón, hemicelulosa, celulosa entre otros. El rendimiento obtenido en esta investigación resulta ser superior al reportado por (3) (2,64–4,69 %) de cacao, e inferior a los encontrado por (6) del 8–11% y (5) del 8% de rendimiento de extracción a partir de cáscara de cacao.

Aunque la interacción de los pH y ácidos tiene un efecto significativo en el porcentaje de metóxilo (5,06%), con una combinación de ácido sulfúrico y pH 3, sin embargo siguen siendo pectinas de bajo metóxilo al estar por debajo de 7% (3) lo que podría estar relacionado a la composición química del fruto y al efecto del agente extractante que posiblemente induce el rompimiento de los ésteres metílicos causando una disminución del contenido de metóxilo (2). El porcentaje de metóxilo encontrado en este estudio (5,06%) es mayor al encontrado por (2) de 2,22% y a (10) con 3,23%; y se encuentra en el rango establecido por (3).

El pH tiene un efecto significativo en el porcentaje de ácido galacturónico permitiendo un alcance mayor a pH bajos, lo que significa una pureza mayor de la pectina (11). El mayor contenido de ácido galacturónico (AGA) (68,29%), se obtuvo con ácido cítrico a pH 2,0. Este contenido de AGA es superior a los valores obtenidos por (6) correspondientes al 33,2 y 36,2% y por (3) de 49,8 y 64,06% de AGA en pectinas de cáscaras de cacao.

CONCLUSIÓN

El mayor rendimiento de extracción de pectina se obtuvo cuando se empleó ácido cítrico a pH 2,0, y se caracterizó por tener un mayor contenido de ácido galacturónico (AGA) (68,29%) cuyo valor representa la pureza del proceso de extracción. La pectina extraída a pH 3,0 con ácido sulfúrico presentó un contenido de metóxilos de 5,06% indicando que es una pectina de bajo metóxilo y de menor capacidad gelificante. Aunque las condiciones de hidrólisis ácida de extracción de pectina a partir de cáscara de cacao no resultaron ser las mejores se justifica que este subproducto de la industria cacaotera pueda ser una fuente factible de obtención de pectina si se optimizan las condiciones de extracción.

REFERENCIAS

1. Devia JE. Proceso para producir pectinas cítricas. Universidad EAFIT. 2003 Ene; 2(129): 22-29.
2. Vásquez R, Ruesga L, D'addosio R, Páez G, Marín M. Extracción de pectina a partir de la cáscara de plátano (*Musa AAB*, subgrupo plátano) clon Hartón Rev. Fac. Agron. (LUZ). 2008; 25(2): 318-333.
3. Barazarte H, Sangronis E, Unai E. La cáscara de Cacao (*Theobroma cacao* L): Una posible fuente comercial de pectinas. Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición. 2008; 58(1): 64-69.
4. Untiveros GS. Obtención y Caracterización de Pectinas de Alto Metoxilo y Bajo Metoxilo de la Manzana Variedad Pachacamac. Revista de la sociedad de química del Perú. 2003; 69(3): 55-162.
5. Fontes PR. Estudo da pectina do mel e da casa do fruto do cacao. Revista Theobroma. 1972; 2(2): 49-51.
6. Adomako D. Cocoa pod husk pectin. Phytochemistry. 1972 Mar; 11(3): 145-148.
7. Francis BJ, Bell MK. Comercial pectin: a review. Tropical science 1975; 17(1): 25-44.
8. Blakemore WR, Dewar E.T, Hodge RA. Polysaccharides of the Cocoa pod husk. Journal of the Science of Food and Agriculture. 1966 Jun; 17(12): 558-560.
9. Maldonado Y, Salazar SM, Millones CE, Torres EV, y Vásquez ER. Extracción de pectina mediante el método de hidrólisis acida en frutos de Maushan (*Vasconcella weberbaueri* (Harms) V.M Baddillo) provenientes del distrito de San Miguel de Soloco, región Amazonas, Revista aporte Santiaguino. 2010; 3(2): 77-184.
10. Arellanes A, Jaraba M, Mármol Z, Páez G, Aiello C, Rincón M. Obtención y caracterización de pectina de la cáscara del Cambur Manzano (*Musa AAB*). Rev. Fac. Agron. (LUZ). 2011 Oct; 28(4): 441-620.
11. Pagan J. Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón. Servei de Publicacions Universitat de Lleida. 1998; 54-98.

FORTALECIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE ASEGURAMIENTO DE INOCUIDAD EN LA INDUSTRIA PROCESADORA DE LECHE DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS

STRENGTHENING SAFETY ASSURANCE SYSTEMS IN THE MILK PROCESSING
INDUSTRY THE DEPARTMENT OF CALDAS

Johana Milena IMBACUÁN MSc^{1*}; Félix Octavio DÍAZ ARANGO MSc.²
Luis Fernando MEJÍA GUTIÉRREZ MSc.²

RESUMEN

Antecedentes: En la actualidad, la calidad constituye una ventaja competitiva fundamental para alcanzar y mantener un lugar protagónico en el proceso de producción, transformación y comercialización de la leche, tras la búsqueda de satisfacer las necesidades de los consumidores nacionales y las exigencias de los actuales y futuros mercados externos, los cuales seguramente se incrementarán, si se tiene en cuenta el reconocimiento por parte de la Organización Mundial de Salud Animal de zonas libres de fiebre aftosa en Colombia. **Objetivo:** Diseñar un modelo de fortalecimiento de la calidad e inocuidad para el sector lácteo en el Departamento de Caldas. **Métodos:** se realizará un diagnóstico situacional de plantas de lácteos del departamento. Posteriormente se priorizaron las actividades de mejora y se creó el comité de aseguramiento de inocuidad y calidad del sector lácteo del departamento de Caldas. Creándose un aplicativo informático que maneje la información de inocuidad del departamento de Caldas. **Resultados:** se realizó un diagnóstico situacional de plantas de lácteos del departamento, el cual arrojó un cumplimiento del 66,6% en la adopción de las buenas prácticas de manufactura (BPM). Se encontró que los programas de capacitación y trazabilidad son los que menos se implementan en las empresas. Solamente en el 22,2 % de las industrias lácteas del departamento está implementado el sistema de análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP). Los principales problemas de inocuidad de las empresas lácteas

se clasifican en instalaciones, procesos, calidad de la materia prima, personal, ambiente e higiene. **Conclusiones:** Con el trabajo realizado se pudo inferir que la industria láctea del departamento de Caldas requiere del diseño e implementación de un comité de aseguramiento de la inocuidad para mejorar las condiciones de calidad e inocuidad de la leche cruda de los productores que y los derivados lácteos que procesan y distribuyen.

Palabras clave: Aseguramiento de la inocuidad, APPCC, BPM, Industria Láctea, Inocuidad

ABSTRACT

Background: At present, quality is a key to achieve and maintain a leading role in the process of production, processing and marketing of milk, after seeking to meet the needs of domestic consumers and the demands of today's competitive advantage and future external markets, which surely will increase, taking into account the recognition by the World Organization for Animal Health FMD free zones in Colombia. **Objective:** To design a model to strengthen quality and safety for the dairy sector in the Department of Caldas. **Methods:** A situational analysis of dairy plants department was made. Subsequently improvement activities were prioritized and the committee of safety and quality assurance in the dairy sector of the department of Caldas was created. Creating a computer application that handles safety information department of Caldas. Results A situational analysis of dairy plants department, which showed a 66.6% com-

¹ Profesor Ocasional Asistente del Departamento de Ingeniería de la Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

² Profesor Asociado del Departamento de Ingeniería de la Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia (johana.imbacuan@ucaldas.edu.co)

pliance in the adoption of good manufacturing practices (BPM) was performed. It was found that the training programs and traceability are the least implemented in companies. Only 22.2% of dairies department is implemented the system of hazard analysis and critical control points (HACCP). The main safety problems dairies are classified in facilities, processes, quality of raw materials, personnel, environment and hygiene. **Conclusions:** With the work could infer that the dairy industry Caldas department requires the design and implementation of a committee of safety assurance to improve the quality and safety of raw milk producers and dairy derivatives and distributed.

Keywords: Safety Assurance, Dairy Industry, GMP, HACCP, Safety

INTRODUCCIÓN

En el concepto de aseguramiento de la calidad de la cadena agroalimentaria de la leche bovina, se deben tener en cuenta referentes de calidad, su caracterización como materia prima para el procesamiento tecnológico; la inocuidad como garantía de protección de la salud humana; las preferencias sensoriales de los consumidores y los requerimientos comerciales de las plantas pasteurizadoras y procesadoras de leche (1). Las exigencias sanitarias y de inocuidad de los alimentos para la comercialización han ido en aumento, tanto en el ámbito internacional como nacional. Este nuevo escenario ha determinado ajustes a los procesos de producción y elaboración que permitan a los productores y empresarios agroindustriales asegurar la calidad y la inocuidad del alimento (2). Las Buenas prácticas de manufactura (BPM) son los principios básicos y prácticas generales de higiene en la manipulación, preparación, elaboración, envasado, almacenamiento, transporte y distribución de alimentos para consumo humano, con el objeto de garantizar que los productos se fabriquen en condiciones sanitarias adecuadas y se disminuyan los riesgos inherentes a la producción tales como contaminación, adulteración, deterioro (3). La documentación de las BPM está conformada por doce programas prerequisites (4). El sistema HACCP se basa en la definición operacional de peligro (“cualquier propiedad biológica, química o física que pueda causar un riesgo inaceptable para la salud del consumidor”) acuñada por el Comité Nacional Asesor sobre Criterios Microbiológicos para los Alimentos, de EUA, y consta de siete principios generales (1). Con la presente investigación se di-

señó un sistema de Aseguramiento de la inocuidad dirigido a las empresas procesadoras de leches del departamento de Caldas, como un paso fundamental para su correcto funcionamiento, con el fin de garantizar seguridad y confianza a sus clientes de acuerdo a la calidad que estos deben ofrecer en los productos que comercializan.

MATERIALES Y MÉTODOS

Exploración de la Información y Diagnóstico de las condiciones de Calidad

Se definió la población objetivo y el diseño del plan de muestreo teniendo como referencia a los productores, comercializadores y procesadores del departamento de Caldas. Se seleccionaron 22 empresas como población de estudio. Posteriormente se diseño una encuesta teniendo en cuenta criterios como: calidad, inocuidad, producción.

Elaboración del Diagnóstico de Cumplimiento en Aseguramiento de la Calidad

Una vez efectuado el diagnóstico de las condiciones de calidad de las empresas procesadoras de lácteos del Departamento de Caldas, se realizó un análisis del cumplimiento en el aseguramiento de la inocuidad con respecto a los programas de BPM y HACCP. Para este diagnóstico se empleó la lista de chequeo del INVIMA según lo establecido por el decreto 60 de 2002 (3). Estos resultados fueron analizados se expresan en porcentajes de cumplimiento.

Diseño del Plan de Mejoramiento

Este plan contempla la mejora de los sistemas de aseguramiento de la inocuidad, para ello se diseñó, estableció e implementó el sistema de aseguramiento de la inocuidad HACCP en todas las empresas del sector que no cumplen con los requisitos de inocuidad y calidad según los diagnósticos realizados en los puntos anteriores. Estas deficiencias se analizaron con el fin de proponer políticas de mejoramiento de las actuales condiciones a través de un paquete tecnológico que impacte en la calidad e inocuidad y la competitividad de la cadena láctea en el Departamento de Caldas.

Conformación del Equipo de Aseguramiento de la Inocuidad

Con los resultados obtenidos se conformó una mesa sectorial en donde se propondrán políticas para el fortalecimiento de la cadena láctea y de las empre-

sas de este sector respecto al manejo de los sistemas de aseguramiento de la inocuidad, BPM y HACCP.

Evaluación y discusión de los resultados

se procedió a realizar una evaluación de la calidad de los derivados lácteos producidos en el departamento de Caldas. Estos resultados se presentaron en un paquete informático. Se evaluó y discutió.

RESULTADOS

Diagnóstico

La síntesis de la evaluación global del diagnóstico de empresas procesadoras de leche de Caldas se presenta en la figura 1

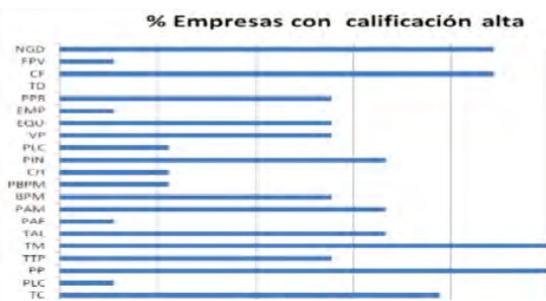


Figura 1. Diagnóstico de la evaluación global de las empresas

Implementación de BPM

A la pregunta si habían implementado BPM en la planta el 66.6% respondió que sí y el resto No. Ver figura 2

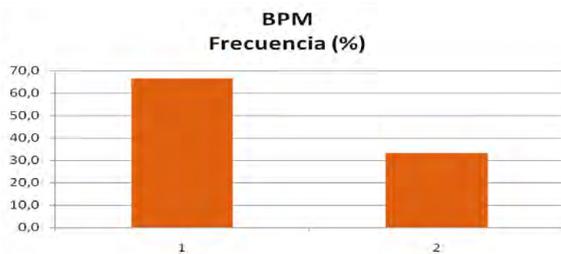


Figura 2: Implementación de Buenas

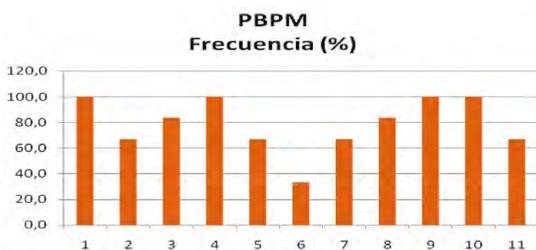


Figura 3: Programas PBPM

Prácticas de Manufactura

Programas prerequisites de BPM implementados (PBPM)

Luego de establecer si se ha implementado BPM en las empresas es necesario verificar que planes y programas se encuentran en desarrollo. Los programas de BPM fueron los siguientes: 1: Agua; 2: A. Residuales; 3: Mantenimiento; 4: Capacitación; 5: Proveedores; 6: Distribuidores; 7: Trazabilidad; 8: Plan de Muestreo; 9: Limpieza y Desinfección; 10: Plagas, 11: Residuos Sólidos. Ver figura 3.

Implementación de HACCP

En la gráfica 4 se muestra el nivel porcentual en la implementación de HACCP en las empresas procesadoras de leche en el departamento de Caldas, en donde se evidencia que 22% de los encuestados tienen implementado este sistema.

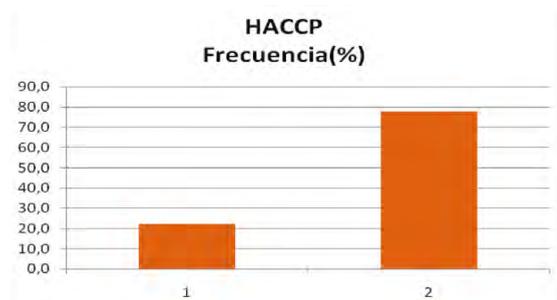


Figura 4: Implementación de HACCP

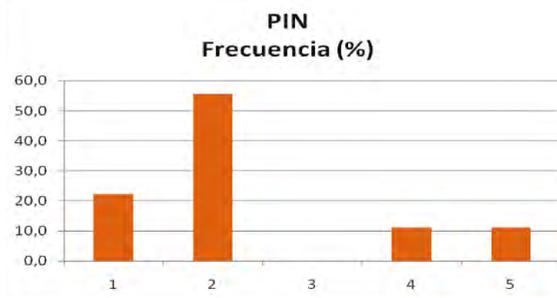


Figura 5: Problemas de Inocuidad

Certificación de HACCP

Las mismas empresas que dicen tener implementado el sistema están certificadas. **Problemas de Inocuidad en la planta (PIN)**

En la gráfica 5 se muestra de una manera detallada cuales son los problemas principales en el momento de definir los parámetros de inocuidad de la leche cruda en donde se definieron aspectos como

instalaciones y equipos, materia prima, personal, ambiente e higiene de donde el 55.65% toman a la materia prima como el problema en la inocuidad.

Producción

En Caldas el 77.8% de las empresas producen quesos, y en segundo lugar el 66.7% elaboran leches fluidas como pasterizadas y UHT, y otros de menor importancia como dulces, arequipes, postres y leches condensadas. Se pudo observar que el 62,5% de las empresas procesan más de 5000 litros diarios, lo que es un indicador aceptable para empresas de mediana producción. Las empresas poseen los equipos según el producto, predominando los tanques de recibo, descremadores, homogenizadores y pasteurizadores de leche para el tratamiento inicial de la leche cruda. Se encontró que los empaques más predominantes son empaques de polietileno, polipropileno y Tetra Pak. (88.9%). El principal problema que reportan las empresas son los relacionados con instalaciones, procesos y equipos como por ejemplo fallas en funcionamiento de equipos, necesidades de ampliación de instalaciones, mejoramiento de procesos.

DISCUSIÓN

Evaluación del Diagnóstico de Calidad

Los resultados obtenidos permitieron conformar un diagnóstico del sector lácteo en temas relacionados con la calidad, inocuidad producción, y procesamiento. El diagnóstico sirvió de línea base para el diseño de un sistema de información para la cadena Láctea del departamento de Caldas. (Figura 1).

Implementación de BPM y HACCP

En relación a las condiciones de inocuidad de las plantas procesadoras el 66.6% viene implementando Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), pero aplican tan solo 4 programas de los 11: tratamiento agua potable, plagas, limpieza y desinfección y mantenimiento, lo cual es contraproducente para procesos de certificación y garantizar la inocuidad. (Figura 2 y 3). En cuanto a HACCP solo 22.2% vienen implementando el sistema y por último el principal problema que consideran las empresas en cuanto a inocuidad es la calidad de las materias primas (leche cruda) en un 55.6%. (Figura 4). Por parte de la influencia de la producción en la inocuidad, se encontró que el principal problemas está relacio-

nado con instalaciones y equipos (55.6%) debido al crecimiento de las empresas los equipos e instalaciones se consideran obsoletas. Otra variable que se relaciona con el control de la inocuidad son los tipos de empaque: el 88% de las empresas manejan polietileno, polipropileno y tetra pak que son los que actualmente se utilizan. En productos procesados predominan los procesos de quesos (77.8%) continuando el de leches fluidas (66.7%) y por último en cuanto al volumen de transformación de leche, las empresas en un 62.8% procesan más de 5000 litros diarios lo cual exige la implementación de sistemas de aseguramiento de la inocuidad como BPM y el HACCP. En la categoría de producción se resalta lo relacionado con los problemas de la inocuidad que están comprendidos con instalaciones y equipos.

Documentación Requerida

De acuerdo a los resultados se elaboraron guías, directrices y procedimientos relativos a la aplicación de sistemas preventivos de buenas prácticas.

Evaluación del Modelo de Inocuidad

Se recomendaron los métodos y las maquinarias que deben adquirir los productores, comercializadores y procesadores para mejorar las actividades de la cadena Láctea, y en cuanto a productos se hará énfasis en los procesos y equipos de derivados lácteos de interés para exportación y se plantearán las diferentes alternativas nacionales e internacionales. Finalmente se creó el comité de aseguramiento de inocuidad para el sector lácteo del departamento de Caldas.

Diseño de la herramienta Informática y Plan de Mejora



Figura 6. Aplicativo informático

Se diseñó un aplicativo informático con el fin de verificar la inocuidad de la leche. Esta herramienta

consta de módulos asociados a la cadena láctea, los cuales se pueden ajustar según las necesidades. Contiene la normativa vigente, legislación y listas de verificación para el sector lácteo.

CONCLUSIONES

Con el trabajo realizado se pudo inferir que la industria láctea del departamento de Caldas requiere del diseño e implementación de un comité de aseguramiento de la inocuidad para mejorar las condiciones de calidad e inocuidad de la leche cruda de los productores que y sus los derivados lácteos que procesan y distribuyen.

Se evidencia la necesidad de apoyar programas orientados al aseguramiento de la calidad e inocuidad de la industria láctea del Departamento de Caldas, mediante la formulación de políticas, planes de mejoramiento, y medios de verificación específicos. Las políticas y planes de mejoramiento del comité de aseguramiento de la inocuidad, permitieron formular y ejecutar una estrategia de mejoramiento de la Inocuidad y establecer como eje central un programa de capacitación a los productores, industriales y actores de la cadena.

La estrategia de mejoramiento tomó como líneas estratégicas la implementación del programa

de Buenas de Manufactura, apoyado por todos los actores de la cadena láctea, con el apoyo del sector público; dirigida principalmente a las pequeñas y medianas empresas para lograr la posterior certificación en HACCP.

REFERENCIAS

1. Codex Alimentarius. IT. Código de prácticas de higiene para la leche y los productos lácteos cac/rcp, 2da. Ed. 2009; 54p.
2. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). Sistemas de calidad e inocuidad de los alimentos. Manual de capacitación sobre higiene de los alimentos y sobre el sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (APPCC). 2009.
3. MINISTERIO DE SALUD, (1997) Decreto 3075. https://www.invima.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=484:decreto-3075-1997&catid=96:decretos-alimentos&Itemid=2139
4. MINISTERIO DE SALUD, Decreto 60 (2002), https://www.invima.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=484:decreto-3075-1997&catid=96:decretos-alimentos&Itemid=2139
5. MINISTERIO DE PROTECCION SOCIAL, (MPS) 2014, Decreto 616 de 2006. https://www.invima.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=473:decreto-616-febrero-282006&catid=96:decretos-alimentos&Itemid=2139
6. Romero J. Documentación del sistema de aseguramiento de la inocuidad de una empresa de alimentos en el marco del decreto 3075 de 1997.CO. 2000; 3-59 p.

FERMENTACIÓN DE CAFÉ POR VÍA SEMI HÚMEDA PARA LA OBTENCIÓN DE CAFÉ ESPECIAL “HONEY”

SEMIHUMID COFFEE FERMENTATION TO OBTAIN ESPECIAL HONEYED COFFEE

Francia M. MEJIA-LOTERO M.Sc¹, Nadine L. ACERO-REYES², Luisa F. DUQUE-BUITRAGO²,
Johanna Andrea SERNA-JIMÉNEZ M.Sc^{3*}

RESUMEN

Antecedentes: En el mercado internacional de cafés se ha generado una subdivisión que se denomina “cafés especiales” debido a sus atributos consistentes, verificables y sostenibles. Este segmento representa el 12% del consumo mundial y registra un crecimiento dinámico en los últimos años debido a la alta calidad de la oferta, vinculando a más personas al consumo del café. Al ser especial cualquier café que contenga características únicas resaltadas por su cadena de custodia, una de las posibilidades es modificar los procesos postcosecha tradicionales para obtener una diferenciación del producto final; dentro de estos la fermentación tradicional colombiana (vía húmeda), que no confiere características que den valor agregado, todo el café se beneficia del mismo modo; la fermentación por vía semi-húmeda le otorga al café características en taza que lo diferencian del mercado nacional; agregando así, valor a la cadena productiva con menor cantidad de recursos. **Objetivo:** Evaluar la fermentación de café por vía semi-húmeda durante el proceso de secado en busca de alternativas para ampliar la oferta de productos de la asociación Cordilleranos del Quindío. **Métodos:** Se utilizaron dos cafés (*Coffea arabica* L. var. Colombia) obtenidos de fincas de los municipios de Calarcá (C1) y Buenavista (C2) pertenecientes a la Asociación Cordilleranos del Quindío, las muestras se secaron a 30°C y 45°C respectivamente, midiendo periódicamente pH, sólidos solubles totales (°BX) y azúcares reductores (AR); se identificaron las morfologías microbianas presentes por la técnica de siembra en placa; se construyó la curva de secado para cada muestra y se realizó la perfilación de taza en los cafés resultantes.

Resultados: En C1 se obtuvo una reducción de pH 1.3, 2 unidades °BX y aumento en AR 0,3169 mg/mL; en C2 el pH se redujo 2,58 unidades, °BX 3 y AR aumentaron 0,0334mg/mL. No se encontraron diferencias en las morfologías microbianas presentes en las dos muestras y en prueba de taza C1 tuvo mejor comportamiento comparado con C2, el cual en frío presentó un fondo sucio. **Conclusiones:** Con este trabajo se obtuvo un café de buena calidad con características especiales, el cual se destaca en un mercado monopolizado por cafés suaves lavados.

Palabras clave: Secado, Fermentación, *Coffea arabica*.

ABSTRACT

Background: The international coffee market has generated a subdivision called “specialty coffees”, these coffees, characterized as good preparation coffees, from a unique origin and distinctive flavor; are valued by consumers due to its consistent, verifiable and sustainable over time attributes. This segment represents approximately the 12% of global consumption and has seen a dynamic growth in recent years due to the high variety and quality of supply, allowing more people to link coffee consumption. As any coffee containing special unique features that are highlighted by their chain of custody, one possibility is to change the traditional post-harvest processes for a differentiation of the final product; within these, the traditional Colombian fermentation (wet) does not confer characteristics that give added value because all the coffee produced is processed in the same way; fermentation by semi-dry gives to the coffee cup features that differentiate it from the market; thus

¹ Magister en Desarrollo Sostenible, Facultad de Ingenierías, Universidad La Gran Colombia, Armenia, Colombia

² Estudiante de Ingeniería Agroindustrial, Universidad La Gran Colombia, Armenia, Colombia.

³ Magister en Diseño y Gestión de Procesos, Facultad de Ingenierías, Universidad La Gran Colombia, Armenia, Colombia

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: andreasernajimenez@hotmail.com

adding, value to the supply chain with fewer natural resources. **Objectives:** The aims in this work evaluate the fermentation of coffee in a semi-dry process during the drying of the beans looking for ways to expand the range of products of Cordilleranos Del Quindío farmers association. **Methods:** Two coffees samples (*Coffea arabica* L. var Colombia) were obtained from farms in the municipalities of Calarcá (C1) and Buenavista (C2) belonging to the Cordilleranos Del Quindío farmers association, the samples are dried at temperatures of 30 °C and 45 °C respectively, periodically measuring pH, total soluble solids (°BX) and reducing sugars (RS); microbial morphologies present in the plating technique is identified; the drying curve for each sample was constructed and cup profiling was performed on the resulting coffees to determinate the quality of the samples obtained. **Results:** C1 reduced pH 1.3, 2 ° BX units and increased RS of 0.3169 mg/mL is obtained; C2 2.58 pH units, ° BX 3 and RS increased 0,0334mg / mL was reduced. No differences in microbial morphologies present in both samples and found evidence of cup C1 farred better compared to C2, which cold presented a grungy background. **Conclusions:** With this work, a good quality coffee is obtained with special features, which stands in a monopolized market for soft washed coffees.

Keywords: Drying, fermentation, *Coffea arabica*.

INTRODUCCIÓN

El género *Coffea* cuenta con aproximadamente 100 especies, solo *Coffea arabica* es cultivada con exclusividad en Colombia, el café de esta especie constituye más del 60% del que se comercializa en el mercado internacional siendo Colombia el mayor productor de café de calidad en el mundo y el cuarto en producción general en el periodo de cosecha 2012-2013 (1).

El mercado internacional ha generado una subdivisión denominada “café especiales”, caracterizados por ser “café de buena preparación, origen único y sabor distintivo” (2) y son valorados por los consumidores debido a sus atributos consistentes, verificables y sostenibles. Este segmento representa aproximadamente el 12% del consumo mundial y ha registrado un crecimiento dinámico en los últimos años debido a la alta calidad de la oferta, lo cual permite vincular a más personas al consumo del café (3).

Al ser especial cualquier café que contenga características únicas que sean resaltadas por su cadena de custodia, una de las posibilidades es modificar los procesos postcosecha tradicionales para obtener una diferenciación del producto final; uno de estos procesos puede ser la fermentación que se puede dar por vía húmeda o seca, así como también puede no fermentarse.

El café “honey” o semi-lavado es producto de una fermentación en donde la cereza se despulpa pero no se le remueve el mucílago mediante fermentación o mecánicamente como se realiza tradicionalmente en Colombia, en el semi-lavado se deja el mucílago en el grano y se seca con el fin de reducir el contenido de humedad del café pergamino entre el 10-12%, garantizando condiciones óptimas para el posterior proceso de trillado y almacenamiento, proceso que se da mediante secado al sol o secado mecánico que reduce el tiempo pero puede afectar la calidad (4).

Los cafés diferenciados son una fuente adicional de ingresos a los caficultores, permiten dar un valor agregado a lo que se comercializa como materia prima, generando un beneficio económico directo a las agrupaciones de productores (5). Es así como el objetivo de este trabajo fue evaluar la fermentación de café “Honey” durante el proceso de secado en busca de alternativas para ampliar la oferta de productos con alto valor agregado de la asociación Cordilleranos del Quindío.

MÉTODOS

La muestra fue café variedad Colombia despulpa por método tradicional obtenido de dos fincas de la Asociación de caficultores Cordilleranos del Quindío, Finca El Guamal ubicada en el municipio de Calarcá (C1) y la Finca El Balcón en el municipio de Buenavista (C2), con una altitud de 1573 y 1477 m.s.n.m. respectivamente.

Curva de secado

El café de la Finca El Guamal (C1) se secó a 30°C y el de El balcón (C2) a 45°C a una humedad relativa de 62% en una estufa de circulación forzada Heraus (BINDER), con el objetivo de llegar a una humedad aproximada del 11%. Para el monitoreo de su descenso se usó una balanza analítica (Pionner) hasta llegar al porcentaje de humedad requerido. La humedad final se determinó en la empresa Almacafé, con medidor de humedad AK60-b (KAPPA), en donde se realizó la trilla, tostión (a una temperatura inicial de 200°C) y la perfilación de taza.

Parámetros físico-químicos

Se tomó 1 gramo de café por 9 mL de agua desmineralizada en una bolsa bacteriológica estéril, desprendido el mucílago de la muestra, esta dilución fue utilizada para la medición de pH con papel indicador (HYDRION) y con potenciómetro (HANNA INSTRUMENTS), sólidos solubles totales (°BX) en un refractómetro óptico Abbe (Atago Co. Ltd.). Para la medición de azúcares reductores (AR) se tomó 150 μ L de muestra, se adicionaron 500 μ L de reactivo ácido 3-5-dinitrosalicílico (DNS) y 500 μ L de agua destilada, posteriormente se llevó a baño maría (Estufa Mermmet) durante 5 min en ebullición y luego a choque térmico en hielo, se agregaron 5 mL de agua destilada y finalmente se midió su absorbancia en 540nm en espectrofotómetro Thermo Scientific (Genesys).

Morfologías microbianas

Se realizaron 8 diluciones seriadas en agua peptona al 0,1%; de estas se sembraron 10 μ L por triplicado en placas de agar All Purpose Tween (APT) para conteo de bacterias acidolácticas, Agar de Trypticosa de Soya (TSA) para conteo de mesófilos y Agar Sabouraud para hongos y levaduras. Posteriormente se llevaron a incubación a 37, 37 y 29°C respectivamente en una incubadora de convección natural (BINDER).

RESULTADOS

Secado

El proceso de secado de C1 tardó 68 horas, con un porcentaje de humedad final de 8,35% y el de C2 33 horas con 11,3% de humedad final. En la Figura 1 se muestran las curvas de secado para las dos muestras.

Pruebas Físico-químicas

En las pruebas físico-químicas se observó el descenso en °BX, en C1 del 11% al 9% y en C2 del 9% al 6%, en AR aumentó C1 en un 57,22% y C2 en un 10,76%, en pH C1 desde 4,8 a 3,5 y en C2 desde 5,47 hasta 3,79.

Pruebas microbiológicas

C2 tuvo presencia de mesófilos y bacterias ácido lácticas sólo en el tiempo 0, a medida que el secado avanzó, no aumentó la población posiblemente; por la incapacidad de sobrevivir a temperaturas mayores de 40°C (mesófilos, levaduras y bacterias ácido lácticas). Las morfologías microscópicas encontradas en TSA fueron cocos y bacilos, en APT se encontraron bacilos, posiblemente del género *Lactobacillus* como lo reporta Puertas et al. (2012) (6), no se presentó crecimiento en el medio para levaduras ni mohos.

Prueba de taza

En prueba de taza, C1 tuvo un mejor comportamiento en cada una de las variables medidas, resaltando su cuerpo redondo y balanceado como se muestra en la Tabla 1 en comparación del C2.

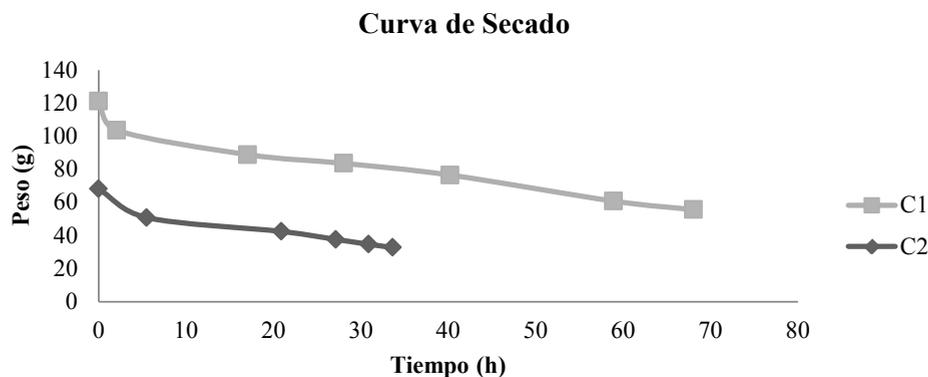


Figura1. Curvas de Secado de las muestras C1 y C2

Tabla 1. Prueba de Taza en C1 Y C2

VARIABLES	C1 HUMEDAD= 8,35%	COMENTARIO	C2 HUMEDAD= 11,3%	COMENTARIO
FRAGANCIA Y AROMA	9	FR: Dulce, frutal pronunciado. AR: Panela, caramelo.	8,5	FR: Dulce, vino. AR: Dulce, uva.
SABOR	8,5		7,5	
SABOR RESIDUAL	8	Frutos Rojos	7,5	Dulce, vinoso
ACIDEZ	8		8,5	Alta Cítrica
CUERPO	8,5	Redondo	7,5	
UNIFORMIDAD	8		8	
BALANCE	8	Balanceado	8	
TASA LIMPIA	10		10	
DULZURA	10		10	
GENERAL	8		7,5	En frío la taza cac, fondo sucio.
	PUNTAJE FINAL= 8,6		PUNTAJE FINAL= 8,3	

DISCUSIÓN

Secado

La humedad necesaria para la conservación de la calidad microbiológica y sensorial del café durante el periodo de almacenaje es del 12% (7), así como para el proceso de la trilla (8), por lo que se entiende que el sobre secado ocurrido en C2 no afecta las propiedades en taza debido al poco tiempo transcurrido entre el proceso de secado y la prueba de taza (2 días).

Pruebas microbiológicas

Según Roussos et al. (1993), en el proceso de fermentación de café es común encontrar este tipo de microorganismos encontrados en las muestras de café, pero a medida que éstas se exponen al medio ambiente para el proceso de secado, la población de levaduras decae por el descenso en la humedad y el aumento de la temperatura (9).

Pruebas físico-químicas

Los cambios físico-químicos en ambas muestras, pueden ser por el proceso de fermentación en el cual las bacterias ácido lácticas consumen el mucílago como sustrato y producen ácido láctico lo que reduciría el pH, aunque no se puede relacionar con la presencia de microorganismos debido a que la población en las muestras disminuyó durante el proceso de secado; también se puede deber a los procesos bioquímicos típicos de descomposición del

mucílago por efecto de las enzimas pectolíticas que posee este (10), las cuales provocan la degradación de las cadenas de pectina aún con las temperaturas de secado evaluadas siendo desactivadas a temperaturas mayores de 60°C y menores de 0°C.

En AR hubo un aumento, lo que contradice el descenso de los °BX; sin embargo, se debe tener en cuenta el alto contenido de agua en las muestras que se redujo por el proceso de secado, lo que lleva a una concentración de esos azúcares, también se atribuye esta discrepancia de resultados a una posible degradación de disacáridos a monosacáridos reduciendo °BX y aumentando los AR en la muestra (11), aunque no se tiene evidencia de que se de esa degradación, debido a que la temperatura necesaria para las reacciones de Maillard y caramelización no se alcanzaron (12).

CONCLUSIONES

El pH de las muestras bajó por la acción de las enzimas presentes en el mucílago (pectolíticas) y en el caso particular de C1 por la acción de las bacterias ácido lácticas presentes en el proceso de secado. Los azúcares reductores aumentaron debido a la descomposición de los disacáridos presentes en el mucílago, haciendo que disminuyeran los grados Brix. No se encontraron diferencias entre las morfologías microbianas presentes en las dos muestras, sin embargo en ésta población bacteriana con características de mesófilos a medida del proceso fue disminuyendo por efecto de la temperatura

de secado. Dentro del renglón de cafés especiales se logró obtener un café con características “honey” que permite diversificar el portafolio de productos generando así, alternativas de alto valor agregado para un renglón importante de la economía nacional.

AGRADECIMIENTOS

A Estefanía Noreña y al Ingeniero Agroindustrial Jaime Ospina, por la contribución académica, a Almacafé por facilitar sus instalaciones y a la Asociación Cordilleranos del Quindío que permitió el desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS

1. Organización Internacional de Café (OIC). Anuario de la Organización Internacional del Café 2012/13-1. 2013; 36p
2. Ric Rhinehart. What is speciality coffee?. [Internet]. Sena-San Denis, Francia: Speciality Coffee Association of America (SCAA) 1998. Disponible en: <http://scaa.org/?page=RicArtp1>
3. Federación Nacional de Cafeteros. Cafés especiales. [Internet]. Colombia: Federación Nacional de Cafeteros. 2014. Disponible en: http://www.federaciondefeteros.org/particulares/es/nuestro_cafe/.
4. Centro Nacional de Investigaciones de Café CENICAFÉ. Comercialización, Café pergamino húmedo. [Internet]. Manizales, Colombia: Cenicafé. 2011. Disponible en: http://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos_cafe/comercializacion/cultivemos_cafe_cafe_pergamino_humedo.
5. Revista Dinero. La oportunidad para los cafés especiales colombianos. [Artículo]. Bogotá, Colombia: 2015.
6. Puerta Q G, Marín M M, Osorio B G. Microbiología de la fermentación del mucílago de café según su madurez y selección. Cenicafé. 2012; 63(2): 58-78.
7. Oliveros T C, López-Valencia L, Buitrago C, Moreno-Cárdenas E. Determinación del contenido de humedad del café durante el secado en silos. Cenicafé. 2010; 61 (2): 108-118.
8. Puerta Quintero G. Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café. Cenicafé. 1999; 50(1): 78-88.
9. Gaimé-Perraud L, Roussos S, Martínez-Carrera D. Natural microorganisms of the fresh coffee pulp. Micol Neotrop Apl. 1993; 6: 95-103.
10. Puerta G. Efecto de enzimas pectolíticas en la remoción del mucílago de *Coffea arabica* L., según el desarrollo del fruto. Cenicafé. 2009; 60(4): 291-312.
11. UNAM. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. La reacción de Maillard. Oscurecimiento no enzimático. [Internet]. México: UNAM. 2 de Agosto de 2012. Disponible en: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/07LareacciondeMaillard_20547.pdf.
12. Alonso Marco I. Detras de los alimentos. Reacción de Maillard. [Internet] Enero de 2012. Disponible en: <http://www.detrasdelosalimentos.es/2012/01/la-reaccion-de-maillard.html>.

EFFECTO DE LAS CONDICIONES DE FRITURA EN LA GANANCIA DE ACEITE DE RODAJAS DE PLÁTANO IMPREGNADOS CON CALCIO Y CINC

EFFECT OF DEEP-FAT FRYING CONDITIONS IN OIL INTAKE OF GREEN PLANTAIN SLICES IMPREGNATED WITH CALCIUM AND ZINC

Danny GARZÓN-JIMÉNEZ Ing.Alimen.¹, Francisco Javier CASTELLANOS-GALEANO Ph.D.^{2*}, Carmen DUSSÁN-LUBERT M.Sc.³

RESUMEN

Antecedentes: En la actualidad no existen alimentos funcionales fritos en el mercado de los pasabocas o snacks y existe investigación incipiente en la operación conjunta de los procesos de impregnación al vacío como pretratamiento a los procesos de fritura por inmersión. **Objetivos:** El objetivo del estudio fue optimizar estadísticamente el proceso de fritura por inmersión al vacío de rodajas de plátano Dominico Hartón (tratadas previamente por impregnación al vacío con una solución fortificante rica en Calcio y Cinc), en función de las variables independientes: Fuerza guía ΔT , tiempo de inmersión y presión absoluta, y la variable respuesta: contenido de grasa. **Métodos:** Las muestras en rodajas fueron previamente impregnadas al vacío con una solución isotónica al plátano (NaCl al 1% p/p) compuesta por cloruro de calcio y cloruro de cinc; solución diseñada con el criterio de incorporar el 30% del valor diario de referencia (VDR)/40 g de cada uno de estos minerales en las rodajas de plátano verde de acuerdo a la normativa vigente Colombiana. Se optimizó el proceso de fritura por inmersión empleando la metodología de superficie de respuesta utilizando un diseño experimental central compuesto rotatable de 20 tratamientos y el software STATGRAPHICS Centurion XVI Versión 16.1.03. La optimización se hizo en función de las variables independientes: Fuerza guía ΔT , tiempo de inmersión y presión absoluta, y la variable respuesta: contenido de grasa. **Resultados:** Los contenidos de grasa obtenidos tras la fritura varían desde el 11,5 a 23,4 %; Las variables

Fuerza guía ΔT , tiempo y presión fueron significativas (Valor- $P < 0.05$) y los valores óptimos obtenidos fueron 55,8 °C; 118,6 s 10,0 kPa respectivamente. **Conclusiones:** La fritura por inmersión al vacío en conjunto con pretratamientos de impregnación al vacío de soluciones de calcio y cinc ayudaron a obtener un producto frito con bajo contenido de grasa final en rodajas de plátano.

Palabras clave: Fritura por inmersión, impregnación al vacío, alimentos funcionales, plátano.

ABSTRACT

Background: Currently there are no functional fried foods in the market of snacks and there is incipient research in the joint operation of the vacuum impregnation process as pretreatment for deep-fat frying processes. **Objectives:** The objective of the study was to statistically optimize the deep-fat vacuum frying of plantains slices variety Dominico Hartón (previously treated by vacuum impregnation with a fortifying solution rich in calcium and zinc), depending on the independent variables: Guiding forcé ΔT , immersion time and absolute pressure, and the response variable: fat content. **Methods:** Sliced samples were previously vacuum impregnated with an isotonic solution (1% NaCl w/w) consisting of calcium and zinc chloride; solution designed to incorporate the 30% of the daily reference value (VDR)/40 g criteria of each of these minerals in green plantain slices according to current Colombian regulations. The deep-fat

¹ Estudiante Maestría en Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingenierías Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

² Profesor Asociado, Director Maestría en Ingeniería de Alimentos, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingenierías.

³ Profesora Asociada, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia, Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencias Exactas

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: francisco.castellanos@ucaldas.edu.co

frying process was optimized using the response surface methodology with a rotatable center experimental design composed for 20 treatments and STATGRAPHICS Centurion XVI software version 1.16.03. The optimization was based on the independent variables: Guiding force ΔT , immersion time and absolute pressure, and the response variable: fat content. **Results:** The contents of fat obtained after frying, range from 11,5 to 23,4%; The Guiding force ΔT , time and pressure variables were significant (P -value <0.05) and optimal values were 55,8 °C; 118,6 s and 10,0 kPa respectively. **Conclusions:** The deep-fat vacuum frying processes together with vacuum impregnation of calcium and zinc solutions pretreatment helped to get a fried product with low fat content in plantain slices.

Keywords: Deep-fat frying, vacuum impregnation, functional foods, plantain.

INTRODUCCIÓN

Los alimentos fritos son de gran atractivo para los consumidores, debido a las características únicas de sabor y textura que les confiere esta operación a los alimentos, lo que ha contribuido al crecimiento del mercado de esta gama de alimentos (1). De acuerdo a la publicación de (2), el mercado de los pasabocas fritos o 'snacks' creció 708 mil millones de pesos entre los años 2008 a 2013 facturando en este último un total de 1,9 billones de pesos. Teniendo en cuenta que el plátano es el tercer producto agrícola de mayor importancia en el país (3) y que Colombia es el primer productor de plátano a nivel de Latinoamérica y el cuarto a nivel mundial con una producción a 2013 de 3.306.740 T (4), este material tiene un gran potencial de participación en el dinámico mercado de los snacks fritos. Sin embargo el consumo excesivo de grasa (principal componente en los productos fritos debido a la transferencia de masa que se da en la operación de fritura) conlleva a problemas de salud, principalmente enfermedades coronarias (5). Debido a que la población actual demanda de la industria alimentaria productos que brinden no solo características nutricionales adecuadas, sino también ayuden a la prevención de enfermedades (6), se ha investigado en métodos de producción que satisfaga las necesidades de los consumidores. La fritura al vacío representa una alternativa viable para obtener alimentos fritos con menor contenido de grasa (7) y conserva mejor el color y sabor natural. Estos beneficios están relacionados con las menores temperaturas de opera-

ción y las bajas presiones parciales de oxígeno, lo que genera una menor oxidación (8). Por su parte, aplicar pretratamientos a las matrices alimentarias, como la impregnación al vacío, se convierte en una alternativa al proceso de fritura por inmersión, la cual tiene como finalidad enriquecer la matriz con micronutrientes, disminuir el contenido final de grasa, mejorar la textura del producto, entre otros (9). El objetivo del presente trabajo fue optimizar estadísticamente el proceso de fritura por inmersión al vacío de rodajas de plátano Dominico Hartón (tratadas previamente por impregnación al vacío con una solución fortificante rica en Calcio y Cinc), en función de las variables independientes: Fuerza guía ΔT ($T_{\text{aceite}} - T_{\text{ebullición del agua}}$) (63-93) °C, tiempo de inmersión (180-360) s y presión absoluta (24-65) kPa, y su relación con el contenido de grasa.

MÉTODOS

Materia Prima

Se utilizaron plátanos (*Musa paradisiaca L.*) variedad Dominico Hartón obtenidas de la 'Granja Montelindo' de la Universidad de Caldas ubicada en la vereda Santágueda, municipio de Palestina (Caldas – Colombia) a una altura de 1010 m.s.n.m, con temperatura promedio de 22.8°C y precipitación de 2200 mm/año; los plátanos se acondicionaron en rodajas de espesor 2.5 ± 0.5 mm en una tajadora de vegetales marca JAVAR modelo GE220.

Impregnación al vacío

La impregnación al vacío se realizó en una cámara de acero inoxidable dotada con una bomba de vacío marca DOSIVAC modelo DVR 140, un sistema integrado de pesaje (resolución ± 0.2) y un vacuómetro (0-29,9) InHg. La presión barométrica local de experimentación fue de 23,5 InHg. El proceso de impregnación al vacío consistió en sumergir las rodajas de plátano en una solución de impregnación, sometidas a presión de 22,7 InHg durante 5 minutos, posteriormente se restableció la presión barométrica del ambiente, manteniendo las muestras sumergidas en la solución por otros 5 minutos adicionales; procedimiento típico reportado por (10). El líquido de impregnación fue una solución isotónica al plátano (NaCl al 1% p/p) compuesta por cloruro de calcio (pureza 78.1%) y cloruro de cinc (pureza 98%) Marca BELLCHEM INTERNACIONAL; solución diseñada con el criterio de incorporar el 30% del valor diario de referencia

(VDR)/40 g de cada uno de estos minerales en las rodajas de plátano verde (VDR Ca=1000 mg & VDR Zn=15 mg) de acuerdo a la normativa vigente Colombiana (11). Los cálculos de la composición de la solución de impregnación se realizó de acuerdo a la metodología planteada por (12).

Fritura por inmersión al vacío

La fritura se realizó en la Unidad Tecnológica de Alimentos (UTA) de la Universidad de Caldas en un reactor de 15 L diseñado para controlar la temperatura del aceite mediante dos resistencias eléctricas y un agitador, el tiempo de inmersión de la muestra mediante una canastilla que se sumerge en el aceite y sale de él por el accionar de un pistón y la presión mediante el acople de una bomba de vacío (Weg W22 High Eff.); entre la bomba de vacío y el reactor de fritura existe una trampa de vapor para condensar el agua que viene del producto. Todo el sistema está administrado mediante un control lógico programable PLC y un software. Se utilizó un aceite vegetal no laurico, no hidrogenado, refinado, blanqueado y desodorizado. Mezcla de oleína de palma y aceite de soya, con antioxidante TBHQ y alta estabilidad frente a la oxidación y resistencia a la degradación térmica marca VIVI.

El procedimiento seguido consistió en poner a calentar 7 L de aceite hasta la temperatura de referencia y mantener la agitación a 60 rpm, ubicar las muestras de plátano impregnado en la canastilla, colocar la tapa de la freidora y sellarla herméticamente, ingresar y ejecutar en el software el nivel de vacío deseado y el tiempo de inmersión de la muestra en el aceite (fritura); una vez terminada esta operación, se rompe el vacío accionando una válvula manual de restitución de la presión atmosférica, se recuperaron las muestras fritas y se les retiró el exceso de aceite superficial con una toalla absorbente; las muestras se dejaron enfriar y se empacaron en bolsas sellables rotuladas. En el caso de las frituras a presión

atmosférica, se omite ingresar la presión de vacío y ubicar la tapa en el reactor (13).

Análisis físico-químicos

El contenido de grasa, a las muestras fritas, se determinó por el método Soxhlet de acuerdo a la NTC 668 (14).

Análisis estadísticos

Se optimizó el proceso de fritura por inmersión empleando la metodología de superficie de respuesta utilizando un diseño experimental central compuesto rotatable de 20 tratamientos y el software STATGRAPHICS Centurion XVI Versión 16.1.03. La optimización se hizo en función de las variables independientes: Fuerza guía ΔT ($T_{\text{aceite}} - T_{\text{ebullición del agua}}$) (63–93) °C, tiempo de inmersión (180–360) s y presión absoluta (24–65) kPa, y la variable respuesta: contenido de grasa. La Ecuación 1 representa la ecuación general para estimar el valor de cada variable respuesta.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_3 C + \beta_4 AC + \beta_5 AB + \beta_6 BC + \beta_7 A^2 + \beta_8 B^2 + \beta_9 C^2$$

Ecuación 1 Modelo superficie de respuesta

Donde: es la variable respuesta; β_i , i:1-9 son los coeficientes estimados para cada variable respuesta; A: Fuerza guía, B: Presión y C: tiempo.

RESULTADOS

La Tabla 1 presenta el diseño experimental utilizado y los resultados del contenido de grasa obtenidos tras la experimentación, la Tabla 2 Coeficientes de regresión, ANOVA y modelo estimado para el contenido de grasa y la Tabla 3 muestra la optimización del contenido de grasa. También se presenta en la Figura 1 los efectos principales para el contenido de grasa y la Figura 2 muestra los contornos de la superficie de respuesta estimada.

Tabla 1. Diseño central compuesto rotable para la fritura por inmersión al vacío.

Tratamientos aleatorios	Variables codificadas			Variables reales				
	ΔT [°C]	Presión [Kpa]	Tiempo [s]	ΔT [°C]	Presión [kPa]	Tiempo [s]	T _{Acete} [°C]	Contenido graso [%]
2	-1	-1	-1	63	24	180	127	12,7
5	1	-1	-1	93	24	180	157	20,3
6	-1	1	-1	63	65	180	151	16,0
18	1	1	-1	93	65	180	181	20,4
3	-1	-1	1	63	24	360	127	17,4
16	1	-1	1	93	24	360	157	20,9
5	-1	1	1	63	65	360	151	16,3
19	1	1	1	93	65	360	181	23,4
4	-1,682	0	0	52,8	44,5	270	131	11,5
20	1,682	0	0	103,2	44,5	270	182	22,9
1	0	-1,682	0	78	10,0	270	124	16,4
17	0	1,682	0	78	78,9	270	171	21,1
14	0	0	-1,682	78	44,5	118,6	156	18,7
7	0	0	1,682	78	44,5	421,4	156	21,2
11	0	0	0	78	44,5	270	156	17,9
9	0	0	0	78	44,5	270	156	17,7
13	0	0	0	78	44,5	270	156	19,3
8	0	0	0	78	44,5	270	156	17,9
12	0	0	0	78	44,5	270	156	16,9
10	0	0	0	78	44,5	270	156	19,6

Tabla 2. Coeficientes de regresión, ANOVA y modelo estimado para el contenido de grasa

Coefficiente Estimado	Contenido de grasa	Valor-P
β_0	-2,34696	
β_1	0,204238	0,0000
β_2	0,0451902	0,0123
β_3	0,0105127	0,0109

R-cuadrada = 86,588 %; $\alpha = 5\%$.

Modelo estimado: $-2,34696 + 0,204238*A + 0,0451902*B + 0,0105127*C$

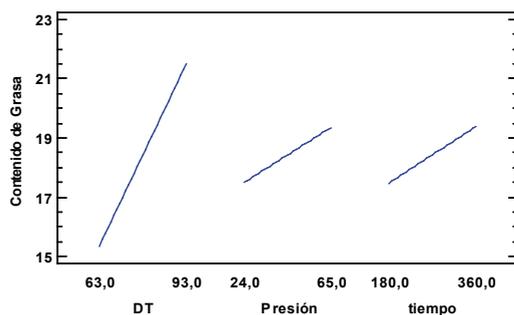
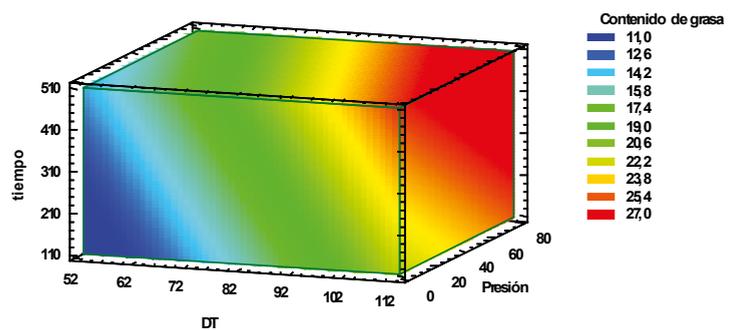
**Figura 1.** Efectos principales para el contenido de grasa**Figura 2.** Superficie de respuesta estimada para el contenido de grasa

Tabla 3. Optimización (minimización) de contenido de grasa.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
A:ΔT	52,7731	103,227	55,7791
B:Presión	10,0232	78,9768	10,0232
C:tiempo	118,639	421,361	118,639

Valor óptimo = 10,7454%; Descabilidad: 100%

DISCUSIÓN

Los contenidos de grasa obtenidos en el presente trabajo de acuerdo a lo reportado en la Tabla 1 varían desde el 11,5 a 23,4 %; valores inferiores a los reportados en otros trabajos de fritura por inmersión al vacío de la misma variedad de plátano y que varían desde 24,1 a 35,3% (13); una posible explicación en la disminución del contenido de grasa es debido al pretratamiento de impregnación al vacío llevada a cabo, ya que los poros están inicialmente ocupados por los minerales impregnados causando un efecto de 'bloqueo' para el ingreso del aceite a los mismos. Además, algunos investigadores han encontrado que impregnar soluciones de calcio provoca la formación de redes más interconectadas del tejido celular propiciando un efecto de endurecimiento de la estructura (15). Las variables que fueron significativas (Valor-P<0.05) y el valor de sus coeficientes de regresión se muestra en la Tabla 2. Estas variables (A, B y C) generan un modelo con un R² del 86,5% para plátano, (13) reportan que las variables significativas fueron B, C, B² y AB con un R² del modelo igual a 47,8% mientras que (16) reportan que ninguna de las variables es significativa. En papa, (9) reporta que para el contenido de grasa final es significativo solo A y B. La Grafica 1 muestra que el factor que tiene más incidencia en el contenido de grasa final es la fuerza guía ΔT (mayor pendiente) mientras que la presión y el tiempo tendrían el mismo impacto sobre la variable respuesta y todas ellas presentan la misma tendencia: a mayor valor del factor, mayor el contenido de grasa final como se evidencia en la Gráfica 2. Este resultado que está en concordancia con lo publicado por (16) quien explica que la disminución en el contenido de aceite final debido al aumento en el nivel de vacío puede estar relacionado a la rápida remoción de humedad (ya que existe una menor presión de saturación) sin que exista un tiempo adecuado para que el aceite se difunda en los poros de la muestra. La optimización se llevó a cabo bajo el criterio de

minimizar el contenido de grasa, esto dio como resultado las condiciones de operación relacionadas en la Tabla 4. Se observa que los valores óptimos obtenidos tienden hacia los niveles bajos del diseño experimental, resultado esperado teniendo en cuenta la tendencia exhibida en la Grafica 1 y a la superficie de respuesta de la Grafica 2. Al establecer un único criterio de optimización (contenido de grasa) la descabilidad del proceso fue del 100% arrojando un valor óptimo teórico de contenido de grasa igual al 10,75%

CONCLUSIONES

La fritura por inmersión al vacío en conjunto con pretratamientos como la impregnación al vacío de soluciones de calcio y cinc ayudan a disminuir el contenido de grasa final en rodajas de plátano. Las variables fuerza guía, presión y tiempo son significativas (Valor-P<0.05) en el contenido de grasa final tras aplicar procesos de fritura por inmersión al vacío de rodajas de plátano, mostrando una tendencia de disminución del contenido de grasa cuando se trabaja a condiciones de fuerza guía (ΔT), presiones bajas (mayores niveles de vacío) y tiempos cortos. Se pueden obtener productos fritos saludables ricos en minerales y bajos en grasa mediante el uso acoplado de las tecnologías de impregnación y fritura por inmersión al vacío.

REFERENCIAS

1. Moreira RG. Deep-Fat Frying of Foods. Food Processing Operations Modeling: Design And Analysis. New York: Marcel Dekker Incorporated. 2001: 115-146p.
2. Redaccion de El País. Los pasabocas y snacks, un negocio creciente en Colombia [Internet]. Cali, Colombia: El País; 2014 [Actualizado 31 de agosto 2014; citado 5 de enero 2016]. Disponible en: <http://www.elpais.com.co/elpais/economia/noticias/pasabocas-y-snacks-negocio-creciente-colombia>.
3. FAO. Producción de productos alimentarios y agrícolas / Productos por país. [Internet]. Roma, Italia: FAOSTAT database; 2015 [citado 5 de enero 2016]. Disponible en: http://faostat3.fao.org/browse/rankings/commodities_by_country/S.
4. FAO. Producción de productos alimentarios y agrícolas / Países por producto. [Internet]. Roma, Italia: FAOSTAT database; 2015 [citado 5 de enero 2016]. Disponible en: http://faostat3.fao.org/browse/rankings/countries_by_commodity/S.
5. FAO. Enfermedades coronarias del corazón y lipoproteínas. En: OMS, editor. Grasas y aceites en la nutrición humana. Consulta FAO/OMS de expertos. 57. Estudio FAO Alimentación y Nutrición ed. Roma, Italia1997.
6. Martelo YJ, Cortés M, Suarez H. Desarrollo de apio minimamente procesado fortificado con vitamina E, utilizando la ingeniería de matrices. Dyna. 2011;78(165):28-39.
7. Garayo J, Moreira RG. Vacuum frying of potato chips. J Food Eng. 2002;55:181-91.

8. Dueik V, Robert P, Bouchon P. Vacuum frying reduces oil uptake and improves the quality parameter of carrots crisps. *J Agr Food Chem.* 2010;119:1143-9.
9. Hernández DY. Evaluación tecnológica de snacks de papa (*solanum tuberosum l.*) obtenidos mediante la aplicación combinada ingeniería de matrices y fritura al vacío [MSc]. [Medellín, Colombia]: Universidad Nacional de Colombia. 2014.
10. Fito P. Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. *J Food Eng.* 1994;22:313-28.
11. Ministerio de la Protección Social. Resolución número 333 de 2011. Capítulo IV Valores Diarios de Referencia de Nutrientes. 2011: 34p.
12. Cortés M. Desarrollo de productos de manzana deshidratados enriquecidos con vitamina E. [PhD]. [Valencia, España]: Universidad Politécnica de Valencia. 2004.
13. Chávez A. Efecto de las condiciones de proceso en la obtención de plátano verde frito en condiciones de vacío [MsC]. [Manizales, Colombia]: Universidad de Caldas. 2014.
14. ICONTEC. Alimentos y materias primas. Determinación de los contenidos de grasa y fibra cruda. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación 2002.
15. Gras ML, Vidal D, Betoret N, Chiralt A, Fito P. Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation. Interactions with cellular matrix. *J Food Eng.* 2003;56:279-84.
16. Righteous OA, Ayodele MI, Philip OS. Optimization of processing conditions for vacuum frying of high quality fried plantain chips using response surface methodology (RSM). *Food Sci Biotechnol.* 2014;23(4):1121-8.

EFEECTO DE LAS CONDICIONES DE FRITURA EN CHIPS DE PLÁTANO VERDE RECUBIERTOS CON GOMA GUAR: TEXTURA Y COLOR

EFFECT OF FRYING CONDITIONS IN GREEN PLANTAIN CHIPS COATED WITH GUAR GUM: TEXTURE AND COLOR

Darío F. MARTÍNEZ-PANTOJA. Ing. Alimen.^{1*}, Francisco Javier CASTELLANOS-GALEANO Ph.D.², Carmen DUSSÁN-LUBERT M.Sc.³,

RESUMEN

Antecedentes: Actualmente los productos amiláceos fritos cuentan con gran demanda por parte de los consumidores, sin embargo, su alto contenido de aceite puede disminuir su vida útil y su aceptabilidad. La absorción de aceite en este tipo de productos puede reducirse con el uso de hidrocoloides (goma guar) como recubrimiento comestible y el uso de la fritura por inmersión al vacío. **Objetivo:** El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de las variables de proceso (Fuerza impulsora, tiempo y presión de fritura) en los parámetros de calidad (Textura y color) de chips de plátano recubiertos con goma guar. **Métodos:** Las muestras de plátano en rodajas fueron previamente recubiertas con una solución acuosa (Goma guar al 1,4% p/v y glicerol 3 g/L de solución); para el proceso de fritura por inmersión al vacío se realizó un diseño central compuesto rotatable con un total de 15 tratamientos y 5 repeticiones en el punto central y contempló los siguientes factores: La fuerza impulsora (ΔT), el tiempo (t) y la presión de vacío (P) y fue usado el demo del software STATGRAPHICS Centurion XVI. Las variables de respuesta analizadas en los chips de plátano recubiertos fueron la textura y los parámetros de color (L^* , a^* y b^*). **Resultados:** La presión y su interacción cuadrática tienen influencia sobre la dureza de los chips, se encontró una relación directa con la fuerza máxima de ruptura. Con respecto al análisis de los parámetros de color, la presión y la fuerza impulsora tiene un impacto inverso sobre la luminosidad (L^*) mientras que para el

parámetro a^* se encontró una relación directa, ambos parámetros relacionados con el pardeamiento no enzimático favorecido por la reacción de Maillard. **Conclusiones:** Según el análisis instrumental de textura y los parámetros de color, la fritura al vacío y el uso de recubrimientos comestibles puede ser una alternativa viable para producir chips de plátano con menor contenido de aceite y con atributos instrumentales de calidad deseables.

Palabras clave: Recubrimiento comestible, Fritura al vacío, Plátano, Pasabocas, Calidad.

ABSTRACT

Background: Currently, fried starchy products have a great demand by the consumers, but its high oil content can decrease its shelf life and its acceptability. The oil uptake may be reduced with the use of hydrocolloids as edible coating (guar gum) and the use of vacuum frying. **Objectives:** The aim of this study was to determine the effect of process variables (Driving force, time and frying pressure) in the quality parameters (Texture and color) of coated plantain chips with guar gum. **Methods:** The sliced plantain samples were coated previously with aqueous solution (Guar gum 1.4% w/v and glycerol 3 g/L of solution); to the vacuum deep fat frying process a rotatable central composite design was conducted with a total of 15 treatments and 5 repetitions in the center point and the design regarded the following factors: Driving force (ΔT), time (t) and frying pressure (P) and was used the STATGRAPHICS Centurion XVI software demo.

¹ Estudiante Maestría en Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingenierías Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

² Profesor Asociado, Director Maestría en Ingeniería de Alimentos, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingenierías.

³ Profesora Titular, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia, Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencias Exactas

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: dario.2561322915@ucaldas.edu.co

The response variables analyzed in coated plantain chips were the texture and the color parameters (L^* , a^* and b^*). **Results:** The Pressure and its quadratic interaction have influence over the chips hardness, found a direct relation with the maximum breaking force. Regarding the analysis of the color parameters, the pressure and the driving force had an inverse impact on the brightness (L^*) while for the a^* parameter found a direct relation, both related with the non-enzymatic browning reaction favored by the Maillard reaction. **Conclusions:** According to the instrumental analysis of texture and the color parameters, the vacuum frying and the use of edible coating could be a viable alternative to produce plantain chips with lower oil content and with desirable instrumental quality attributes.

Keywords: Edible Coating, vacuum frying, plantain, snacks, quality.

INTRODUCCIÓN

El plátano (*Musa AAB*) es uno de los mayores cultivos en países tropicales de África y Latinoamérica (Colombia y Ecuador). En Colombia el cultivo de plátano es tradicional en la economía de los sectores rurales del país, constituyendo así un pilar de la seguridad alimentaria. En Colombia existen diversas formas de consumo, las más populares son productos fritos (Tajadas, patacones y chips) (1). Actualmente los productos fritos ocupan una gran parte del mercado de alimentos, ya que los consumidores prefieren el sabor, la textura y la apariencia característica de estos productos. Uno de los parámetros de calidad más importantes de los productos fritos es la cantidad de grasa absorbida durante el proceso, desafortunadamente los productos fritos tienen un alto contenido de aceite y en sociedades con alta consumo de grasa contribuyen a enfermedades relacionadas con su ingesta (2). La fritura por inmersión al vacío es un proceso prometedor que preserva mejor la calidad de los alimentos como el color y sabor, limita la degradación del aceite (3) y en algunos casos disminuye la pérdida de fitoquímicos (4). Por otra parte el uso de recubrimientos comestibles ha demostrado buenos resultados en cuanto a reducir la absorción de aceite (Derivados de celulosa (MC, CMC y HPMC) y gomas como la guar y xanthan) (5,6). Por lo tanto, el uso de recubrimientos comestibles combinado con el proceso de fritura por inmersión al vacío puede ser una alternativa para mantener la calidad y dirigir

los productos fritos como productos más saludables, por su menor contenido de aceite, para las necesidades y gustos del consumidor. Por consiguiente, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto de las variables de proceso (Fuerza impulsora, tiempo y presión de fritura) en los parámetros de calidad (Textura y color) de chips de plátano recubiertos con goma guar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Se utilizó plátano variedad Dominico Hartón en estado verde ($^{\circ}$ Brix < 7) (7) y contenido de humedad de $59,4 \pm 1,9\%$, proveniente de la granja Montelindo centro de prácticas experimentales de la Universidad de Caldas, Colombia. La goma guar fue proveída por CIMPA S.A.S. El aceite correspondió a una mezcla de oleína de palma y aceite de soya, con antioxidante TBHQ con alta estabilidad frente a la oxidación y resistencia a la degradación térmica marca VIVI[®].

Recubrimiento comestible

Los plátanos se acondicionaron en rodajas (3 mm de espesor y 29,4 mm de diámetro), posterior se realizó una inmersión en solución antipardeante de meta bisulfito de sodio 30 ppm por 3 minutos. Se utilizó goma guar y se prepararon soluciones acuosas al 1,4% (Peso/volumen) y se usó glicerol como aditivo plastificante (3 g/L solución) (6), las soluciones se calentaron a 60°C, con agitación constante por 5 minutos y el enfriamiento a temperatura ambiente. Las muestras se recubrieron por inmersión en la solución y se les permitió escurrir durante un minuto, posteriormente se realizó un secado superficial en un secador de bandejas a 60°C por 20 minutos.

Fritura por inmersión al vacío

Las frituras se realizaron en un prototipo de fritura al vacío ubicado en la Unidad Tecnología de Alimentos de la Universidad de Caldas, equipada con tres termocuplas para el producto, una para el aceite, un tablero de control automatizado y una bomba de vacío (Weg W22 High Eff modelo TETBF0X0#). Se trabajó con una relación de producto/aceite en 18 ± 1 g/L y se siguió el protocolo de fritura establecido por Chávez (7).

Parámetros de calidad

Para las muestras fritas recubiertas se determinó la textura y los parámetros de color (L^* , a^* y b^*); los ensayos se realizaron sobre 10 unidades por cada tratamiento. Para el color se utilizó un Espectrofotómetro CM-5 Konica Minolta, previamente calibrado con un blanco estándar. La escala utilizada fue la de la CIELAB. La textura definida como fuerza máxima de ruptura de los chips se realizó en un analizador de textura SHIDMAZU EZ-S con el Software TRAPEZIUM2 y una celda de carga de 500N, de acuerdo a la metodología establecida por Chávez, Castellanos (8).

Análisis estadísticos

Se optimizó el proceso de fritura por inmersión empleando la metodología de superficie de respuesta utilizando un diseño experimental central compuesto rotatable con un total de 15 tratamientos y 5 repeticiones en el punto central, un arreglo factorial

de 2^3 y un valor de α de 1,6820. La optimización se hizo en función de las variables independientes: Fuerza guía ΔT ($T_{\text{aceite}} - T_{\text{ebullición del agua}}$) (63–73) °C, tiempo de inmersión (180–360) s y presión absoluta (30–62) kPa, y las variables respuestas fueron, textura y coordenadas de color L^* , a^* y b^* . La Ecuación 1 representa la ecuación general para estimar el valor de cada variable respuesta.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_3 C + \beta_4 AC + \beta_5 AB + \beta_6 BC + \beta_7 A^2 + \beta_8 B^2 + \beta_9 C^2$$

(Ecuación 1) Modelo superficie de respuesta

Dónde: es la variable respuesta; β_i , i:1-9 son los coeficientes estimados para cada variable respuesta; A: Fuerza impulsora, B: Presión y C: tiempo.

RESULTADOS

La figura 1a, b y c muestra el volumen de respuesta para la textura y los parámetros L^* y a^* respectivamente a las diferentes condiciones de fritura por inmersión al vacío.

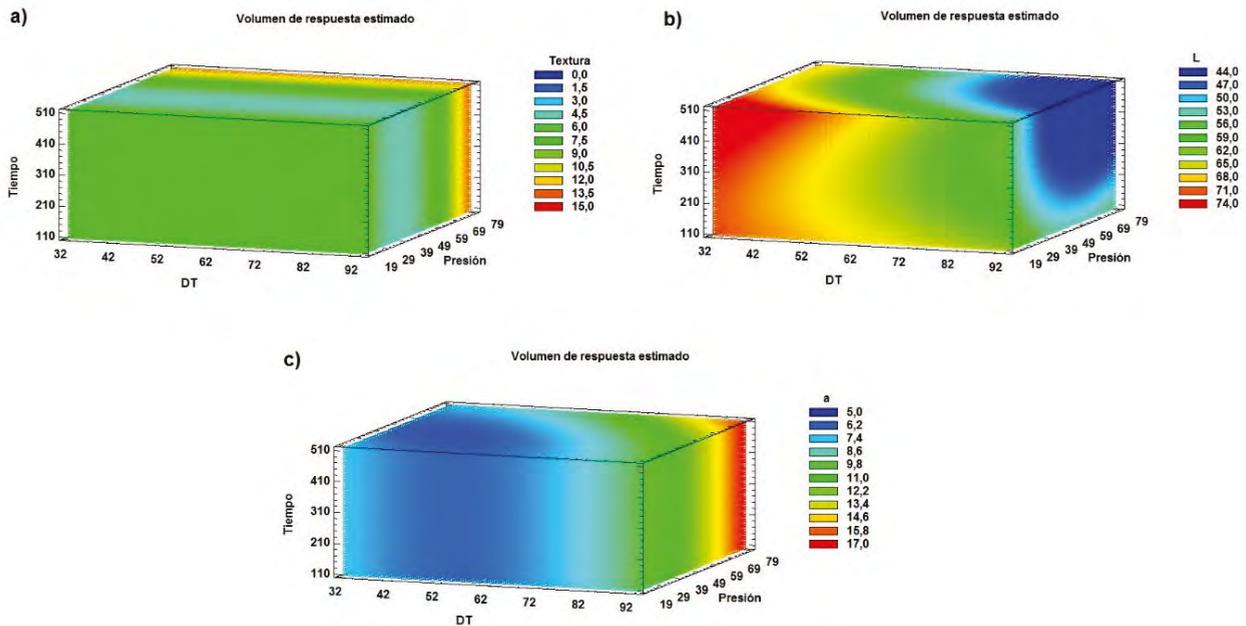


Figura 1. Gráfico de volumen de respuesta para textura (a) y coordenada de color: L^* (b), y coordenada de color: a^* (c)

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos del diseño central compuesto rotatable para la textura y los parámetros de color. En la tabla 2 se muestran los coeficientes de regresión para predecir las variables de respuesta y ajustan en modelos cuadráticos.

Los términos del modelo fueron significativos ($p < 0.05$) para todas las respuestas excepto para el parámetro b^* . Los valores del coeficiente de determinación (R^2) variaron entre 69,3591 y 84,7111%.

Tabla 1. Variables independientes y de respuesta del proceso de fritura por inmersión al vacío

Corridas	Variables independientes reales (Codificados)			Variables de respuesta			
	ΔT (°C)	Presión (Kpa)	Tiempo (s)	Textura (N)	L*	a*	b*
1	43 (-1)	30 (-1)	180 (-1)	4,35	67,26	6,53	42,4
2	73 (+1)	30 (-1)	180 (-1)	4,31	59,26	7,77	38,94
3	43 (-1)	62 (+1)	180 (-1)	8,27	62,77	5,95	44,7
4	73 (+1)	62 (+1)	180 (-1)	7,03	54,21	8,92	43,08
5	43 (-1)	30 (-1)	360 (+1)	3,93	66,64	5,86	41,41
6	73 (+1)	30 (-1)	360 (+1)	3,92	57,68	7,23	38,67
7	43 (-1)	62 (+1)	360 (+1)	7,98	61,16	6,33	42,66
8	73 (+1)	62 (+1)	360 (+1)	7,01	47,88	9,85	31,5
9	33 (-1,682)	46 (0)	270 (0)	4,29	63,18	6,36	38,44
10	83 (+1,682)	46 (0)	270 (0)	4,01	49,39	9,51	46,4
11	58 (0)	19 (-1,682)	270 (0)	9,58	64,40	5,89	39,5
12	58 (0)	73 (+1,682)	270 (0)	9,06	56,84	8,91	45,82
13	58 (0)	46 (0)	119 (-1,682)	2,71	59,71	6,03	28,41
14	58 (0)	46 (0)	421 (+1,682)	3,92	55,54	7,73	33,83
15	58 (0)	46 (0)	270 (0)	5,05	54,18	7,05	37,35
16	58 (0)	46 (0)	270 (0)	6,17	53,30	5,55	35,28
17	58 (0)	46 (0)	270 (0)	5,38	56,84	5,87	39,51
18	58 (0)	46 (0)	270 (0)	4,82	55,01	6,63	38,83
19	58 (0)	46 (0)	270 (0)	4,65	63,71	6,32	45,48
20	58 (0)	46 (0)	270 (0)	5,03	58,52	6,28	41,27

Tabla 2. Coeficientes calculados estadísticamente de la regresión de polinomios de segundo orden. ($\alpha = 5\%$)

Coeficientes		Textura L*	Parámetros de color	
			a*	b*
Lineales	Constante	14,9539	95,7488	16,6836
	ΔT	*	-0,3025	-0,296357
	P	-0,5142	-0,739	-0,200569
	t	*	*	*
Cuadráticos	ΔT^2	*	*	0,00235732
	P ²	0,0062	0,0062	0,00133852
	t ²	*	*	*
Interacciones	$\Delta T \cdot P$	*	*	0,00202448
	$\Delta T \cdot t$	*	*	*
	t ² · P	*	*	*
R-cuadrado		69,3591	77,7035	84,7111
R-cuadrado (Ajustado)		65,7543	71,7578	79,2508

* Valores no significativos

DISCUSIÓN

La crujencia como característica textural es uno de los más importantes parámetros de calidad de los productos fritos, así los productos tipo chip deben ser firmes y tener una fácil ruptura que emitan un sonido crocante (9). En la figura #1(a) se observa que no hay variación de la textura (Cambio de co-

loración) con respecto a los ejes de ΔT y tiempo, sin embargo en el eje de la presión se observa una relación directa con la textura, hay un incremento de la fuerza máxima de ruptura de los chips conforme se aumenta la presión de operación (Se pierde presión de vacío); según Mariscal and Bouchon (10) el efecto de la presión en las propiedades texturales está relacionado con los menores cambios estructurales

y menor expansión producidos, que a su vez puede estar relacionado directamente con la baja presión de vapor del agua en condiciones de vacío. Con respecto a la presión Righteous, Ayodele (11) encontró resultados similares en chips de plátano, reportando que conforme aumenta el nivel de vacío disminuye la fuerza máxima de ruptura, sin embargo, en este trabajo el efecto de la temperatura y el tiempo tienen significancia y se establece una relación directa con la variable de respuesta, resultados relacionados con el hecho de que tanto el tiempo como la temperatura de fritura promueven el desarrollo de una costra deshidratada, que incrementa la dureza, resultando en un aumento en la crujencia, ya que además se da un ablandamiento del tejido que da lugar a la ruptura celular y probablemente gelatinización parcial del almidón (11). Por otra parte Chávez (7) evaluó diferentes condiciones de operación en chips de plátano verde y trabajó con niveles similares de tiempo (180-540s) encontrando resultados afines, sin embargo, en su trabajo ninguna variable de operación ejerce influencia significativa sobre la textura que varía de 3,36 y 14,06 N mientras que en este trabajo varía de 2,71 a 9,58 N, las diferencias pueden deberse al uso del recubrimiento; ya que el uso de goma guar como recubrimiento modifica la microestructura de los chips, provee una protección adicional evitando que se produzca una excesiva contracción, dificultando la pérdida de humedad, disminuyendo el contenido final de aceite en el producto (Resultados no mostrados), endureciendo la estructura de la costra y dando valores bajos de la fuerza máxima de ruptura de los chips de plátano (12); relacionado con la capacidad de formación de la película de la goma guar que provee crujencia y disminuye la dureza de la estructura del producto, ya que las propiedades gelificantes y de entrecruzamiento de la goma guar dan como resultado productos más fuertes pero más quebradizos (13). El color amarillo-dorado característico de los chips de plátano verde frito es el resultado de las reacciones de Maillard, del contenido de azúcar superficial, del tiempo y la temperatura utilizada en el proceso y además es uno de los parámetros de calidad más importante para el consumidor. En los parámetros de color, el valor de L^* es de importancia ya que cuantifica la luminosidad de los chips. Existe una relación inversa entre la presión y el ΔT con respecto al parámetro L^* . El ΔT reflejado en el aumento de

la temperatura de fritura evidencia la degradación del color, cuando este aumenta hay oscurecimiento, entonces la luminosidad (L) disminuye como se observa en la figura #1(b). Por otra parte a menor presión permite retener más los colores y sabores del producto debido a la menor oxidación y más bajas temperaturas de fritura. De igual manera Troncoso, Pedreschi (14) y Da Silva and Moreira (4) concluyen que trabajar con presiones de vacío ayuda a conservar mejor los colores y se obtienen valores más altos de luminosidad que a frituras atmosféricas. Con respecto al parámetro a^* se ve afectado de manera directa por la presión y el ΔT , debido al oscurecimiento dado por la reacción de Maillard favorecido por las altas temperaturas y presiones. Según Serpen, Gökmen (15) en fritura de papas en términos de aceptación de los consumidores, un valor de a^* superior a 20 indica una papa crujiente de color marrón en vez de color amarillo dorado, hecho favorable para esta investigación ya que los valores de a^* oscilan entre 5,549 a 9,846. Finalmente el parámetro b^* indica el grado de amarillo del producto se mantuvo entre 46,4 y 28,41 no se vio influenciado por ningún factor posiblemente por el menor contenido de aceite debido al uso del recubrimiento de goma guar. La aplicación del recubrimiento a base de goma guar también ejerce cierta influencia sobre el tejido superficial del plátano, evitando que se oscurezca durante la fritura (Valores altos de L^* y bajos de a^*) (16).

CONCLUSIONES

La fritura al vacío y el uso de recubrimientos comestibles puede ser una opción viable para producir chips de plátano con menor contenido de aceite y con atributos instrumentales de calidad deseables. La fuerza impulsora, el tiempo y la presión fueron significativas en el desarrollo de textura y la generación de color; la fuerza máxima de ruptura aumenta con la presión por los cambios microestructurales, por otra parte los chips pierden luminosidad (L^*) mientras aumenta el tono marrón (a^*) conforme aumenta la presión y la fuerza impulsora.

AGRADECIMIENTOS

Al Fondo de ciencia, tecnología e innovación del Sistema General de Regalías y a la Universidad de Caldas por el apoyo brindando.

REFERENCIAS

1. Pambou-tobi N, Arab-Tehrany E, Niamayoua RK, Linder M. RSM applied for optimization of deep-fat fried ripe plantain slices and study of oxidation kinetics of oil by a DSC and polar methods. *J Food Sci Technol*. 2016 Jan; 53(1): 269-280.
2. Iqbal R, Anand S, Ounpuu S, Islam S, Zhang X, Rangarajan S. Dietary patterns and the risk of acute myocardial infarction in 52 countries: results of the INTERHEART study. *Circulation*. 2008 Oct; 118(19): 1929-1937.
3. Bravo Vasquez JE. Contribución al estudio de la fritura al vacío: deshidratación de rodajas de manzana. [Tesis doctoral]. [Valencia, España]; Universidad Politécnica de Valencia. 2008. 173 p.
4. Da Silva PF, Moreira RG. Vacuum frying of high-quality fruit and vegetable-based snacks. *LWT-Food Sci Technol*. 2008 Dec; 41(10): 1758-1767.
5. García MA, Ferrero C, Bértola N, Martino M, Zaritzky N. Edible coatings from cellulose derivatives to reduce oil uptake in fried products. *Innov Food Sci Emerg*. 2002 Dec; 3(4):391-397.
6. Martínez DF, Castellanos FJ, Bravo JE. Application of edible coatings in green plantain slices subjected to deep-fat frying. *Ingeniería y competitividad*. 2015 Jul; 17(2): 91-99.
7. Chávez A. Efecto de las variables de proceso en la obtención de plátano verde frito en condiciones de vacío. [Trabajo de grado de maestría]. [Manizales, Caldas]; Universidad de Caldas. 2014. 66 p.
8. Chávez A, Castellanos F, Martínez L. Efecto de la fritura por inmersión en la textura de rodajas de plátano. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*. 2014 Jun; 67(2): 425-426.
9. Krokida MK, Oreopoulou V, Maroulis ZB, Marinos-Kouris D. Effect of osmotic dedhydration pretreatment on quality of french fries. *J Food Eng*. 2001 Sep; 49(4): 339-345.
10. Mariscal M, Bouchon P. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. *Food Chem*. 2008 Apr; 107(4): 1561-1569.
11. Righteous O, Ayodele M, Philip O, Henshaw F, Ajoke S, Bodunde G, et al. Optimization of Processing Conditions for Vacuum Frying of High Quality Fried Plantain Chips Using Response Surface Methodology (RSM). *Food Sci Biotechnol*. 2014 Aug; 23(3): 1121-1128.
12. Kilincceker O, Hepsag F. Edible coating effects on fried potato balls. *Food Bioprocess Technol*. 2012 May; 5(4): 1349-1354.
13. Bouaziz F, Koubaa M, Naifer M, Zouari S, Besbes S, Chaari F, et al. Feasibility of using almond gum as coating agent to improve the quality of fried potato chips: evaluation of sensorial properties. *LWT-Food Sci Technol*. 2016 Jan; 65: 800-807.
14. Troncoso E, Pedreschi F, Zúñiga RN. Comparative study of physical and sensory properties of pre-treated potato slices during vacuum and atmospheric frying. *LWT-Food Sci Technol*. 2009; 42(1): 187-195.
15. Serpen A, Gökmen V. Evaluation of the Maillard reaction in potato crisps by acrylamide, antioxidant capacity and color. *J Food Compost Anal*. 2009 Sep; 22(6): 589-595.
16. Sothornvit R. Edible coating and post-frying centrifuge step effect on quality of vacuum-fried banana chips. *J Food Eng*. 2011 Dec; 107(3): 319-325.

EVALUACIÓN IN-VITRO DEL EXTRACTO FERMENTADO DE PLANTAS EN LA INHIBICIÓN DEL CRECIMIENTO DE *RALSTONIA SOLANACEARUM*, CAUSANTE DE MOKO EN PLÁTANO

EVALUATION IN- VITRO OF EXTRACT FERMENTED OF PLANTS IN INHIBITING THE GROWTH OF *RALSTONIA SOLANACEARUM* , CAUSATIVE AGENT MOKO IN PLANTAIN

Francia Milena MEJÍA- LOTERO^{1*}, Diana Victoria MELO-SABOGAL²,
Paula Andrea ORDOÑEZ-NOVOA²

RESUMEN

Antecedentes: El cultivo de plátano (*Musa paradisiaca*) es uno de los renglones agropecuarios más importantes de Colombia, tanto por su porte a la seguridad alimentaria como por lo representativo de sus ingresos a las familias campesinas; sin embargo, su productividad se ve afectada por la enfermedad del Moko, ocasionada por la bacteria *Ralstonia solanacearum* raza 2. Actualmente, su control se realiza mediante métodos químicos, resultando complejo debido a su alta capacidad de resistencia y su fácil dispersión, además de las altas pérdidas que genera, pues puede llegar a afectar el total de las plantas que luego de ser diagnosticadas deben ser erradicadas, lo que acarrea altos costos de manejo para el productor y la espera de un tiempo durante el cual no se puede sembrar en las áreas afectadas, según recomendaciones del Instituto Colombiano Agropecuario –ICA–, este mismo instituto reportó para el año 2010 en el país 600 hectáreas infectadas con la bacteria de las cuales 418 estaban en el Quindío, lo que convierte a esta enfermedad en la de mayor importancia económica para los platanicultores del departamento. Frente a este reto, la agroecología se plantea como una alternativa en la producción, ya que los bioinsumos además de disminuir los costos de producción, no generan impactos negativos sobre el ambiente, daños que si generan tanto la aplicación excesiva de agroquímicos como el control con glifosato incluido en el protocolo de manejo del ICA. **Objetivo:** Evaluar de manera in-vitro un Extracto

Fermentado de Plantas (EFP) sobre la inhibición del crecimiento de la bacteria. **Métodos:** Mediante antibiograma por difusión en pozos sellados, usando como inóculo 6×10^8 UFC/ml, con tratamientos de EFP diluido del 100 al 10%. Se midieron los diámetros de los halos de inhibición y se determinaron la dilución efectiva y el porcentaje de inhibición. **Conclusiones:** En base al diámetro de inhibición del crecimiento de *Ralstonia solanacearum* con glifosol, se determinó que el Extracto Fermentado de Plantas inhibe el crecimiento de esta bacteria hasta en un 62,64% (porcentaje inhibitorio para T1 y T2). Los valores promedios para los tratamientos T3 y T4 fueron de 59,34%, 54,95%, respectivamente.

ABSTRACT

Background: The cultivation of banana (*Musa paradisiaca*) is one of the most important agricultural lines of Colombia, both for food security and their income to rural families; However, productivity is affected by Moko disease, caused by the bacterium *Ralstonia solanacearum* race 2. Currently, its control is done by chemical methods, resulting complex due to its high resilience and easy dispersion, in addition It generates high losses, as may affect total of plants after being diagnosed must be eradicated, which leads to higher operating costs for the producer and waiting for a time that can not be planted in areas affected, as recommended by the Colombian Agricultural Institute-ICA, the same institute reported for 2010 in the country

¹ Magíster en Medio Ambiente y desarrollo sostenible, docente investigadora, Universidad La Gran Colombia, seccional Armenia, Colombia

² Ingeniera Agroindustrial, Universidad La Gran Colombia, seccional Armenia, Colombia

600 hectares infected with the bacteria of which 418 were in Quindío, which makes this disease in economically significant for the department. Faced with this challenge, agroecology is presented as an alternative in the production that reduce the bio-production costs and do not generate negative impacts on the environment. **Objectives:** To evaluate in-vitro so a Fermented Plant Extract (EFP) on inhibiting the growth of bacteria. **Methods:** Using diffusion sealed wells, using as inoculum 6×10^8 CFU/ml, with treatments EFP diluted between 10 to 100%. The diameters of the inhibition halos were measured and effective dilution and the percentage inhibition determined. **Conclusions:** Based on the diameter of growth inhibition with glifosol *Ralstonia solanacearum* was determined that Fermented Plant Extract inhibits growth of the bacteria up to 62.64% (inhibitory rate for T1 and T2). The mean values for T3 and T4 treatments were 59.34%, 54.95%, respectively.

Palabras clave: Antibiograma, extracto fermentado de plantas, moko, plátano, *ralstonia solanacearum*.

INTRODUCCIÓN

Luego de la crisis cafetera y la necesidad de diversificación, el departamento del Quindío, ha adquirido un gran desarrollo en el cultivo de plátano, sin embargo, el cultivo se ha visto afectado por la enfermedad del Moko, reportada desde 1971 y que actualmente continúa siendo una seria amenaza en la región; a pesar que el ICA implementó desde el momento de su aparición, una campaña de control, el problema continúa en aumento (1).

Ralstonia solanacearum E.F. Smith raza 2 es el agente causal de la marchitez bacteriana que afecta varias especies de plantas, alrededor de 50 familias (2), normalmente este patógeno infecta a través de las raíces, se mueve sistémicamente a través del xilema y causa síntomas de marchitez que usualmente son letales (3). Su dispersión se da a través de insectos, herramientas contaminadas, corrientes de agua, colinos provenientes de plantas afectadas, así como de animales domésticos y el hombre (4).

Su principal método de control es la exclusión, es decir, evitar que la enfermedad entre a la plantación por cualquiera de los métodos de transmisión. En caso de que la enfermedad se presente en una plantación surge la necesidad de erradicar las plantas afectadas por métodos químicos (4). En Colombia,

como primer medida de manejo de enfermedad, se requiere confirmar el diagnóstico por parte del ICA y desarrollar el proceso de erradicación de plantas afectadas y el control de focos de acuerdo con los protocolos de erradicación del ICA (5). Sin embargo, otra opción para el manejo del Moko es la utilización de extractos de plantas con propiedades antimicrobiales la cual está tomando fuerza, siendo esta una alternativa al manejo convencional. Existen un sinnúmero de plantas que tienen propiedades medicinales y ya están siendo utilizadas como biofungicidas en otros países (6). El empleo de extractos vegetales para el manejo de plagas, enfermedades y arvenses en el marco de la agricultura sostenible constituye una alternativa promisoría, debido a su efectividad, bajo costo y no ser contaminantes del ambiente. Alrededor de 3.000 compuestos naturales de origen vegetal han sido reportados mostrando actividad bactericida, fúngica, insecticida, repelente y nematocida (7).

En cuanto al método de evaluación in-vitro utilizado para analizar la actividad antimicrobiana de extractos fermentados de plantas, no se encontraron reportes de estudios de este bioinsumo sobre el agente causal de la enfermedad de Moko en plátano ni sobre otro microorganismo; sin embargo, González y otros (8) evaluaron la actividad antimicrobiana de extracto de propóleo sobre *Ralstonia solanacearum*, mediante la técnica de antibiograma.

En vista de la importancia socio-económica de la enfermedad de Moko en los cultivos de plátano, de su resistencia a productos químicos y facilidad de dispersión y en aras de acoger las experiencias de productores agroecológicos, quienes usan extractos a base de plantas para la biofertilización y manejo de plagas y enfermedades, esta investigación tuvo por objetivo evaluar de manera in-vitro el comportamiento de un Extracto Fermentado de Plantas en la inhibición del crecimiento de *Ralstonia solanacearum*, causante de la enfermedad del Moko en plátano; para lo cual se determinó la dilución más efectiva de éste bioinsumo y el porcentaje de inhibición de la bacteria.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención y activación de la cepa *Ralstonia solanacearum*

La cepa fue suministrada de manera liofilizada conservada en ampolleta, por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), sede Palmira

(Valle del Cauca), identificada por esta entidad como Rs 050. Se reactivó la cepa Rs 050 siguiendo el protocolo recomendado por el CIAT para la reactivación de bacterias liofilizadas y conservadas en ampollitas (9).

Obtención del extracto fermentado de plantas (EFP)

El Extracto Fermentado de Plantas evaluado fue proporcionado por los productores agroecológicos Arlés Henao y Luz Adilia Quiceno, propietarios de la Finca Tarira, ubicada en la vereda La Lotería del municipio de Filandia (Quindío).

El bioinsumo suministrado es una modificación a la formulación original para la producción de EFP incluida en las memorias del seminario de Agricultura Orgánica Microbiológica, dictado por el Ingeniero Raúl Andrés Vargas Rojas (10), bajo el auspicio del Sena Regional Quindío. El EFP es preparado a partir del aprovechamiento de diversas plantas que tienen sembradas en su finca y que desde la sabiduría campesina se clasifican en 5 grupos: plantas olorosas, picantes, amargas, vigorizantes y babosas. (11).

Pruebas bioquímicas

Para asegurar que la cepa no estuviera contaminada, se realizaron las siguientes pruebas bioquímicas de caracterización: Tinción de Gram, KOH al 3%, Oxidasa y catalasa, siguiendo lo recomendado por *Suslow et al* (12) e *Ibarra* (13)

Estandarización del inóculo

Se determinó la concentración de la población microbiana a emplear en la prueba de sensibilidad a través de la escala de Mc-Farland. Para efectos de este estudio la concentración de bacterias a utilizar se estandarizó con el tubo patrón 2 de la escala de Mc-Farland que representa 6×10^8 UFC, esto debido a la cinética de crecimiento de la bacteria, que de acuerdo a la experiencia obtenida en el desarrollo del proyecto y a otras investigaciones sobre la *R. solanacearum*, con una concentración de bacteria menor o igual a 10^8 UFC, donde solo se evidencia el crecimiento de la bacteria para la interpretación del antibiograma 5 días después de la inoculación.

Preparación de diluciones

El efecto inhibitorio del crecimiento de *R. solanacearum* con Extracto Fermentado de Plantas se evaluó bajo diferentes diluciones, como se muestra en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Preparación de diluciones evaluadas.

Tratamiento	Extracto Fermentado de Plantas (%)	Agua destilada estéril (%)	Glifosol (%)
T1	100	0	-
T2	90	10	-
T3	80	20	-
T4	70	30	-
T5	60	40	-
T6	50	50	-
T7	40	60	-
T8	30	70	-
T9	20	80	-
T10	10	90	-
C+	-	-	100
C-	0	100	-

Antibiograma

La tolerancia o resistencia de *Ralstonia solanacearum* frente al Extracto Fermentado de Plantas, expresado por el diámetro del halo de inhibición del crecimiento de la bacteria, fue determinada mediante la prueba de antibiograma, por el método de difusión con agar, bajo la técnica de difusión por pozos sellados. (14).

Técnica de difusión por pozos sellados

Se inocularon por siembra masiva con hisopo cajas Petri estériles que contenían medio YCDA (10-15 ml) con la cepa estandarizada al tubo #2 de la escala de Mc-Farland (6×10^8 UFC/ml). Se realizaron pozos sobre el agar sólido con puntas estériles de micropipeta de 8 mm de diámetro, 5 pozos por caja Petri; estas perforaciones fueron selladas con el mismo medio de crecimiento, posteriormente se adicionaron 10,0 μ l de cada uno de los tratamientos. Las cajas Petri se incubaron durante 3 días a 28°C; después de ello se procedió a realizar la medición de los halos de inhibición con un Pie de Rey Universal.

Determinación del porcentaje de inhibición del crecimiento de *Ralstonia solanacearum*

Se calculó el porcentaje de inhibición a través de la ecuación reportada por *Pabón et al* (15), la cual se muestra a continuación.

$$\% \text{ de inhibición} = \left(\frac{DhaloT_i - DhaloC-}{DhaloC+} \right) * 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

Dhalo T_i : Diámetro del halo de cada tratamiento

Dhalo C-: Diámetro del halo del control negativo.

Dhalo C+: Diámetro del halo del control positivo.

La tolerancia de *Ralstonia solanacearum* frente al Extracto Fermentado de Plantas se realizó cuatro veces por tratamiento.

Análisis estadísticos

Los datos correspondientes a los diámetros de inhibición del crecimiento de *Ralstonia solanacearum* se procesaron mediante la suma de cuadrados tipo III, dado que la contribución de cada factor se mide después de haber eliminado los efectos de todos los demás factores, con un 95% de significación estadística. La comparación de las medias se hizo mediante la pruebas de rango múltiple por el método de Tukey HSD. Los análisis se realizaron a través el paquete estadístico Statgraphics Plus 5.1.

RESULTADOS

Antibiograma

Tabla 2. Diámetros de inhibición de los tratamientos sobre *R. solanacearum*.

Tratamiento	Diámetro promedio del halo de inhibición (cm)
T1	1,43 ± 0,13
T2	1,43 ± 0,26
T3	1,25 ± 0,19
T4	1,35 ± 0,13
T5	0,93 ± 0,64
T6	0,00
T7	0,00
T8	0,00
T9	0,00
T10	0,00
C+	2,28 ± 0,17
C-	0,00

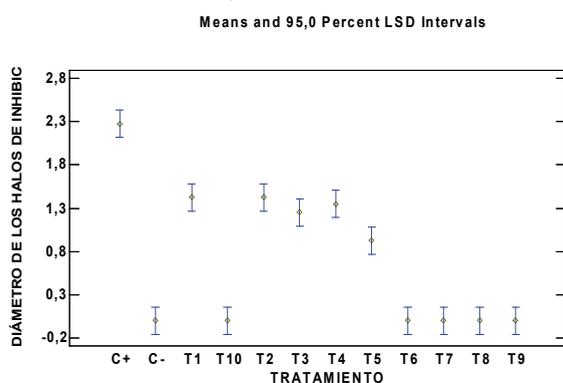


Figura 1. Diámetros de los halos de inhibición de crecimiento de *R. solanacearum* en función de los tratamientos.

Determinación del porcentaje de inhibición del crecimiento de *Ralstonia solanacearum*

Tabla 4. Porcentaje de inhibición de *R. solanacearum* en base a C+.

Tratamiento	Inhibición (%)
T1	62,64
T2	62,64
T3	54,95
T4	59,34
T5	40,66
T6	0,00
T7	0,00
T8	0,00
T9	0,00
T10	0,00
C+	100,00
C-	0,00

DISCUSION DE RESULTADOS

Antibiograma

Según el análisis de varianza mostrado en la Tabla 2 y en la figura 1, se evidencia un efecto estadísticamente significativo de los tratamientos sobre el tamaño de los halos de inhibición en *R. solanacearum*. La prueba de comparación de medias de Tukey indica que el control positivo (C+) presentó un promedio de halo de inhibición significativamente superior al observado con los tratamientos evaluados.

Determinación del porcentaje de inhibición del crecimiento de *Ralstonia solanacearum*

Puede observarse en la tabla 4 que el porcentaje de inhibición del crecimiento de la bacteria para los tratamientos en que se observó actividad antibacteriana osciló entre 40,66% y 62,64%, valores alcanzados con los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5.

La capacidad posible de inhibición del crecimiento de *Ralstonia solanacearum* con la aplicación de Extracto Fermentado de Plantas es debida a la liberación de compuestos químicos (aleloquímicos). Los resultados obtenidos permiten apoyar la teoría de la capacidad antibacteriana de los extractos vegetales debido a la liberación de metabolitos secundarios o aleopatía positiva. (16).

CONCLUSIONES

Aunque el glifosol inhibió en mayor medida el crecimiento de *Ralstonia solanacearum*, el Extracto Fermentado de Plantas se convierte en una alternativa frente al uso de agroquímicos usados para el control de la enfermedad del Moko en plátano, dado que bajo condiciones de laboratorio, este bioinsumo diluido al 100% (T1), 90% (T2), 80% (T3) y 70% (T4) presentó un efecto significativo sobre la inhibición del crecimiento de la bacteria dado su efecto alelopático.

En base al diámetro de inhibición del crecimiento de *Ralstonia solanacearum* con glifosol, se determinó que el Extracto Fermentado de Plantas inhibe el crecimiento de esta bacteria hasta en un 62,64% (porcentaje inhibitorio para T1 y T2). Los valores promedios para los tratamientos T3 y T4 fueron de 59,34%, 54,95%, respectivamente.

REFERENCIAS

1. *Manejo integrado del moko del plátano en el Quindío-Colombia*. Vargas, José Ever, y otros, y otros. Cartagena de Indias : Acorbat Internacional. XV Encuentro Internacional Acorbat. 2002; 321 p.
2. *Detection of Viable Cells of Ralstonia solanacearum in Soil Using a semiselective Medium and PCR technique*. Ito, S., y otros, y otros. Journal of Phytopathology. 1998; 146: 379-384 p.
3. Denny T P, Hayward A C. Gram-negative bacteria: Ralstonia. [aut. libro] N.W. Schaad, J.B. Jones y W. Chun. *Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria*. St Paul, MN, USA. : American Phytopathological Society Press. 2001; 151-173 p.
4. García Fernando, Martínez Alfonso. *Manejo de la enfermedad del Moko o Ereke en el cultivo de plátano para la Orinoquía colombiana*. Villavicencio, Meta-Colombia : Corpoica, Litografía La Bastilla Ltda, 2003.
5. ICA. *Manejo fitosanitario del cultivo de plátano, medidas para la temporada invernal*. Bogotá D.C. : Produmedios, 2012.
6. CIAT, y otros, y otros. Fortalecimiento de cadenas de valor de plátano: innovaciones tecnológicas para reducir agroquímicos. *Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria*. [En línea] 2006. http://www.fontagro.org/sites/default/files/prop_06_05.pdf.
7. Obledo E N, Hernandez A S, López M L. *Extractos vegetales, una opción en el control de la roya*. Oaxaca, México : Acorbat Internacional. Memorias XVI Reunión Internacional Acorbat. 2004; 184p.
8. González Rabelino Pablo, Zignago Augusto, Silvera-Pérez Elisa. *Caracterización in vitro de bacterias fitopatógenas en dos extractos de propóleos de diferentes orígenes fitogeográficos*. Centro Agrícola. 2009; 36(4): 43-48 p.
9. Castellanos Germán, Jara Carlos, Mosquera Gloria. Manejo de la bacteria en el laboratorio. *Guías Prácticas de laboratorio para el Manejo de Patógenos del Frijol*. Cali : Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 2011; 2-22 p.
10. Vargas Raúl Andrés. Memorias del Seminario Agricultura Orgánica Microbiológica. Circasia, Quindío, Colombia : s.n., Marzo de 2004.
11. Quiceno Luz Adriana, Henao Arlés. *Encuesta productores agroecológicos*. [entrev.] Autoras. 7 de Agosto de 2013.
12. Suslow T V, Schroth M N, Isaka M. *Application of a Rapid Method for Gram Differentiation of Plant Pathogenic and Saprophytic Bacteria Without Staining*. Pathology 72.1982; 917-918 p.
13. Ibarra, Maria de la Luz. Manual de Laboratorio de Microbiología Médica. s.l. : Universidad Autónoma de Baja California, Julio de 2007.
14. García Pedro, Paredes Fernando, Fernández María Teresa. *Microbiología clínica práctica, 2a Edición*. Cádiz : Imprenta Repeto. 1994.
15. Pabón L C, Vanegas J, Rendón M R, Santos R, Hernández P. *Actividad antioxidante y antibacteriana de extractos de hojas de cuatro especies agroforestales de la Orinoquía colombiana*. Revista Cubana de Plantas Medicinales. 2013; 18(1): 57-70 p.
16. Gonzáles Alba, Rodríguez Silva. *Agricultura y sociedad en México: diversidad, enfoques, estudios de caso*. México : Universidad Iberoamericana, 1999.
17. Johal G, Huber D. *Glyphosate Effects on Disease and Plants*. European Journal of Agronomy. 2009; 31: 144-152.

DIAGNÓSTICO DE LA AGROINDUSTRIA RURAL DE ALMIDÓN AGRIO DE YUCA EN LA ZONA PRODUCTORA DEL NORTE DEL CAUCA

DIAGNOSIS OF THE SOUR CASSAVA STARCH RURAL AGRO-INDUSTRY IN THE PRODUCING AREA OF NORTHERN CAUCA

Álvaro Javier PANTOJA M.^{1*}, Cindy MATERÓN L.¹,
Gonzalo Mauricio JARAMILLO H.¹, José Luis HOYOS C.²

RESUMEN

Antecedentes: La agroindustria rural de almidón agrio de yuca localizada en el norte del Cauca, se caracteriza por el alto impacto socio-económico, uso de operaciones unitarias y su articulación con el cultivo de yuca. Sin embargo, la ausencia de investigaciones recientes en torno al tamaño y distribución geográfica de esta agroindustria, el mejoramiento técnico del proceso y la disminución del impacto ambiental, hace necesario enfocar esfuerzos en la actualización de la información sobre esta agroindustria, que facilite procesos de transferencia de tecnología y conocimiento entre los productores activos actualmente. **Objetivos:** Diagnosticar la situación actual de la agroindustria de almidón agrio de yuca y generar la estratificación tecnológica del proceso de extracción en la zona productora del Norte del Cauca. **Métodos:** Se recolectó la información secundaria de diversas fuentes y posteriormente la información primaria mediante la aplicación de una encuesta de diagnóstico. Se analizaron los datos recolectados por análisis de frecuencias y medias que permitió la estructuración de la línea base de esta agroindustria y la estratificación de las rallanderías de acuerdo a su nivel tecnológico. **Resultados:** Se identificaron y localizaron 56 rallanderías entre los municipios de Santander de Quilichao, Caldono y Guachené. Se encontró el 80% de las rallanderías en estado activo; el 7,5% en estado temporalmente inactivo; el 11% en estado inactivo y el 1,85% en proceso de construcción. La encuesta de diagnóstico fue aplicada a una

muestra de 36 unidades procesadoras. Se encontró que el 13,9% posee nivel tecnológico alto; el 52,8% cuenta con nivel tecnológico medio y el 33,3% con baja tecnología. **Conclusiones:** La agroindustria de almidón agrio de yuca se encuentra reducida en tamaño y actualmente se mantiene gracias a la conservación del conocimiento y el mejoramiento tecnológico del proceso. Existen necesidades de actualización tecnológica que permitan incrementar la eficiencia del proceso y reducir el impacto ambiental en toda esta agroindustria.

Palabras clave: Agroindustria rural, almidón agrio de yuca, rallandería, nivel tecnológico, línea base.

ABSTRACT

Background: Rural agro-business of sour starch cassava located in Northern Cauca characterizes by a high socio-economic impact, use of unitary operations and its articulation with the cassava crop. However, the absence of recent research on the size and geographic distribution of this agro-industry, technical improvement of process and reduce environmental impact, is necessary to focus efforts on updating the information about this agro-industry, to facilitate transfer process of technology and knowledge to active producers currently. **Objectives:** Diagnose the current situation of sour cassava starch agro-industry and generate technological stratification of the extraction process in the producing area of Northern Cauca. **Methods:** Secondary information was collected

¹ Ingeniero Agroindustrial. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad del Cauca. Popayán – Colombia.

² Magister en Ingeniería de Alimentos. Profesor titular. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad del Cauca. Popayán – Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: pantojalvaro@gmail.com

of different sources and then the primary information by applying a diagnostic survey. The data collected was analyzed by average frequencies and means analysis for baseline structuration of this agro-industry and the stratification of cassava starch factories according to their technological level.

Results: 56 cassava starch factories were identified and located in the municipalities of Santander de Quilichao, Caldono and Guachené. 80% of cassava starch factories were in active state; 7.5% in temporarily inactive state; 11% in inactive state and 1.85% in construction. The diagnostic survey was applied to a sample of 36 processing units. It was found that 13.9% have high technological level; 52.8% have medium technological level and 33.3% with low technological level. **Conclusions:** Sour cassava starch agro-industry is reduced in size and currently is maintained by the preservation of knowledge and technological upgrading of the processing. There are needs of technology upgrade that will increase process efficiency and reduce environmental impact throughout this agro-industry.

Keywords: Rural agro-industry, sour cassava starch, cassava starch factory, technological level, baseline

INTRODUCCIÓN

En Colombia para el año 2011, se registró una producción de 2.264.460 ton., ocupando el puesto 22 a nivel mundial (1). La producción de yuca para la extracción de almidón, cuenta con un valor adicional teniendo en cuenta que las raíces de yuca ofrecen mayor rendimiento de almidón en peso seco respecto a otros cultivos alimentarios y el proceso de extracción no requiere tecnologías complejas. De acuerdo a reportes de la FAO, Brasil y Colombia lideran la producción de almidón de yuca en América Latina y el Caribe, extraído en fábricas pequeñas y medianas, denominadas localmente rallanderías (2). Dichas unidades de proceso, involucran una serie de operaciones unitarias destinadas a la extracción del almidón de las raíces de yuca, el cual es expuesto a un proceso de fermentación para la obtención del almidón agrio, materia prima de productos de panificación por su poder de expansión. A pesar que esta actividad representa una de las mayores fuentes de ingresos para muchos habitantes de esta región, se desconoce el impacto actual y estado tecnológico del proceso. Se conocen estudios desactualizados en torno a la caracterización de la agroindustria de

almidón de yuca en Cauca, donde se reportan 210 rallanderías identificadas entre el Centro y Norte, las cuales fueron clasificadas en 5 niveles tecnológicos de acuerdo a parámetros productivos (3). Otros estudios más recientes han sido enfocados en la zona de Santander de Quilichao, con mayor concentración de productores de almidón, abordando aspectos de mejoramiento del proceso y disminución de impacto ambiental (2, 4). Bajo estas circunstancias, se hace necesario diagnosticar el proceso y nivel tecnológico de las diferentes plantas procesadoras de almidón de yuca que actualmente conforman la agroindustria en esta zona. Para ello, se propone la identificación de asociaciones y cooperativas que faciliten la localización de las rallanderías y con ello recolectar la información primaria aplicando una encuesta de diagnóstico entre los productores identificados, con el fin de generar el diagnóstico actual y estratificación para esta agroindustria, como se ha reflejado en estudios realizados para otras zonas del país con producción de almidón, como los departamentos de Sucre y Córdoba (5).

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de información secundaria y primaria

En la recolección de información secundaria, se consultaron diferentes fuentes para identificar las asociaciones y cooperativas relacionadas con el sector de extracción de almidón agrio de yuca. Se logró el acercamiento y contacto con los productores, los procesos y la tecnología usada. Posteriormente, se implementó una encuesta formal con el fin de generar un inventario y caracterización de las plantas procesadoras identificadas y consolidar la información primaria para el estudio y generación de línea base. La encuesta se formuló con base en lo reportado en estudios previos, mediante preguntas cortas dirigidas al productor de almidón o administrador al cargo de la unidad productiva (3). Se evaluaron los aspectos administrativos, las características tecnológicas de la unidad procesadora, el consumo de recursos (agua y electricidad), la materia prima, la comercialización de almidón y los aspectos ambientales del proceso. La encuesta de diagnóstico y la evaluación tecnológica del proceso fue realizada a 36 plantas procesadoras de almidón de yuca, de las cuales 34 correspondieron a rallanderías activas y sólo 2 rallanderías se encontraban inactivas de

forma temporal. La localización de las unidades procesadoras de almidón identificadas se realizó mediante colector GPS Trimble Juno 3D.

Análisis de la información primaria y estratificación de unidades procesadora

Los datos recolectados se sistematizaron mediante hoja de cálculo Excel y fueron analizados de forma descriptiva, mediante análisis de frecuencias y medias (3). Se reportaron gráficos de distribución para facilitar el análisis y comprensión de los resultados en cada temática de la encuesta. Para la estratificación de las unidades procesadoras de almidón en-

cuestadas, se empleó un método de ponderación con base a parámetros productivos como la tecnología empleada, capacidad de producción y rendimiento del proceso. Se identificaron los factores y escalas (donde el valor de 1 corresponde al menor puntaje entre la escala) y se realizó la calificación de cada unidad procesadora con base a las observaciones realizadas durante el diagnóstico. Se realizó una comparación de la calificación obtenida para cada una de las 36 unidades procesadoras encuestadas y se obtuvieron tres categorías (AA, B y C) que representan la estratificación en nivel alto, medio y bajo de tecnología, respectivamente.

RESULTADOS

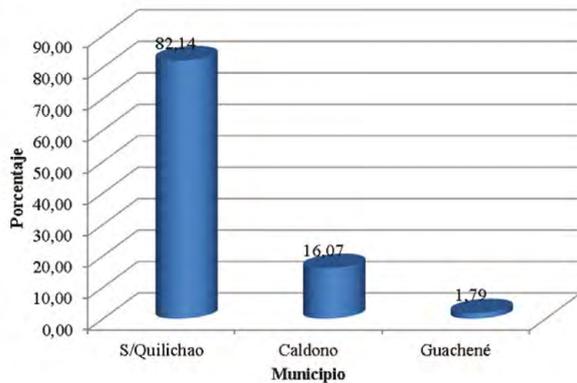


Figura 1. Tamaño de la agroindustria de almidón de yuca en la zona norte del Cauca

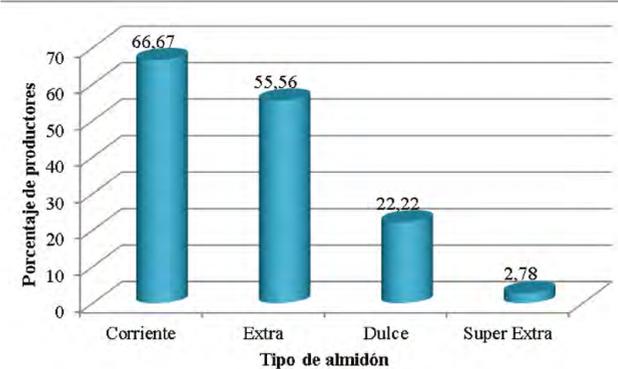


Figura 3. Productos de la agroindustria de almidón de yuca.

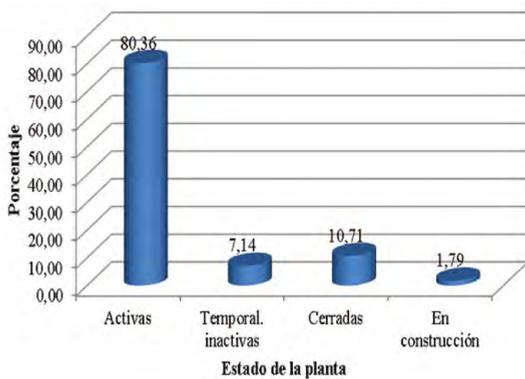


Figura 2. Estado de actividad de las plantas procesadoras de almidón identificadas

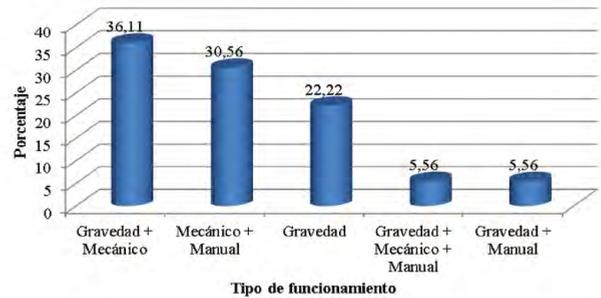


Figura 4. Tipos de procesos usados para la extracción de almidón

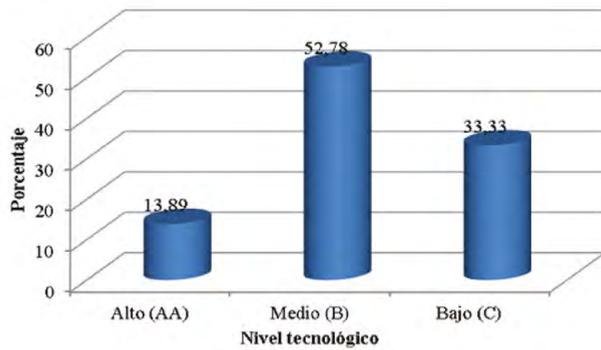


Figura 5. Estratificación de las unidades procesadoras de almidón encuestadas

Tabla 1. Categorías y escalas de estratificación de acuerdo a diagnóstico tecnológico

Etapa del proceso	Tipo de equipo	Escala
Lavadora	Frontal	1
	Lateral	2
	Lateral y lavadora en seco	3
Rallado con lámina perforada	Hierro galvanizado	1
	Acero inoxidable	2
Extracción	Coladora de cuatro apoyos	1
	Coladora de semieje en hierro	2
	Coladora de semieje en acero	3
	Coladora tipo "gusano"	4
	Centrífuga	5
Recolado	No presenta	1
	Recolador fijo	2
	Recolador oscilatorio	3
	Recolador sinfín	4
Molienda	Almidón húmedo y hierro galvanizado	1
	Almidón húmedo y acero inoxidable	2
	Almidón seco y acero inoxidable	3
	Almidón húmedo y seco, acero inox.	4
Capacidad de la planta	Kilogramo por semana	Escala
Capacidad instalada (Kg/sem)	0 a 20000	1
	20001 a 50000	2
	50001 a 100000	3
	>100000	4
Capacidad de la planta	Kilogramo por semana	Escala
Capacidad utilizada (Kg/sem)	0 a 10000	1
	10001 a 30000	2
	30001 a 50000	3
	>50000	4
Rendimiento	Porcentaje	Escala
Rendimiento de producción	Menor o igual a 20	1
	Entre 20 y 24	2
	Mayor o igual a 24	3

DISCUSIÓN

Análisis de la información secundaria y primaria recolectada

La figura 1 muestra que la agroindustria de almidón agrario de yuca se concentra en los municipios de Santander de Quilichao, Caldono y Guachené, siendo el primero, el que cuenta con mayor número de rallanderías (82,14%), en su mayoría concentradas en zonas rurales como las Veredas Mandivá, La Agustina y El Pedregal. En el municipio de Caldono se registró la presencia del 16% de las rallanderías, las cuales se localizaron en diferentes zonas rurales como el borde del Río Ovejas y Siberia. Por su parte, el municipio de Guachené reporta sólo una rallandería, la cual no fue contemplada en el diagnóstico y aplicación de la encuesta debido a limitaciones de acceso a la zona. En total, se identificaron 56 plantas procesadoras de almidón, que como lo indica la figura 2, se encontraron distribuidas así: el 80 % en estado activo; el 7% en estado inactivo de forma temporal; el 11% cerradas y cerca de un 2% en construcción. Esto revela la disminución en el tamaño de la agroindustria de almidón de yuca con respecto a lo reportado en estudios previos donde se reportó un total de 210 rallanderías ubicadas en el centro y norte del Cauca para el año de 1998 (3), mientras que se reportaron un total de 102 existentes en 1995 en el municipio de Santander de Quilichao, de las cuales solo se reportan 62 en estado activo para el año 2010 (4). A pesar de la reducción de plantas procesadoras de almidón, cabe resaltar que alrededor del 80% de las encuestadas cuentan con un tiempo mayor a 15 años en la producción de almidón agrario de yuca, lo cual representa la conservación de un vasto conocimiento y experiencia alrededor del proceso y las diferentes variables y factores que lo afectan.

En cuanto a asociaciones y cooperativas, se identificaron sólo dos: *Asociación de Rallanderos del Cauca- ARCAUCA*, de la cual se encuestaron a 18 productores y *Agroindustria de Almidoneros de Mondómo - AGROINALMO*, de la cual sólo 9 productores atendieron la encuesta. Los demás productores encuestados no hacen parte de ninguna asociación, evidenciado la falta de conexión y liderazgo para el trabajo en equipo y la búsqueda de soluciones que ha limitado el avance y fortalecimiento de esta agroindustria.

La figura 3 muestra la distribución de los productos obtenidos en la agroindustria de almidón de yuca, clasificados de acuerdo a la calidad, como Almidón Súper Extra, Extra y Corriente, siendo este último el de mayor producción entre las rallanderías diagnosticadas. El almidón Súper Extra es producido en menor cantidad para suplir requerimientos de clientes específicos mientras que el almidón tipo Extra es producido en un porcentaje mayor entre las rallanderías encuestadas. En cuanto al almidón “dulce” que no se somete a fermentación, sólo un 22% de los productores reportó la venta de este producto hacia clientes específicos. Por otro lado, el estudio permitió determinar que la calidad del almidón agrio producido, está influenciada por la variedad y tipo de yuca empleada en el proceso. La totalidad de plantas procesadoras de almidón reportó el uso de yuca de tipo amarga y dulce producida en diferentes zonas del departamento del Cauca y sólo un 30% de las encuestadas, posee cultivos propios, lo cual evidencia la importancia de articular la producción y cultivo de yuca con la agroindustria de almidón agrio. Se requiere estructurar la cadena productiva de la yuca en el departamento del Cauca, integrando las zonas de cultivo con las agroindustrias de almidón, lo cual requiere de un diagnóstico amplificado y la posterior ejecución de procesos de transferencia tecnológica.

Por otro lado, la figura 4 muestra que cerca del 70% de las rallanderías, presenta el uso de la gravedad en el proceso, facilitando los flujos y disminuyendo la relación hombre-máquina identificada en esta agroindustria por otros investigadores (2). Por su parte, se identificó la ausencia de gravedad en el 30% de las rallanderías encuestadas, con mayor relación hombre-máquina combinada al uso de elementos y equipos de tipo mecánico, como las bombas para el cargue de la yuca rallada hacia las coladoras. Finalmente el 36% presentó el uso de la gravedad en combinación con elementos mecánicos mientras el 22% presentó uso total de la gravedad en el proceso de extracción que representa una reducción en la fatiga de los operarios y garantiza el flujo de material por niveles. Este tipo de distribución de las etapas se evidenció en las plantas procesadoras con nivel tecnológico medio (B) y alto (C), que coincide con lo reportado en el diagnóstico y estratificación de las rallanderías según nivel tecnológico para los departamentos de Córdoba y Sucre (5).

Con respecto a estudios previos, donde la estratificación de las rallanderías se realizó con base a la presencia de canales de sedimentación y el uso de la gravedad (5), para este estudio se han identificado otros parámetros para generar la estratificación de las rallanderías encuestadas en la zona norte del Cauca, tal como se indica en la tabla 1 y se representa en la figura 5, indicando que el 13,89% posee nivel tecnológico alto (AA) caracterizado por procesos mecanizados con el uso de equipos tecnificados en acero inoxidable como las centrifugas y coladoras tipo “gusano” en la etapa de extracción y la inclusión de mejoras en el lavado de raíces; uso de la capacidad instalada por encima del 50% y un rendimiento promedio en el proceso por encima del 24%, respecto al peso de la raíz en base húmeda. Se encontró que el 52,78% de las rallanderías, contaba con nivel tecnológico medio (B), caracterizado por el uso de procesos semi-mecanizados y de equipos tradicionales en acero inoxidable como las coladoras de semieje y tipo gusano; uso de la capacidad instalada entre el 30 y 50% y un rendimiento del proceso promedio entre 20 y 24%. Por su parte, la tercera parte de las rallanderías encuestadas presentó nivel de tecnología bajo (C), donde aún se requiere la participación de los operarios ante la falta de gravedad en el proceso; se presenta el uso de equipos tradicionales en hierro galvanizado para el rallado y extracción; uso de capacidad instalada no mayor al 30% y rendimiento promedio entre 17-24%.

CONCLUSIONES

La agroindustria de almidón agrio de yuca localizada en el norte del Cauca presenta una disminución considerable en los últimos 20 años. Los productores de almidón existentes, conservan el conocimiento tradicional y han implementado mejoras tecnológicas, generando una diferenciación tecnológica de los procesos. Se evidencian avances en la implementación de nuevos equipos en la etapa de extracción con el fin de incrementar la eficiencia del proceso y reducir los efectos sobre el ambiente. Por ello, se requiere la actualización de información en torno a esta agroindustria, con el fin de fortalecerla entre todos los productores activos mediante la aplicación de transferencia tecnológica, lo cual pueda reflejarse hacia otras zonas del departamento del Cauca con presencia de rallanderías productoras de almidón de yuca.

REFERENCIAS

1. Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario FINAGRO. Yuca (internet). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá (Colombia). 2013. [citado 13 de Febrero de 2016]. Disponible en: https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/info.../yuca_0.docx
2. Torres P, Pérez A, Marmolejo LF, Ordoñez JA, García R. Una mirada a la agroindustria de extracción de almidón de yuca desde la estandarización de procesos. *Revista EIA*, ISSN 1794-1237. Diciembre 2010; 14: 23-38p.
3. Gottret MV, Guy H, Dufour D. Caracterización de la agroindustria de procesamiento de almidón agrario en el departamento del Cauca, Colombia [internet]. Palmira, Colombia. 1997. [citado 25 Enero de 2016]. Disponible en: http://ciat-library.ciat.cgiar.org:8080/jspui/bitstream/123456789/7086/1/adopcion_impacto_rallanderias.pdf
4. Sarria H. Contaminación y toxicidad de las aguas residuales de las rallanderías del Norte del Cauca, Colombia. [Tesis doctoral]. [Madrid, España]. Universidad Complutense de Madrid. 2011. 267 p.
5. Cadena MP, Villaraga EC, Luján DE, Salcedo JG. Evaluación de la agroindustria del almidón agrario de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Córdoba y Sucre. *Revista Temas Agrarios*. Córdoba (Colombia). 2006 Enero-Junio; 11: 43-53p.

LA ELECTROCOAGULACIÓN COMO ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO DE AGUAS MIELES PROVENIENTES DEL PROCESO DE BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ

THE ELECTROCOAGULATION AS ALTERNATIVE TO TREAT HONEY WATER COMING FROM BENEFICIATION WET PROCESS OF COFFEE

Heidy Lorena GALLEGO OCAMPO^{1*}, Milena MEJÍA FRANCIA²

RESUMEN

Antecedentes: La producción de café pergamino seco –c.p.s.– representa para las familias del departamento del Quindío su principal sustento, al tener un producto que es reconocido en el mundo por sus características organolépticas, por sus condiciones sociales, culturales y ambientales asociadas al cultivo. Por este motivo se han hecho esfuerzos por desarrollar alternativas de descontaminación de las aguas mieles provenientes del proceso de beneficio húmedo del café, proceso indispensable para el producto, sin embargo, genera una contaminación a las fuentes hídricas en términos de DQO entre 25000 y 110000 ppm. Las tecnologías utilizadas para el beneficio como el ECOLAV y el BECOLSUB no se han podido implementar en todo el gremio de caficultores nacionales, según los caficultores, en el caso del Becolsub no se logra una excelente calidad del café en taza; aunque el Ecolav mejora las deficiencias presentadas con el Becolsub, es una tecnología demasiado costosa para los pequeños caficultores. **Objetivo:** Implementar a escala de laboratorio un sistema de tratamiento de aguas mieles consistente en el proceso de electrocoagulación que permita desestabilizar los contaminantes presentes en las aguas para facilitar su remoción. **Métodos:** Para cada una de las tecnologías de beneficio se seleccionaron para realizar el muestreo 3 fincas en predios del municipio de Calarcá – Quindío, recolectándose 2 L de cada muestra de aguas mieles provenientes del lavado de café, las cuales fueron llevadas al laboratorio de Biotecnología de la Uni-

versidad La Gran Colombia, sede Ciudadela del saber La Santa María para su posterior análisis. Se construyó, en un recipiente plástico de 500 ml, un equipo electrocoagulador a escala de laboratorio para determinar la capacidad de descontaminación de las aguas. **Conclusiones:** Los resultados de conductividad obtenidos con el tratamiento 3 indican que las aguas tratadas son aptas para disponer a fuentes hídricas o recircular en el mismo proceso de beneficio. El proceso de electrocoagulación resulta ser una alternativa económica, eficiente y de fácil adopción por parte de los pequeños productores para reducir los contaminantes presentes en las aguas mieles.

Palabras clave: Electrocoagulación, compuestos orgánicos, aguas mieles, conductividad eléctrica.

ABSTRACT

Background: Production of dry parchment coffee represents for families from Quindio their main livelihood, their product is recognized worldwide for its organoleptic characteristics, for social, cultural and environmental conditions associated with the crop. For this reason, there have been efforts to develop alternative of decontamination of honey water coming from beneficiation wet process of coffee, indispensable process for the product, however that process generates a contamination to water sources in terms of COD between 25000 and 110000 ppm. The technologies used for the beneficiation as BECOLSUB and ECOLAV have not been implemented in all union national farmers of

¹ Doctora en Ingeniería, Docente Investigador Facultad de Ingenierías. Universidad La Gran Colombia. Ciudadela del Saber La Santa María, Km 7 Vía La Tebaida-Armenia, Quindío, Colombia.

² Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Docente Facultad de Ingenierías Universidad La Gran Colombia. Armenia, Quindío, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: gallegocheidy@miugca.edu.co

coffee, according to farmers of coffee, in the case of Becolsub, excellent quality of coffee is not reached in cup. Although the Ecolav improves the deficiencies presented with the Becolsub is a technology too expensive for small farmers of coffee. **Objective:** Develop at laboratory scale a treatment system of honey water based on electrocoagulation process to destabilize the contaminants present in honey water and to facilitate their removal. **Methods:** For each technology of beneficiation were selected for sampling 3 farms from Calarcá – Quindío (Colombia) collecting samples of 2 L of honey water coming from coffee wash which they were taken to the laboratory of Biotechnology from University La Gran Colombia, sede Ciudadela del saber La Santa María (Armenia, Quindío – Colombia) for further analysis. The electrocoagulator was built in a plastic container of 500 ml at laboratory scale to determine the ability of removal of the contaminants present in water. **Conclusions:** Conductivity results obtained from treatment 3 show that the water treated is suitable to dispose at water sources or recycle into the beneficiation process. The electrocoagulation process turns out to be an economic, efficient and easy alternative for small farmers of coffee for reducing contaminants present in honey water.

Keywords: Electrocoagulation, organic chemicals, honey water, electric conductivity.

INTRODUCCIÓN

El café de Colombia se caracteriza por su suavidad y componentes aromáticos que en parte se derivan del proceso de beneficio húmedo que se realiza en cada predio, y que luego del secado da como resultado el café pergamino seco -c.p.s.-, para este beneficio húmedo se utiliza, dependiendo de la tecnología (Ecolav, Becolsub, tecnología tradicional) desde 4.2 hasta 40 litros de agua por cada kilogramo de c.p.s., generando aguas mieles con alta acidez y materia orgánica (constituida por pulpa (72%) y mucílago de café (28%)). La remoción del mucílago genera aguas residuales y lixiviados con una carga orgánica que comprende en términos de DQO entre 25000 y 110000 ppm. Además de contaminar las fuentes hídricas, producir malos olores, y ser foco para cría de moscas y otras plagas que pueden perjudicar la producción de café especial, las aguas mieles generan una contaminación equivalente a la producida en aguas negras por una población de 14400 habitantes en un día por cada 1000 arrobas de c.p.s. (1 – 8).

La preservación del medio ambiente, en especial del agua como recurso fundamental de la caficultura, depende del uso y manejo que se le dé, por lo tanto, se deben desarrollar, seleccionar y aplicar métodos adecuados (eficientes, sencillos, económicos y modulares) que sean efectivos y sostenibles, consistentes con las regulaciones nacionales existentes, con enfoque integral y que se puedan adaptar sin dificultad por los caficultores.

Debido a los cambios ambientales y económicos en el mundo en los últimos años, los caficultores de la región han adoptado medidas para asegurar su permanencia en el mercado que incluyen la producción de café especial y el acogerse a la declaratoria del Paisaje Cultural Cafetero, éstas acciones locales que se desarrollan, además, de redundar en cambios ambientales, deben aumentar la rentabilidad de las familias cafeteras por el incremento en el precio de café producido con atributos especiales de aroma, sabor y cuerpo que los consumidores están dispuestos a pagar, por ende, el proceso de producción de café especial debe ser cuidadoso de los recursos del medio ambiente y debe tener soportes tecnológicos que evidencien su cuidado, mientras se mantiene la declaratoria.

Como alternativas de tratamiento de las aguas mieles se han desarrollado e implementado soluciones biotecnológicas que incluyen procesos aeróbicos, lagunas de oxidación aireadas e irrigación con soluciones, sin embargo, estas se encuentran limitadas por el sistema de producción, la ubicación geográfica, por la capacidad de adopción de tecnologías por parte de los productores y por el mantenimiento de los sistemas de tratamiento; por lo que en este trabajo, se propone implementar a escala de laboratorio un sistema de tratamiento de aguas mieles consistente en el proceso de electrocoagulación, proceso que permite desestabilizar los contaminantes presentes en las aguas mieles (efluente líquido residual en suspensión coloidal) para facilitar su remoción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Inicialmente se realizó un estudio de campo con la asociación de productores de café especial de Calarcá “Cordilleranos del Quindío”, con el fin de determinar la cantidad de caficultores que: a. poseen beneficiaderos tecnificados de café, b. aprovechan integralmente los residuos generados durante el beneficio húmedo del café, c. poseen certificación en procesos de producción agrícola, d. acceden al

acueducto municipal. Identificados los caficultores que utilizan beneficiaderos tecnificados y no tecnificados se procedió a obtener muestras insitu de las aguas mieles de aproximadamente 2 L cada una, para cada tipo de beneficiadero se muestrearon 3 fincas, las cuales fueron llevadas al laboratorio de Biotecnología de la Universidad La Gran Colombia, sede Ciudadela del saber La Santa María para su posterior análisis.

Seguidamente se realizaron análisis físicos como temperatura, pH, conductividad eléctrica de las aguas mieles (μS) y sólidos solubles totales (SST) utilizando para ello termómetro de mercurio, potenciómetro (HANNA INSTRUMENTS), Sólidos solubles totales ($^{\circ}\text{Brix}$) en un refractómetro óptico Abbe (Atago Co. Ltda.), conductímetro HI 8033 (HANNA INSTRUMENTS) y microbiológicos; para determinar la presencia de coliformes totales y fecales se tomó 1 ml de cada una de las muestras iniciales (no tratadas) y se diluyeron en 9 ml de caldo brilla con campana de Durham, las cuales fueron incubadas a 37°C durante 48 h para coliformes totales y a 44°C por 48 h para coliformes fecales.

Para el tratamiento de las aguas mieles se construyó, en un recipiente plástico con capacidad de 500 ml, un equipo electrocoagulador a escala de laboratorio con las siguientes características: dos placas de hierro (carga negativa) y dos de aluminio (carga positiva) de 10 x 10 cm, dos conectores caimán-caimán entre las placas hierro-hierro y aluminio-aluminio, como alimentador de corriente

entre las placas se utilizó un cargador con un voltaje de 12 V y una corriente de 2 A (Figura 1).

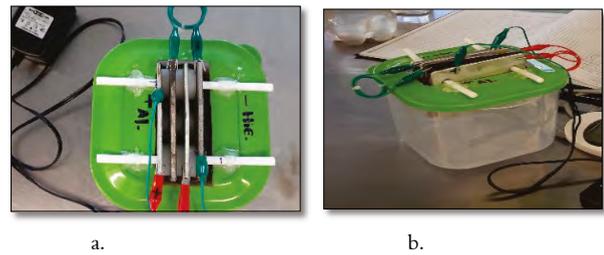


Figura 1. Equipo de electrocoagulación a escala de laboratorio. a. vista superior, b. vista lateral.

Las muestras fueron sometidas a diferentes tratamientos durante el proceso de electrocoagulación; en el primer tratamiento, las aguas mieles fueron tratadas con el electrocoagulador por 2 h, en el segundo tratamiento, después del proceso de electrocoagulación (2h) se procedió a filtrar la muestra con filtro Whatman No. 41, en el tercer tratamiento, previo al proceso de electrocoagulación, la muestra fue pasteurizada a 75°C durante 15 minutos y enfriada rápidamente hasta alcanzar temperatura ambiente, posteriormente se le adicionó 50 ml de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 4% con el fin de acelerar el proceso, por último se filtró la muestra con filtro Whatman No. 41. En cada uno de los tratamientos de electrocoagulación se midió temperatura, pH, conductividad eléctrica (μS) y sólidos solubles totales (SST) a 10, 15, 30, 60, 120 y 300 min.

RESULTADOS

Tabla 1. Análisis físicos obtenidos de las aguas mieles antes del proceso de electrocoagulación

NO. TTO. DE ELECT.	TTO. DE BENEF.	T ($^{\circ}\text{C}$)	pH	SST ($^{\circ}\text{Brix}$)	COND. ELÉCT. (mS)	COLIF. TOT.	COLIF. FEC.
1	Tradicional	34	4.02	3	324	+++	---
		34	4.02	1.8	328	+++	---
		34	4.1	1.5	323	+++	---
2	Becolsub	34	5.34	0.3	229	+++	---
		34	5.45	0.3	230	+++	---
		34	5.35	0.1	230	+++	---
3	Becolsub	26.6	6.33	0.1	243	+++	---
		26.5	6.43	0.1	245	+++	---
		26.5	6.33	0.2	243	+++	---

Tabla 2. Análisis físicos obtenidos de las aguas mieles después del proceso de electrocoagulación

NO. TTO. DE ELECT.	T. DE ELECT. (h)	pH	SST (°Brix)	COND. ELÉCT. (mS)	COLIF. TOT.	COLIF. FEC.
1	2.15	5.8	1.2	210	+++	---
		5.7	1	223	+++	---
		6.2	0.95	235	+++	---
2	14.1	6.1	0.1	93	---	---
		5.8	0.13	95	---	---
		7.1	0.1	98	---	---
3	5	7.2	0.1	67.4	---	---
		7.1	0.1	65	---	---
		7.5	0.12	67.8	---	---

COND. ELECT. Conductividad eléctrica; COLIF. TOT. Coliformes totales; COLIF. FEC. Coliformes fecales; SST. Sólidos solubles totales; NO. TTO. ELECT. Número tratamiento de electrocoagulación; T. DE ELECT. Tiempo de electrocoagulación; TTO. DE BENEF. Tratamiento de beneficio; +++ Positivo; --- Negativo

DISCUSIÓN

Estudio de campo

El estudio de campo realizado mostró que el 33% de los caficultores poseen beneficiaderos tecnificados de café, sin embargo, el 12% de ellos no están en uso con tendencia a desaparecer, puesto que según los caficultores en el caso del Becolsub no se logra una excelente calidad del café en taza; aunque el Ecolav mejora las deficiencias presentadas con el Becolsub, es una tecnología demasiado costosa para los pequeños caficultores. En cuanto a los residuos generados durante el beneficio húmedo del café tan solo el 55% son aprovechados de forma integral por los caficultores de la Corporación Cordilleranos para la generación de compost (53% de los residuos) y como alimento para animales (2%), siendo el 45% restante, vertidos a los cultivos sin ningún tipo de tratamiento previo (de las 289.6 ha cultivadas, el 72.2% son cultivos de café, el 23.2% de plátano y el 2.6% de aguacate).

El 100% de los caficultores pertenecientes a la red de Cordilleranos del Quindío poseen certificación en procesos de producción agrícola (el 38% de los predios cuentan con certificación de Rain Forest Alliance, el 25% pertenecen al proceso de Verificación 4-C, el 15% cuentan con Practices, el 9% UTZ –Kapeh, el 9% presentan certificados I.C.A. y sólo el 1% están certificados en buenas prácticas agrícolas (B.P.A.), de estos certificados

el 81% corresponde al cultivo de café y el 19% restante a plátano), además, el 93% de los caficultores están conectados al acueducto municipal o a los acueductos rurales administrados por el comité de cafeteros departamental, sin embargo, el 7% no cuenta con este recurso. Por otra parte, el 90% de los caficultores utilizan para el tratamiento de aguas residuales pozo séptico, mientras el 3% plantas de tratamiento y los restantes poseen alcantarillado para la disposición directa de las aguas residuales.

Tratamiento de las aguas mieles con el electrocoagulador

Para determinar la eficiencia de remoción de la materia orgánica presente en las aguas residuales, durante el proceso de electrocoagulación, se tomó en cuenta la cantidad de disminución de la conductividad eléctrica, ya que ésta se utiliza como parámetro de medida de la cantidad de sólidos totales disueltos y de la concentración de sales disueltas en el agua.

Al aumentar el tiempo de electrocoagulación disminuye la conductividad eléctrica final en las muestras de aguas mieles, mientras el pH alcanza valores cercanos a pH neutro, sin embargo, el tratamiento que presentó mayor efectividad en la remoción de la materia orgánica fue el tratamiento 3, con un porcentaje de remoción del 73% aproximadamente (Tablas 1 y 2). Hay que tener en cuenta que el porcentaje de remoción de la materia orgánica presente en las muestras depende de las

variaciones atribuidas al origen, razón por la cual los resultados obtenidos en el tratamiento 2 no fueron los esperados. Es aconsejable para futuras investigaciones realizar el tratamiento de electrocoagulación en cada una de las fincas analizadas ya que se dispone de equipos portátiles para ello. Los resultados obtenidos de conductividad eléctrica y de pH se encuentran por debajo de los valores estipulados en el decreto nacional 1575 de 2007 y por CAPRE y la OMS para agua para consumo (50 y 1000 y entre 250 y 400 μ S respectivamente; pH entre 5.8 y 8.5) (9, 10).

CONCLUSIONES

Los resultados de conductividad obtenidos con el tratamiento 3, son aptos para disponer a fuentes hídricas o recircular en el mismo proceso de beneficio. El propósito de este proyecto es continuar con el proceso, en el cual se pueda estandarizar las aguas resultantes del proceso de electrocoagulación.

El proceso de electrocoagulación resulta ser una alternativa económica, eficiente y de fácil adopción por parte de los pequeños productores para reducir los contaminantes presentes en las aguas mieles.

AGRADECIMIENTOS

A Iván Darío Calle, Cristian Gil, Jonathan Mahecha, Duván Ortiz y Oscar Salcedo estudiantes de Ingeniería Agroindustrial por su apoyo en el trabajo de campo y a la Asociación Cordilleranos del Quindío por permitir el desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS

1. Ferrell J, Cockerill K. Closing coffee production loops with waste to ethanol in Matagalpa, Nicaragua. *Energy for Sustainable Development*. 2012; 16(1):44-50.
2. Cenicafé. Construyendo el modelo para la gestión integrada del recurso hídrico en la caficultura colombiana: Chinchiná – Colombia. CENICAFE. 2011. Disponible en: http://www.cenicafe.org/es/documents/PROPUESTA__P_A_CENICAFE_ABRIL13.pdf
3. Rathinavelu R, Graziosi G. Potential alternative use of coffee wastes and by-products. 2005. Disponible en: <http://www.ico.org/documents/ed1967c.pdf>
4. Arango Ruiz, A. La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*. 2005; 2(1):49-56. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69520109>
5. Cárdenas-Garzón RC, Ortiz-Prieto JE. Manejo integrado del recurso agua en el proceso de beneficio húmedo del café para la asociación de productores de café especial “ACAFETO” en el municipio de Fresco, departamento del Tolima. [Maestría en desarrollo sostenible y medio ambiente. Manizales]. [Manizales]: Universidad de Manizales. 140 p. Disponible en: http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1265/Cardenas_Garzon_Rodrigo_Cristobal_2014.pdf?sequence=1
6. Evangelista SR, Miguel MGdCP, Silva CF, Pinheiro ACM, Schwan RF. Microbiological diversity associated with the spontaneous wet method of coffee fermentation. *Int J Food Microbiol*. 2015; 210(1):102-112.
7. Braham JE, Bressani R. Coffee pulp. Composition, Technology, and Utilization. IDRC-108e. Institute of Nutrition of Central America and Panama: J.E. Braham and R. Bressani; 1979. 95 p.
8. Duarte GS, Pereira AA, Farah A. Chlorogenic acids and other relevant compounds in Brazilian coffees processed by semi-dry and wet post-harvesting methods. *Food Chem*. 2010; 118:851-855.
9. Rugama Espinoza MI, Save Monserrat Robert. Efecto vertido aguas mieles en calidad físico-química del agua microcuenca Rio Cuspire Yalí, Nicaragua. *Revista Científica de FAREM-Estefí. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano*. 2013; 2(7):43-53. Disponible en: <http://www.farem.unan.edu.ni/revistas/index.php/RCcientifica/article/view/101/93>
10. Samper Pizano E. Decreto 475 de 1998. [Diario Oficial]. Santa Fe de Bogotá: Ministerio de Salud y Ministerio de Desarrollo Económico.1998.

DISEÑO DE UN METODO RÁPIDO PARA EVALUAR LA TRANSFERENCIA DE SAL EN TINA DE CUAJADO

DESIGNING A MEASUREMENT SYSTEM TO ANALYZE THE SALT TRANSFER IN CHEESE VAT

Rigoberto ROSERO B Esp.^{1*}, Oscar ARANGO BEDOYA PhD.¹, Diego MEJIA ESPAÑA MSc.¹,
Oswaldo OSORIO MORA PhD.¹

RESUMEN

Antecedentes: a pesar de que el salado en tina quesera en presencia de lactosuero es una técnica común en algunas empresas, no se conoce un método sencillo que permita estimar la transferencia de sal al queso. **Objetivo:** diseñar un método rápido y económico para estimar la transferencia de sal al queso cuando se utiliza la técnica de salado en tina en presencia de lactosuero. **Métodos:** el método se basó en los cambios de densidad que ocurren en el lactosuero cuando el salado se hace en la tina de cuajado. Se elaboró una curva de calibración mezclando concentraciones conocidas de sal en suero y determinando la densidad con un densímetro. La concentración de sal también se midió por el método de Mohr. El método fue empleado para evaluar la transferencia de sal en tres líneas de queso de una reconocida empresa láctea ubicada en la ciudad de Pasto (Colombia). **Resultados:** no se encontraron diferencias significativas entre los contenidos de sal determinados con el método propuesto y el método de Mohr. La cantidad de sal transferida al suero en las 3 líneas evaluadas superó el 50%, evidenciando sobrecostos por pérdida excesiva de sal. Usando el método propuesto se estimó el contenido de sal en tres tipos de queso con un error medio de predicción de 3,2%. **Conclusiones:** dada su simplicidad y reproducibilidad, el método propuesto puede ser fácilmente implementado a nivel de planta para controlar la transferencia de sal al suero y al queso, optimizando el proceso de salado en tina quesera.

Palabras clave: Sal, salado en tina, leche, queso

ABSTRACT

Background: despite salting in cheese vat in presence of whey is a common technique in some industries, a simple method to estimate salt transfer to cheese is unknown. **Objectives:** to design a rapid and economical method to estimate salt transfer to cheese when salting is carried out in presence of whey in the cheese vat. **Methods:** the method was based on the analysis of changes in density occurring in the whey when salt is added in the cheese vat. A calibration curve was made by mixing known amounts of salt in whey and measuring the density using a densimeter. Salt concentration was also measured by Mohr method. The technique was used to evaluate salt transfer in three cheese production lines of an important dairy industry, located in the city of Pasto (Colombia). **Results:** no significant differences were found between salt contents determined using the proposed method and the Mohr method. The amount of salt transferred to whey, in the 3 production lines evaluated was greater than 50%, showing overrun due an excessive salt waste. Using the proposed method the salt content in three types of cheese was predicted with a mean error of 3.2%. **Conclusions:** due to its simplicity and reproducibility, the proposed method can be easily implemented at plant level, in order to control the transference of salt to whey and cheese, optimizing the salting process in cheese vat.

Keywords: Salt, cheese vat salting, milk, cheese

INTRODUCCIÓN

El salado es una etapa fundamental en la elaboración de queso, por contribuir a su conservación y a la

¹ Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.

* Autor de correspondencia: rigorosero20@gmail.com

mejora de sus características organolépticas. Además de afectar al rendimiento y a las propiedades reológicas del queso (1-4), el NaCl actúa como conservante debido a su capacidad para reducir la actividad de agua y su ion cloruro, que inhibe la germinación de las esporas microbianas (2, 5, 6), intensifica el sabor. Sin embargo, a pesar de la importancia que tiene el proceso de salado, en muchas empresas no se controla adecuadamente, afectando así variables como rendimiento, vida útil y en consecuencia el costo de producción.

Existen diversas técnicas para realizar el salado en la elaboración del queso: por inmersión en salmuera, salado en seco y salado en tina de cuajado (7). El salado en tina se hace con el fin de lograr un salado muy uniforme de la cuajada y consiste en agregar la sal inmediatamente después de haber realizado el corte y de haber retirado aproximadamente el 50% del suero. En muchos casos la cantidad de sal a añadir se determina por ensayo y error, desconociéndose la cantidad de sal transferida al queso y la cantidad que se pierde en el lactosuero.

Cuando el salado se hace en salmuera, la ganancia en peso es inferior a la pérdida de humedad, por tanto el queso pierde peso, sin embargo la cantidad de sólidos totales al final del proceso es mayor (8). Si se adiciona una cantidad de sal al queso, éste tendrá un incremento en peso en la misma proporción, sin embargo su composición fisicoquímica se ve alterada. Al mantener la misma cantidad de agua en el sistema e incrementarse la cantidad de sólidos, el porcentaje de humedad disminuye, tal como se evidenció en el estudio de McCarthy et al (9). Teniendo en cuenta que el porcentaje de humedad en un queso es una variable de calidad con un rango establecido, éste no debería modificarse, por tanto, es necesario incrementar la cantidad de agua para compensar la disminución ocasionada por la adición de sal (2). Teniendo en cuenta la anterior relación es evidente la importancia que tiene cuantificar y controlar el proceso de salado independientemente de la técnica empleada. Para el salado por inmersión en salmuera y el salado en seco se han estudiado ecuaciones de cálculo, sin embargo para el salado en tina de cuajado no se conoce un método rápido que permita medir la transferencia de NaCl. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue desarrollar un método práctico y sencillo para cuantificar la cantidad de NaCl transferida al queso durante el proceso de salado, cuando éste se realiza en la tina de cuajado, en presencia de lactosuero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del proceso de salado en tina de cuajado

Para evaluar la transferencia de NaCl se plantearon fórmulas de balance de materia de acuerdo al proceso del salado en tina de cuajado como se puede apreciar en la figura 1. Una vez determinadas las ecuaciones y los factores requeridos para su cálculo se procedió a realizar los análisis fisicoquímicos respectivos.

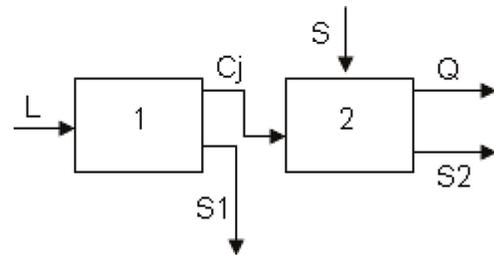


Figura 1: Proceso de salado en tina de cuajado

donde:

L = Cantidad de leche utilizada en el proceso, S1= cantidad de primer suero retirada después de hacer el corte, Cj = Mezcla de cuajada más suero, S = Cantidad de sal adicionada, Q = cantidad de queso salado con un fracción de sal SQ, S2 = cantidad del segundo suero con un fracción de sal S_{s2}.

Considerando tanto el balance global, como el balance por componentes, se puede calcular la cantidad de NaCl en el segundo suero (S_{s2}), mediante la Ecuación 1:

$$S_{s2} = \frac{\%S_{s2} * (L + S - (S1 + Q))}{100 * \rho S2} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde: %S_{s2} = porcentaje de sal en S2, ρS2 = densidad del segundo suero (S2)

El porcentaje de sal en queso se puede estimar mediante la Ecuación 2:

$$\%SQ = \frac{S - S_{s2}}{Q} * 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

Determinación del contenido de sal en lactosuero y queso

El método propuesto para determinar la transferencia de sal, cuando se aplica salado en tina de cuajado, se basó en la medición de los cambios

de densidad producidos por la sal en el suero y, posteriormente, utilizando balances de materia, se desarrolló una ecuación que permitiera estimar el contenido final de sal en el queso. La variación en la densidad se evaluó en muestras de 250 mL de lactosuero a las que se adicionaron cantidades crecientes de sal, en un rango de 0 a 12 g (0 – 4,8% p/v) y se midió la densidad a temperatura constante de 18 °C, utilizando un densímetro marca Brand con escala de 1,0 – 1,5 y precisión de 0,01 g/mL. En total se evaluaron 12 concentraciones de sal y todos los ensayos se hicieron por triplicado.

Validación del método

La transferencia de sal al suero y al queso estimada con el método propuesto se validó en condiciones reales de producción de una industria láctea local (Pasto, Colombia), con tres tipos de quesos frescos (Q1, Q2 y Q3), en los cuales se aplica salado en tina, comparando los resultados con los obtenidos por determinación del contenido de sal por un método estándar (método de Mohr).

Análisis Estadístico

Los resultados fueron analizados mediante regresión simple usando el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI (Statpoint Technologies, Warrenton, USA).

RESULTADOS

La Figura 2 muestra la relación entre la concentración de sal en el lactosuero y su densidad. Se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,997. La

ecuación del modelo ajustado que permite estimar la concentración de sal en el segundo lactosuero con base en su densidad es: %S_{S2} = -247,5 + 241,3*ρS₂.

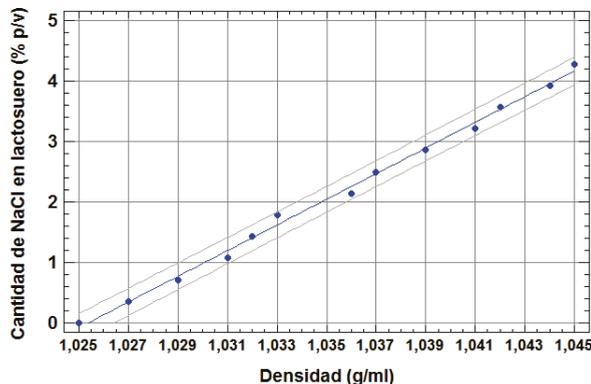


Figura 2. Variación de la densidad del lactosuero en función de la concentración de NaCl

Al comparar los resultados de la determinación del contenido de sal en el suero por variación de su densidad, con los obtenidos mediante el método de Mohr, se encontró que el error experimental promedio fue de 3,93% +/- 3,28%.

La concentración de sal en el suero tiene relación directa con la transferencia de sal al queso, lo que permite que, controlando la densidad del segundo lactosuero, se pueda obtener un queso con un contenido de sal establecido. La Ecuación 3, que se derivada de las anteriores, y en la cual se incluye la ecuación de la recta de ajuste de la concentración de sal en el segundo lactosuero con base en la densidad del mismo, permite estimar el contenido final de sal en el queso.

$$\%SQ = \frac{(100 * \rho S_2 * S) - (-247.5 + 241.3\rho S_2) * (L + S - (S_1 + Q))}{Q * 100 * \rho S_2}$$

Ecuación 3

Los resultados de la validación del método, tras evaluar el contenido final de sal en 3 tipos de queso, producidos por una industria láctea, en los cuales se aplica salado en tina de cuajado, se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Validación del método para la estimación del contenido de sal en queso con base en la densidad del segundo lactosuero.

Tipo de queso	%SQ estimada	%SQ medida método Mohr	% error	% pérdida sal en suero
Q1	2,1	2,18	3,6	67
Q2	2,6	2,49	4,4	76
Q3	1,2	1,25	4,0	80

DISCUSION

El método propuesto para medir la transferencia de sal en función de los cambios de densidad en el lactosuero no presentó diferencias significativas con el método estándar de titulación argentométrica (método de Mohr), pero solamente es válido para los rangos experimentales evaluados en este trabajo, ya que a concentraciones mayores de NaCl se podría alcanzar el punto de saturación, precipitando sal y no existiendo así variaciones de densidad proporcionales a la cantidad de sal presente en la muestra.

En la Tabla 1 se observa que los valores estimados del contenido de sal para los 3 tipos de queso en los cuales se validó el método fueron bastante aproximados a los encontrados con la técnica estándar de Mohr, por lo que la aplicación del método a nivel práctico resulta razonable. Los porcentajes de pérdida de sal en suero muestran que en los tres tipos de queso se pierde en el suero entre 67 y 80% del total de la sal adicionada, lo que representa un sobre costo para la empresa. Las diferencias en los porcentajes de pérdida se deben a variaciones en los volúmenes del primer lactosuero retirado, lo que se lleva a cabo de acuerdo con el contenido de humedad final deseado en el queso y considerando el volumen de suero a eliminar durante el tiempo de cocción de la cuajada.

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran que el método propuesto para estimar el contenido final de sal en el queso y la cantidad de sal que se pierde en el suero, resulta adecuado para ser utilizado en aquellas plantas de proceso en las cuales se emplea el método de salado en tina quesera. Las ventajas

del método son su sencillez, bajo costo y rapidez de ejecución, ya que solo se requiere de un densímetro y de la elaboración de una recta de calibración.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al programa jóvenes Investigadores del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación COLCIENCIAS y a la Vicerrectoría de Investigaciones, Postgrados y Relaciones Internacionales de la Universidad de Nariño por el apoyo brindado al trabajo de investigación.

REFERENCIAS

1. Abd El-Gawad M A M, Ahmed N S. Cheese yield as affected by some parameters review. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* 2011; 10(2): 131-153.
2. Gupta V, Reuter H. Processed cheese foods with added whey protein concentrates. *Lait.* 2005; 2:201-212.
3. Johnson M, Olson N. Comparison of available methods for determining salt levels in cheese. *Journal of Dairy Science.* 2005; 68(4): 297-299.
4. Rao R, Wendorff L. Compositional differences between whey, salty whey, and press whey from commercial manufacture of Cheddar cheese. *J. Dairy Sci.* 2006; 86: 655-657.
5. Eckner K, Dustman A, Rys A. Contribution of composition, physicochemical characteristics and polyphosphates to the microbial safety of pasteurized cheese spreads. *Journal of Food Protection.* 2004;57:295-300.
6. Erkmén, O. Survival of *Listeria monocytogenes* during the manufacture and ripening of Turkish white cheese. *Die Nahrung.* 2001; 45: 55-58.
7. Geankoplis C. *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias.* Compañía Editorial Continental. 1999.
8. Ponce L, De Leon Gonzalez W, Wendorff B, Ingham J. Influence of salting procedure on the composition of muenster-type cheese. *Journal of Dairy Science.* 2000;83: 456-458.
9. McCarthy CM, Wilkinson MG, Kelly PM, Guinee T P. Effect of salt and fat reduction on the composition, lactose metabolism, water activity and microbiology of Cheddar cheese. *Dairy Sci. & Technol.* 2015;95:587-611.

AUMENTO DEL RENDIMIENTO EN QUESO FRESCO CAMPESIÑO MEDIANTE INCORPORACIÓN DE PROTEÍNAS SÉRICAS HÚMEDAS

YIELD INCREASE IN FARMER FRESH CHEESE THROUGH INCORPORATION OF WET WHEY PROTEINS

Rigoberto ROSERO B. Esp.^{1*}, Oscar ARANGO BEDOYA PhD.¹, Diego MEJIA ESPAÑA MSc.¹,
Oswaldo OSORIO MORA PhD.¹

RESUMEN

Antecedentes: la adición de proteínas del suero a la leche puede mejorar el rendimiento y las propiedades nutricionales del queso. **Objetivo:** evaluar un proceso alternativo para incrementar el rendimiento de queso fresco campesino mediante incorporación de proteínas séricas húmedas a la leche. **Métodos:** se recuperaron proteínas de lactosuero mediante desnaturalización térmica a diferentes tiempos y posterior precipitación por disminución del pH. Se evaluó la variación en rendimiento quesero tras la incorporación a la leche de diferentes niveles (0, 2,9, 5,7 y 8,6%) de proteínas de suero húmedas. **Resultados:** la adición de 8,9% de proteína sérica húmeda a la leche produjo un aumento de aproximadamente 13% en el rendimiento quesero, con relación al tratamiento control sin adición de proteína. **Conclusión:** el proceso propuesto podría ser una alternativa para el aprovechamiento del suero y la mejora en el rendimiento de producción de quesos frescos a nivel de pequeñas empresas.

Palabras clave: Proteínas séricas, retención, rendimiento quesero

ABSTRACT

Background: the addition of whey proteins to the milk can improve the yield and the nutritional properties of the cheese. **Objectives:** to evaluate an alternative process for increasing the yield in farmer fresh cheese through the incorporation of humid whey proteins to the milk. **Methods:** whey proteins were obtained by heat denaturation at different times and then were precipitated by de-

creasing the pH. The variation in cheese yield was evaluated after the addition of wet whey proteins to the milk at different levels (0, 2.9, 5.7 and 8.6%). **Results:** the addition of 8.9% of wet whey protein to the milk produced an increase of about 13% in the cheese yield, compared to the control without protein addition. **Conclusions:** the proposed process could be an alternative for take advantage of whey and improving fresh cheese yield in small industries.

Keywords: Whey protein, retention, cheese yield

INTRODUCCIÓN

En la elaboración de quesos uno de los factores más importantes como parámetro de control es el rendimiento quesero, puesto que determina la rentabilidad económica y por tanto la sostenibilidad de la empresa (1). El rendimiento está influenciado por varios factores entre ellos el nivel de transferencia de sólidos desde la leche al queso, cuanto mayor sea dicha transferencia el rendimiento se incrementara, debido a un aumento en la recuperación de proteína, grasa, lactosa o minerales (2).

La pasteurización de la leche se utiliza comúnmente para reducir al mínimo riesgos microbiológicos, pero los tratamientos térmicos a temperaturas superiores a las de la pasteurización se utilizan para aumentar el rendimiento por un aumento de la precipitación de proteínas de suero que se incorporan a la matriz de caseína debido a la formación de complejos β -lactoglobulina-caseína micelar (3). El enriquecimiento de leche de quesería con proteínas séricas desnaturalizadas es una técnica que ha sido

¹ Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

* Autor de correspondencia: rigorosero20@gmail.com

utilizada por numerosas empresas, con el objetivo de aumentar el rendimiento quesero y revalorizar las proteínas del suero, que representan cerca del 20% del total de las proteínas de la leche (4). Otras ventajas de la incorporación de proteínas séricas al queso son el incremento de las propiedades funcionales y del valor nutricional (5-7). Al disminuir la cantidad de componentes sólidos en el suero, también se ha podido evidenciar que su carga contaminante se reduce (8).

En varios estudios se ha evaluado el efecto de retención de proteínas séricas para incrementar el rendimiento, las cuales han sido obtenidas por ultrafiltración o desnaturalización térmica, pero los experimentos ha sido desarrollados principalmente en quesos madurados o semimadurados como Holandés, Gouda y Cheddar (9). Abrahamsen (10) observó aumentos en el rendimiento entre 1 y 17% usando concentrados de proteínas de suero desnaturalizadas a 81 y 95 °C y con niveles de incorporación de 2,5 a 10%.

La producción de concentrados y aislados de proteínas del suero se asocia usualmente a plantas de producción a gran escala, pero por razones económicas, la pequeña industria láctea no puede aplicar las mismas estrategias, lo que resulta en problemas para la reutilización y disposición final del suero (11). El objetivo de este estudio fue evaluar una metodología simple de recuperación e incorporación de proteínas séricas para aumentar el rendimiento en la producción de un queso fresco tipo campesino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de proteínas del suero

Se obtuvieron por desnaturalización térmica a 90°C durante 5, 10 y 15 min, tras lo cual se precipitaron usando una solución de ácido cítrico, hasta alcanzar un pH de 4,7. Las proteínas precipitadas se separaron por filtración y se determinó su contenido de humedad por gravimetría de acuerdo a NTC 4979 (12). Todos los ensayos se realizaron por triplicado y de forma aleatoria.

Elaboración del queso fresco

El queso fresco campesino fue elaborado a partir de leche cruda provista por la finca Bella Suiza, ubicada en zona rural de la ciudad de Pasto (Colombia). La composición de la leche se analizó usando un equipo Ekomilk (modelo Milkana Kam - 98 2^a).

La leche se calentó hasta 75 °C en marmita abierta, se enfrió hasta 32°C y se adicionó la proteína sérica en concentraciones de 0, 2,9, 5,7 y 8,6%. Se añadió cuajo líquido y se dejó coagular durante 25 min. Posteriormente se hizo el corte de la cuajada y se retiró aproximadamente 50% de lactosuero, se incrementó la temperatura hasta 38 °C y se agitó para realizar secado del grano durante 15 minutos. Una vez alcanzada la textura deseada (por determinación sensorial), se retiró el suero adicional liberado y la cuajada se sometió a molienda, salado y moldeo. El queso obtenido se almacenó a 2 °C y se tomaron muestras para análisis de contenido de sal (método de Mohr) y de humedad.

Determinación de retención de proteína y rendimiento quesero

Retención de proteína: la retención de proteína sérica fue calculada indirectamente por los cambios en el rendimiento quesero y la recuperación de sólidos totales en comparación al tratamiento testigo donde no se agregó proteína sérica.

Recuperación de sólidos totales: se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\%RST = \frac{\%STQ \times kgQ}{\%STL \times V_l} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde: %STQ = % de sólidos totales en el queso; %STL = % de sólidos totales en la leche; kgQ = kg de queso; V_l = volumen de leche.

Rendimiento quesero: se expresó como el volumen de leche necesario para producir un kg de queso $RQ = L/kg$.

Análisis estadístico

Los ensayos de retención de proteína sérica en queso se realizaron por triplicado y de forma completamente aleatoria. Los datos se analizaron mediante regresión simple usando el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI (Statpoint Technologies, Warrenton, USA).

RESULTADOS

El análisis de composición de la leche mostró que no hubo diferencias significativas en los contenidos de proteína (3,1 +/- 0,7%) y de grasa (3,2 +/- 0,8%) entre las muestras de leche utilizadas en los diferentes ensayos.

Obtención de proteína sérica húmeda.

En la figura 1 se observa el porcentaje de proteína sérica húmeda (g de proteína/100 ml de suero) obtenida por calentamiento del lactosuero a 90 °C durante 5, 10 y 15 min. El contenido promedio de humedad en la proteína recuperada fue de 80% +/- 3%.

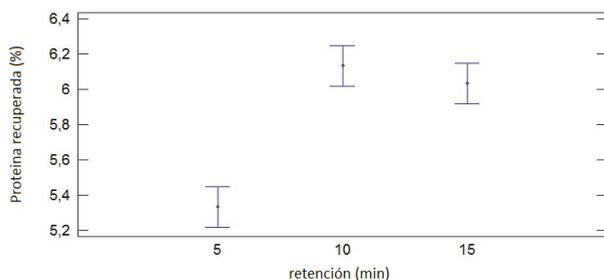


Figura 1. Recuperación de proteína sérica húmeda a diferentes tiempos de tratamiento térmico a 90 °C.

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,005$) entre los tiempos de tratamiento de 5 y 10, 15 min, lográndose el mayor porcentaje de recuperación (6,1 g proteína húmeda/100 mL suero) a los 10 min de tratamiento térmico.

Incorporación de proteína sérica húmeda en la leche de quesería.

Recuperación de sólidos totales. El análisis de varianza mostró que hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) en el porcentaje de sólidos totales retenidos en el queso debidas a la incorporación de proteína sérica húmeda a la leche, tal como se observa en el Figura 2.

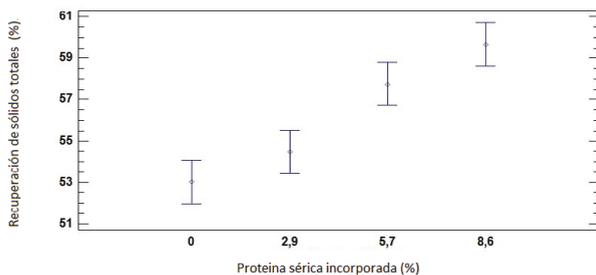


Figura 2. Recuperación de sólidos totales de la leche en el queso según porcentaje de proteína sérica húmeda adicionada a la leche.

Rendimiento quesero. La cantidad de leche requerida para producir un kg de queso disminuyó significativamente ($p < 0,05$) al aumentar la cantidad de proteína sérica húmeda adicionada a la leche, como se evidencia en la Figura 3.

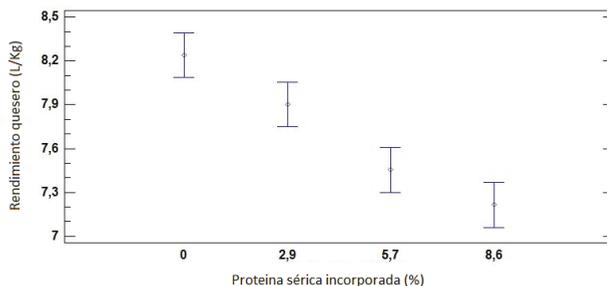


Figura 3. Rendimiento quesero (L/Kg) según porcentaje de proteína sérica húmeda adicionada a la leche.

DISCUSIÓN

En los ensayos de recuperación de proteína del suero por desnaturalización térmica se encontró que el tratamiento en el que se obtuvo mayor recuperación fue 90 °C por 10 min y aunque no se observaron diferencias significativas con el tratamiento a 15 min, la cantidad de proteína recuperada a ese tiempo fue menor. Durante la desnaturalización térmica las proteínas cambian su estructura terciaria quedando expuestos los grupos -S-S- lo cual permite la formación de puentes covalentes y la formación de estructuras coloidales (13). Los resultados indican que a 10 minutos esta reacción ha ocurrido y a tiempos superiores la estructura coloidal en forma de colchón que se forma por la agrupación de proteínas comienza a destruirse por el movimiento de convección que se genera al calentar la mezcla cuajada - suero para incrementar la sinéresis (cocción), esto puede ocasionar la solubilización de los agregados de proteínas séricas, lo que disminuye su recuperación (14).

Los rendimientos queseros obtenidos (7,2 a 8,3 L/kg) se encuentran dentro del promedio normal para quesos frescos en la industria local, que oscila entre un consumo de leche de 5 a 11 L/kg de queso producido (15). La adición de 8,9% de proteína sérica húmeda a la leche produjo un aumento de aproximadamente 13% en el rendimiento quesero, con relación al tratamiento control sin adición de proteína, lo que se asemeja a los resultados obtenidos por Abrahamsen (10).

En la Figura 3 se evidencia que al aumentar la adición de proteína sérica de 5,7 a 8,6%, el incremento en el rendimiento no fue significativo, lo que posiblemente se debe a que la matriz de caseína no puede retener la totalidad de proteína sérica añadida. En estudios posteriores debería evaluarse el efecto de la homogenización de la proteína sérica sobre la retención en el queso.

CONCLUSIONES

El proceso propuesto podría ser una alternativa viable para el aprovechamiento de las proteínas del suero y la mejora en el rendimiento de producción de quesos frescos a nivel de pequeñas empresas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al programa jóvenes Investigadores del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación COLCIENCIAS y a la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de Nariño por el apoyo brindado al trabajo de investigación.

REFERENCIAS

1. ICONTEC. Norma técnica Colombiana No 4979 Leche y productos lácteos. determinación del contenido de sólidos totales en leche, crema de leche, leche evaporada, leche condensada azucarada, arequipe, dulce de leche, helados y queso. 2001.
2. Ha E, Zemel MB. Functional properties of whey, whey components, and essential amino acids: mechanisms underlying health benefits for active people (review). *Journal of Nutritional Biochemistry*. 2003; 14: 251-258.
3. Outinen M, Heino A, Uusi J. Pre-treatment methods of Edam cheese milk. Effect on the whey composition. *LWT - Food Science and Technology*. 2010; 43(4): 647-654.
4. Jorge, C., Lobete, N., Pereira, C. Adição de proteínas de soro desnatadas no fabrico de queijo. *Leite I+D+T*, 2006; 0(0), 1-7, 16.
5. Rodriguez J, Requena T, Fontecha J, Goude H. Effect of different membrane separation technologies (ultrafiltration and microfiltration) on texture and microstructure of semihard low-fat cheeses. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 1999; 47:558-565.
6. Romeih E, Michaelidou A, Biliaderis C, Zerfiridis G. Low-fat white-brined cheese made from bovine milk and two commercial fat mimetics: chemical, physical and sensory attributes. *International Dairy Journal*. 2002; 12:525-540
7. Schkoda P, Kessler H. Revolutionary new process for the manufacture of fresh cheese. *European Dairy Magazine*. 1997; 8(2): 26-28.
8. Jameson G, Lelievre J. Effects of whey proteins on cheese characteristics. *International Dairy Federation Bulletin*. 1996; 313:3-12.
9. Kosikowski F. The Making of Ricotta Cheese. Trabajo presentado en el 4th Annual Marschall Invitational Italian Cheese Seminar, Madison, WI, EUA. 2003.
10. Abrahamsen, R.K. Cheese making from milk fortified with ultrafiltrated whey protein concentrate. *Milchwissenschaft*. 1979;34(2):1-4.
11. Henriques, M., Gomes, D., Pereira, C., Gil, M. Effects of Liquid Whey Protein Concentrate on Functional and Sensorial Properties of Set Yogurts and Fresh Cheese. *Food Bioprocess Technol*. 2013;6: 952-963.
12. Icontec. Norma técnica Colombiana No 4979 Leche y productos lácteos. determinación del contenido de sólidos totales en leche, crema de leche, leche evaporada, leche condensada azucarada, arequipe, dulce de leche, helados y queso. 2001.
13. Hernández R, Vélez J, Suero de leche y su aplicación en elaboración de alimentos funcionales. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*. 2014;8(2):13-22.
14. Cayot P, Lorient D. "Structure-Function Relationships of Whey Proteins". Chapter 8. In Damodaran, S. y A. Paraf (Ed.): *Food proteins and their applications*. Marcel Dekker, Inc., New York, NY, EU. 1997.
15. Rosero R. Evaluación de la eficiencia y rendimiento de 8 líneas de producción de queso, mediante el diseño de un sistema de monitoreo basado en la recuperación de componentes, para la empresa Colácteos Ltda. Tesis de pregrado. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. Colombia. 2011.

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS VARIABLES DE PROCESO EN LA CALIDAD DEL MELÓN (*CUCUMIS MELO*) EN ALMÍBAR

EVALUATION OF THE EFFECT OF PROCESS VARIABLES ON THE QUALITY OF MELON (*CUCUMIS MELO*) IN SYRUP

Elvis J. HERNÁNDEZ^{1*}, Fernando A. MENDOZA-CORVIS², Roberto C. RAMÍREZ³

RESUMEN

Antecedentes: El melón (*Cucumis melo*) variedad Cataloupe es una fruta tropical con gran contenido de vitaminas y la de mayor aporte de β -caroteno o provitamina A, cuya comercialización en Colombia se da principalmente en fresco, lo que dificulta su conservación. **Objetivos:** Determinar el efecto de la concentración de sacarosa, relación fruta almíbar y tiempo de almacenamiento en las variables de calidad del melón en almíbar (Concentración de vitamina C, pH y textura) y selección mediante valoración sensorial del mejor tratamiento. **Métodos:** El experimento se llevó a cabo mediante un diseño central compuesto, empleando cinco niveles de sacarosa (26%, 30%, 34%, 38%, 42%), relación Fruta: Almíbar (60:40, 65:35, 70:30, 75:25, 80:20) y tiempo de conservación (30 días), midiendo como parámetros de calidad el contenido de vitamina C (AOAC 976.22/00), pH (AOAC 981.12/02)) y dureza (texturómetro Stable Micro Systems). Además se llevó a cabo una valoración sensorial mediante una prueba de satisfacción. **Resultados:** La más alta concentración de vitamina C ($53,3 \pm 0,76$ mg/100 g) se presentó cerca de los puntos centrales de los tratamiento realizados (sacarosa de 34% y relación Fruta: Almíbar 70:30), sin embargo al final del proceso (30 días) dicho contenido disminuyó a $38,33$ mg/100 g, estando un 36,95% por encima del contenido de la fruta fresca a causa de la adición de ácido ascórbico al almíbar. El análisis sensorial indicó que el tratamiento con mayor grado de satisfacción al término de los 30 días de almacenamiento correspondió al elaborado con 38% de sacarosa, empleando una relación fruta:

Almíbar 75:25, el cual presentó un aumento del 71,52% en el contenido de carbohidratos debido a la transferencia de masa hacia el interior de la fruta. **Conclusión:** La concentración de vitamina C en el melón durante el proceso de conservación de este en almíbar se vio favorecida por la adición de ácido ascórbico al líquido de cobertura.

Palabras clave: Melón (*Cucumis melo*), vitamina C, Dureza.

ABSTRACT

Background: The melon (*Cucumis melo*) Cantaloupe variety is a tropical fruit with high vitamin content and higher intake of β -carotene or provitamin A, whose marketing in Colombia is mainly fresh, hampering conservation. **Objectives:** To determine the effect of the concentration of sucrose, fruit syrup ratio and storage time on quality variables melon syrup (vitamin C concentration, pH and texture) sensory evaluation and selection by the best treatment. **Methods:** The experiment was performed using a central composite design, using five levels of sucrose (26%, 30%, 34%, 38%, 42%) Fruit relationship: Syrup (60:40, 65:35, 70:30, 75:25, 80:20) and shelf (30 days), as quality parameters measuring the content of vitamin C (AOAC 976.22/00), pH (AOAC 981.12/02)) and hardness (texture analyzer Stable micro Systems). Also it conducted a sensory evaluation by a proof of satisfaction. **Results:** The highest concentration of vitamin C ($53,3 \pm 0,76$ mg/ 100 g) is introduced near the center points of the treatment carried out (34% sucrose and fruit ratio: Syrup 70:30), however the end of the process (30 days) such content

¹ PhD Ciencia y Tecnología de Alimentos. Docente Universidad de Sucre. Sincelejo – Colombia.

² MSc Ciencias Agroalimentarias. Docente U. de Córdoba – U. Sucre. F. de Ingeniería. Montería.

³ P. Ingeniería Agroindustrial. U. de Sucre. Facultad de Ingeniería. Sincelejo – Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: elvisjudith0202@hotmail.com

decreased to 38,33 mg/100 g, an 36,95% above the content of the fresh fruit being due to the addition of ascorbic acid syrup. The sensorial analysis showed that treatment with higher degree of satisfaction at the end of the 30 days of storage corresponded to elaborated with 38% sucrose, using a fruit ratio: 75:25 Syrup, which showed an increase of 71.52% in the carbohydrate content due to mass transfer into the fruit. **Conclusions:** The concentration of vitamin C in the melon during conservation of this syrup was boosted by the addition of ascorbic acid liquid medium.

Keywords: melon (*Cucumis melo*), vitamin C, hardness.

INTRODUCCIÓN

El melón Cantaloupe (*Cucumis melo* L) es una fruta que tiene mucha importancia comercial a nivel mundial, tanto en el mercado en fresco como para el sector agroindustrial. La disponibilidad de productos de melón en todas las épocas del año ha resultado de mucho interés para los consumidores debido al delicioso sabor y calidad apreciada de la fruta (1; 2). La pulpa es una rica fuente de vitaminas A y C, hidratos de carbono, azúcares, proteínas, trazas de vitamina K, B1, B2, B6 y niacina, es considerada como la fruta con mayor aporte de β -caroteno o provitamina A, constituyéndose en una buena fuente de antioxidantes (3; 4).

La conservación de frutas en almíbar se basa en el fenómeno natural de osmosis, se da la reducción del agua disponible por la adición de azúcar y se hace posible la incorporación de componentes fisiológicamente activos, preservativos y saborizantes, para mejorar la calidad nutricional y sensorial del producto (5). Este método permite la remoción de agua y la formulación directa del producto sin dañar su integridad estructural, dado que el agua se elimina de la fruta sin cambio de fase, contribuyendo a la preservación de la calidad adecuada del material que se está procesando (6). Dado que para la conservación de melón en almíbar no hay estudios que establezcan las mejores condiciones de proceso en su elaboración, la presente investigación buscó evaluar el efecto de algunas variables relevantes como la concentración de sacarosa, relación fruta/almíbar y tiempo mantenido en conservación en las propiedades de calidad del melón Cantaloupe en almíbar, que permitan

identificar las condiciones con las cuales se obtiene un producto de excelente calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Procedimiento y diseño experimental

El melón Cantaloupe (*Cucumis melo* L) se adquirió en el mercado público de Sincelejo – Sucre (Colombia). Las conservas en almíbar se elaboraron acorde a la metodología descrita por Camacho (7), empleando concentraciones de sacarosa entre 26 y 42% (p/p) y una relación fruta: almíbar entre 60:40 y 80:20, determinando el contenido de vitamina C (AOAC 976.22/00) (8), pH (AOAC 981.12/02) (8) y Dureza (empleando un texturómetro Stable Micro Systems) como parámetros de calidad del producto. A los tratamientos se les adicionó 0,1% (p/p) de ácido cítrico y ácido ascórbico (500 mg/kg de almíbar) grado alimentario tomando como referencia el CODEX STAN 78 (9) y la Resolución 3929 de 2013 (10). Los melones en almíbar se almacenaron durante 30 días a condiciones ambientales ($25 \pm 2^\circ\text{C}$). El experimento se realizó completamente al azar empleando un diseño central compuesto con cinco niveles de concentración de sacarosa y cinco niveles de relación fruta: almíbar acorde a la tabla 1, para un total de 15 tratamientos con cinco repeticiones del punto central. Los resultados se analizaron mediante análisis de varianza con el software Design Expert 8.0.5.2. A las muestras de melón fresco se les determinó por triplicado humedad (AOAC 1984) (8), proteínas (AOAC 954.01/00) (8), grasa (AOAC 920.39/00) (8), cenizas (AOAC 942.05/02) (8), fibra (AOAC 991.43/00) (8), sólidos solubles (AOAC 932.12/02) (8), pH (AOAC 981.12/02) (8), acidez titulable (AOAC 942.15/02) (8), vitamina C (AOAC 976.22/00) (8) y carbohidratos (11).

Valoración sensorial de los tratamientos del Melón en almíbar

Se llevó a cabo mediante una prueba de satisfacción con una escala hedónica de 9 puntos empleando 60 catadores no entrenados con el fin de que valoraran el grado satisfacción de los tratamientos. Los resultados fueron tabulados y analizados aplicando la prueba de Friedman ($\alpha = 0,05$) con el software InfoStat.

Tabla 1. Tratamientos realizados del Melón en Almíbar.

Nº TTO	Jarabe Sacarosa (%)	Relación F:A	Tiempo (Días)	Nº TTO	Jarabe Sacarosa (%)	Relación F:A	Tiempo (Días)
1	34	70:30	16	9	30	75:25	23
2	34	80:20	16	10	30	65:35	9
3	26	70:30	16	11	42	70:30	16
4	34	70:30	16	12	34	60:40	16
5	34	70:30	16	13	34	70:30	16
6	34	70:30	30	14	38	65:35	23
7	34	70:30	16	15	38	75:25	9
8	34	70:30	2	-----	-----	-----	-----

Nº TTO: Numero del tratamiento. F: A porcentaje de la relación fruta – almíbar

RESULTADOS

Características fisicoquímicas al melón fresco

El melón fresco exhibió una humedad de 91,48%, un porcentaje de proteínas de 0,830%, grasa 0,28%, cenizas 0,750%, carbohidratos totales 6,66%, sólidos solubles de 10,716° Brix, pH de 6,51, acidez titulable 0,0831% y un contenido de vitamina C de 24,165 mg/100 g. El alto pH sumando al alto contenido de humedad hace que el melón sea muy susceptible al deterioro, además de reducir su vida útil.

Contenido de vitamina C

El análisis de varianza exhibió que para los datos experimentales el contenido de vitamina C en los tratamientos presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a la concentración de sacarosa (A), relación Fruta: Almíbar (B), tiempo de conservación (C), la interacción AB y los términos A^2 , B^2 y C^2 . En

la figura 1a) se observa que a elevadas concentraciones de sacarosa (38%) en el jarabe de conservación, el contenido de vitamina C en el melón fue mayor al emplear las más bajas relaciones de Fruta: Almíbar, lo cual se puede deber a un proceso de osmosis del ácido ascórbico hacia el tejido del melón, al ser superior su concentración en el jarabe de proceso. Se observa además que al emplear una relación Fruta: Almíbar de 75:25, el contenido de vitamina C también aumentó con el incremento en la concentración de sacarosa pero solo hasta concentraciones de alrededor del 34%, disminuyendo levemente al seguir aumentando la concentración de ésta. En la figura 1(b), donde similarmente se observa que a través del tiempo de almacenamiento el contenido de vitamina C aumentó en el melón hasta aproximadamente los 16 días de conservación para luego disminuir su concentración; esta pérdida de ácido ascórbico aumenta con el tiempo presumiblemente por la presencia de productos provenientes de la degradación del mismo.

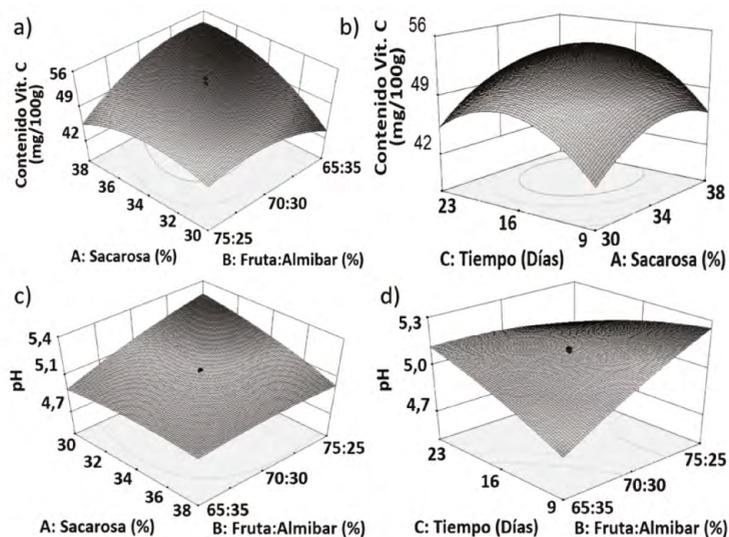


Figura 1. Comportamiento del contenido de vitamina C y el pH del melón en almíbar.

pH

El análisis de varianza exhibió diferencia significativa en el pH de los tratamientos con respecto a la concentración de sacarosa (A), la relación Fruta: Almíbar (B), tiempo de conservación (C), y las interacciones AB y BC. Como se observa en la figura 1c), el pH disminuyó conforme aumentaba la concentración de sacarosa (A) y disminuía la relación Fruta: Almíbar (B), lo cual puede estar relacionado con el carácter ácido de la sacarosa. Por otro lado, el incremento del pH con respecto al aumento de la relación Fruta: Almíbar y al tiempo de proceso, se pudo haber dado, inicialmente, debido al pH bajo propio de la fruta y a la mayor cantidad de esta, para luego debido al transcurrir del tiempo de contacto entre la fruta y el almíbar, se alcanza un equilibrio entre los componentes de estos, provocando el aumento del pH del melón en almíbar.

Dureza del melón en almíbar

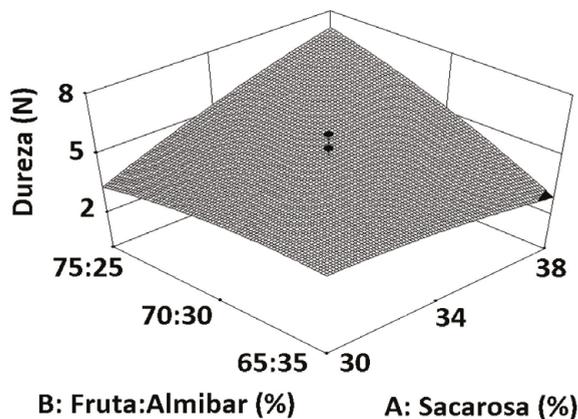


Figura 2. Comportamiento de la dureza en el melón en almíbar.

La textura del melón en almíbar presentó diferencia significativa con respecto a la concentración de sacarosa (A), la relación Fruta: Almíbar (B) y la interacción AB ($p < 0,05$). Los resultados evidencian que la firmeza del melón fresco fue mayor a la del melón en almíbar, lo que aparte del proceso osmótico, pudo haber sido causado por el escaldado previo al cual se sometió la fruta. La figura 2a) exhibe el aumento de la dureza del melón conservado en almíbar al incrementarse la concentración de sacarosa en el jarabe y la relación Fruta: Almíbar. Se observa además que la mayor firmeza del melón en almíbar (7 N) se da en el tratamiento realizado a una concentración de sacarosa del 38% y una relación Fruta: Almíbar de 75:25.

Valoración sensorial de los tratamientos del melón en almíbar

El test de Friedman indicó diferencias significativas ($p < 0,05$) en el grado de satisfacción del melón en almíbar. El tratamiento con 38% de sacarosa y una relación Fruta: Almíbar 75:25 presentó la media más alta y significativamente diferente a los demás, indicando que este es el de mayor agrado por arte de los panelistas, siendo además, el tratamiento con 30% de sacarosa y una relación 75:25 F:A fue el de menor satisfacción.

DISCUSIÓN

Contenido de vitamina C

La preservación del contenido de vitaminas de las frutas conservadas en almíbar es uno de los objetivos del proceso. Al respecto, Sapei y Hwa (12) reportaron una mayor conservación de la vitamina C en zumo de fresas frescas al adicionarle sacarosa, lo que concuerda con los resultados obtenidos y con el aumento de esta en el tratamiento con una relación 65:35 Fruta: Almíbar. Mauro et al. (13), señalaron que las manzanas osmodeshidratadas en soluciones de sacarosa con adición de ácido ascórbico, presentaron un incremento en el contenido de este, lo cual puede estar relacionado con el hecho que durante el proceso de osmodeshidratación ocurren los flujos principales de transferencia de masa y flujos inversos, en el que algunos solutos son transferidos desde la solución hacia los tejidos de la fruta. En relación con la disminución en la concentración de la vitamina C después de haber aumentado en el melón, pudo deberse a que con la exposición prolongada a almíbar de altas concentraciones, se aumentaría el contenido de solutos en la fruta, lo que produce una ligera disminución del pH en la misma, en ayuda a que la solución osmótica fue acidificada y según lo dicho por Zemke-White et al. (14) y Mauro et al. (13), un pH bajo puede aumentar la porosidad de la pared celular y aumentar la permeabilidad de las membranas debido a la acidificación, en conjunto con la presión osmótica, la cual alcanza un valor crítico resultado de un estrés osmótico, por lo que las membranas celulares tienden a romperse y encogerse, lo que a su vez da lugar a más poros en las células (15), facilitando la transferencia de masa entre la fruta y el medio osmótico, dado a que la estructura porosa del tejido favorece entonces la acción de mecanismos hidrodinámicos en los poros, perdiendo las membranas su funcionalidad (16).

pH

Con respecto a la disminución del pH en el melón en almíbar, Derossi et al. (17), indicaron que la deshidratación osmótica produce una ligera disminución del pH, cuyo comportamiento se debe probablemente al aumento de la concentración de iones de hidrogeno causada por la eliminación de agua, lo cual pudo haber desencadenado en el melón conservado en almíbar, una leve disminución del pH la cual se presentó al incrementar la concentración de la solución de sacarosa.

Dureza del melón en almíbar

La variación en la textura del melón durante la deshidratación, pudo haber sido originada por tensiones internas provocadas por variaciones localizadas en el contenido de agua. Estas tensiones dan lugar a roturas y compresiones que provocan distorsiones permanentes en las células, relativamente rígidas, confirmando al alimento un aspecto arrugado (18). De igual manera Díaz y Cancino (19) indicaron que el mayor cambio causado en las frutas durante la deshidratación es la pérdida de textura debido al rompimiento del material celular.

CONCLUSIONES

La más alta concentración de vitamina C ($53,3 \pm 0,76$ mg/100 g) se presentó cerca de los puntos centrales de los tratamiento realizados (sacarosa de 34% y relación Fruta: Almíbar 70:30), sin embargo al final del proceso (30 días) dicho contenido disminuyó a 38,33 mg/100 g, estando un 36,95% por encima del contenido de la fruta fresca a causa de la adición de ácido ascórbico al almíbar. El análisis sensorial indicó que el tratamiento con mayor grado de satisfacción al término de los 30 días de almacenamiento correspondió al elaborado con 38% de sacarosa, empleando una relación fruta: Almíbar 75:25.

REFERENCIAS

- Dussán S, Elesbão R, De Oliveira E. Agronegocio melón: Producción integrada de manejo en cosecha y poscosecha. *Rev. Fac. Nacional Agronomía*, 2009, 62(2): 69-74.
- Lo Scalzo R, Papadimitriou C, Bertolo G, Maestrelli A, Torregiani D. Influence of cultivar and osmotic dehydration time on

- aroma profiles of muskmelon (*Cucumis melo*, cv *reticulatus* Naud.) spheres. *Journal of Food Engineering*, 2001, 49: 261-264.
- Casas N. Evaluación del efecto de la aplicación de calcio en la estabilidad de melón (*Cucumis melo* L.) fresco precortado. [Tesis de maestría]. [Santafé de Bogotá, Colombia]. Universidad de La Sabana. 2011. 110p.
- Parveen S, Ali M A, Asghar M, Khan A R, Salam A. Physico-chemical changes in muskmelon (*Cucumis melo* L.) as affected by harvest maturity stage. *Journal of Agricultural Research*. 2012, 50(2): 122-131.
- Nunes M. Caracterización y procesado de kiwi y fresa cultivados por diferentes sistemas. [Tesis doctoral]. [Coruña, España]. Universidad Santiago de Compostela. 2007. 135p.
- Alzamora S M, Guerrero S N, Nieto A B, Vidales S L. Conservación de frutas y hortalizas mediante tecnologías combinadas. Madrid, España: FAO. 2014; 76p.
- Camacho Olarte, G. Procesamiento y conservación de frutas. Tema 7: Obtención de fruta deshidratada. [Internet]. Santafé de Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 2002. [Actualizado 2014, citado 23 de junio del 2015] Disponible en: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/206228/teoria/obfrudes/prese.htm>.
- AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 17th Ed. Nielsen. Nueva York, USA: AOAC. 2000; 150p.
- Codex Stand 78. Norma del Codex para coctel de frutas en conserva. [Internet]. New York, USA: FAO. 2016. [Actualizado 2016, citado 05 de enero del 2016] Disponible en: <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/standards/list-of-standards/es/?Provide=standards&orderField=fullReference&sort=asc&num1=CODEX>.
- Ministerio de Salud y Protección Social. Resolución 3929 Reglamento técnico que deben cumplir las frutas y sus derivados. Santafé de Bogotá, Colombia: Diario Oficial. 2013; 29 p.
- Morillas J M, Delgado J M. Análisis nutricional de alimentos vegetales con diferentes orígenes: Evaluación de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales. *Nutrición clínica y dietética hospitalaria*. 2002, 32(2): 8-20.
- Sapei L, Hwa L. Study on the Kinetics of Vitamin C Degradation in Fresh Strawberry Juices. *Procedia Chemistry*. 2014; 9:62-68.
- Mauro M A, Dellarosa N, Tylewicz U, Tappi S, Laghi L, Rocculi P, Dalla R M. Calcium and ascorbic acid affect cellular structure and water mobility in apple tissue during osmotic dehydration in sucrose solutions. *Food Chemistry*. 2015; 195:19-28.
- Zemke-White W L, Clements K D, Harris P J. Acid lysis of macroalgae by marine herbivorous fishes: Effects of acid pH on cell wall porosity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 2000; 245: 57-68.
- Rastogi N K, Raghavarao K S. Mass transfer during osmotic dehydration Determination of Moisture and Solute Diffusion Coefficients from Concentration Profiles. *Food and Bioproducts Processing*, 2004, 82(1): 44-48.
- Chiralt A, Talens P. Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues. *Journal of Food Engineering*. 2005; 67:167-177.
- Derossi A, Severini C, Del Mastro A, De Pilli T. Study and optimization of osmotic dehydration of cherry tomatoes in complex solution by response surface methodology and desirability approach. *LWT - Food Science and Tech.*, 2011, 60: 641-648.
- García N X. Estudio del efecto de concentraciones de sacarosa y temperaturas en el proceso de deshidratación osmótica de trozos de melón (*Cucumis melo* L.). [Tesis de pregrado]. [Manabí, Ecuador]. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. 2014; 205p.
- Diaz J, Cancino K. Estudio de la cinética de degradación térmica de textura y su aplicación en el tratamiento térmico de cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) en almíbar. *Revista INGENIERÍA UC*. 2007; 14(3):57-67.

ADICIÓN DE HARINA DE YUCA EN MASAS DE PANIFICACIÓN

ADDITION OF CASSAVA FLOUR IN MASS FOR BAKERY

Elvis J. HERNÁNDEZ¹, Luis E. RUIZ¹, Fernando A. MENDOZA-CORVIS²

RESUMEN

Antecedentes: En los últimos años el mercado de la panificación ha diversificado el uso de harinas de distintas materias primas. La investigación sobre el uso de la harina de yuca como alternativa de sustituto a la harina de trigo está ganando mucho interés debido a la importancia de este tubérculo en muchos países en desarrollo a nivel mundial. **Objetivo:** El objetivo de esta investigación fue evaluar la adición de harina de yuca tipo dulce variedad CM 3311 en masas de panificación, impulsando el uso industrial de esta variedad. **Métodos:** Se elaboraron masas con 4 diferentes proporciones de Harina de yuca/Harina de trigo representados en 12.5/87.5, 25/75, 37.5/62.5, 50/50; para cada relación se utilizaron tres tipos de harina de yuca (comercial, preparada en el laboratorio sin cáscara y preparada en el laboratorio con cáscara). Se utilizó también un control: masa elaborada con harina de trigo. Se analizó pH, aw y crecimiento de las masas. Por último se elaboraron panes con cada tratamiento para evaluar mediante análisis sensorial la preferencia del producto obtenido por parte del consumidor. **Resultados:** Los resultados obtenidos evidencian que con harina de esta variedad de yuca se pueden obtener masas con valores pH y aw similares a masas con harina de trigo. Para todos los niveles de sustitución, no se presentan diferencias significativas en estos valores (pH y aw) comparándolas con la masa control. En cuanto al crecimiento de las masas obtenidas, no existe diferencia significativa en la masa de 12.5% de sustitución con respecto al control, pero sí hubo diferencia significativa con el resto de las masas. Los panes obtenidos con masas de 12.5% sustitución tuvieron una mayor preferencia por parte de los consumidores. **Conclusión:** Se concluye que la

variedad estudiada es una materia prima potencial para la sustitución parcial (de 12.5%) de la harina de trigo en la elaboración de panes, impulsando la industrialización de esta materia prima.

Palabras clave: Yuca, masas de panificación, análisis sensorial.

ABSTRACT

Background: In recent years the market has diversified baking flour using different raw materials. Research on the use of cassava flour as substitute alternative to wheat flour is gaining much interest because of the importance of potatoes in many developing countries worldwide. **Objectives:** The aim of this research was to evaluate the addition of sweet cassava flour variety type CM 3311 in doughs, boosting the industrial use of this variety. **Methods:** masses were prepared with 4 different proportions of cassava flour / wheat flour represented in 12.5 / 87.5, 25/75, 37.5 / 62.5, 50/50; for each relationship three types of cassava flour (commercial, prepared in the laboratory peeled and prepared in the laboratory in shell) were used. Also used control: dough made with wheat flour. PH, aw and growth of the masses were analyzed. Finally, bread of each treatment were produced to be evaluated by sensory preference analysis of the product by the consumer. **Results:** The results show that flour with this variety of cassava can be obtained with pH values masses and masses similar to wheat flour aw. For all levels of substitution, no significant differences in these values (pH and aw) comparing to the control mass were presented. In terms of growth of the masses obtained, there were no significant difference in the mass of substitution 12.5% over the control, but there was significant

¹ Docente-Investigador, Programa de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de Sucre. Sincelejo, Colombia

² Docente - Investigador Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Córdoba. Sincelejo, Colombia.

* Autor quien se debe dirigir la correspondencia: elvis.hernandez@unisucra.edu.co

difference with the rest of the mass. The breads obtained with masses of 12%.5 substitution had a greater preference of consumers. **Conclusions:** It is concluded that the variety studied is a potential for partial replacement (12.5%) of wheat flour in making bread, promoting the industrialization of raw material feedstock.

Keywords: Cassava, doughs, sensory analysis.

INTRODUCCIÓN

La yuca es un tubérculo que tiene una importancia significativa, tanto en la generación de ingresos como en la seguridad alimentaria de un gran número de países a nivel mundial (1, 2). El consumo mundial de yuca como alimento (fresco o procesado) se concentra en los países en desarrollo. En África, el 70% de la producción de yuca se utiliza como alimento. En América Latina y el Caribe, el 35 - 40 % de la producción de yuca se utiliza para el consumo humano (3). A nivel nutricional es una fuente importante de hidratos de carbono, específicamente almidón, cuya cocción aumenta la digestibilidad de la yuca hasta en un 75%. (4, 5). En Puerto Rico se consume básicamente las variedades: P.I. 12902, Jamaica 18, Trinidad 14 - 56, Serrallés, C.M. 3064, C.M. 3311, Abuelo, Chilena. (6).

Los productos de panadería son parte de la canasta familiar de todos por su bajo costo y fácil disponibilidad. Además de esto desde algunos años su mercado se ha abierto con una amplia variedad de productos, que van desde los que aportan fibra al organismo permitiendo una mejor digestibilidad, hasta aquellos que sustituyen la harina de trigo por otras fuentes de carbohidratos que confieran atributos atractivos para los consumidores. La harina de yuca tiene un gran potencial como una alternativa más económica y sostenible a la harina de trigo en la producción de pan en toda América Latina (7,8).

En este trabajo se estudió la adición de harina de yuca tipo dulce variedad CM 3311 en masas para panificación con el fin de determinar el nivel máximo de sustitución que permita obtener panes de buena calidad y que permita diversificar el uso industrial de esta materia prima. En general, el consumo de yuca se hace en fresco, los estudios reflejan el interés por estudiar su uso en la industria de la panificación. Por lo tanto, hay una necesidad de más conocimiento sobre la calidad del pan hecho de harina compuesta que contenga yuca y si ésta

constituye una alternativa sostenible de sustitución a la harina de trigo en la producción de pan (9).

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de ingredientes

La yuca para elaboración de la harina es del tipo dulce variedad CM 3311 con 9 meses de haber sido plantada, fue provista por la Estación Experimental de Corozal de la Universidad de Puerto Rico. Los productos comerciales fueron obtenidos en la ciudad de Mayagüez. La harina de trigo y el gluten utilizado fue de marca Goya y la harina de yuca marca Lares.

Elaboración de la harina de yuca

Para la obtención de la harina, la yuca se lavó, se desinfectó, se cortó en pedazos de aproximadamente 2 mm de espesor y se secó en un horno convencional hasta obtener una humedad de aproximadamente 13 %. Una vez seca se procesó en un molino de disco "Glenmi modelo 91-1528 de 1.5 HP" y se tamizó en una tamizadora "CSM Scientific modelo Sive Shaker 18480" con un tamiz # 45 (10). En otro de los tratamientos se utiliza harina de yuca siguiendo el procedimiento descrito sin incluir el proceso de pelado.

Preparación harinas compuestas

Para la preparación de las harinas compuestas se tomaron como base las reportadas por Defloor *et al.*, 1991 (11). Se mezclaron diferentes proporciones de Harina de yuca/Harina de trigo representados en 12.5/87.5, 25/75, 37.5/62.5, 50/50; para cada relación se utilizaron tres tipos de harina de yuca (comercial, preparada en el laboratorio sin cáscara y preparada en el laboratorio con cáscara), para un total de 12 tratamientos. Se utilizó también un control: masa elaborada con harina de trigo. Todas las harinas fueron enriquecidas con 12% de gluten. Para la fabricación de cada una de las harinas compuestas, se utilizó una mezcladora "Kitchenaid modelo K5SS" hasta obtener una mezcla homogénea.

Análisis de las masas

Las masas crudas se evaluaron en base al pH, actividad de agua (Aw) y crecimiento. La determinación del pH se llevó a cabo usando un pHmetro "Orion 3 Star Thermo Scientific modelo 1212000". La actividad de agua se midió en un higrómetro

“Aqua LabCx-2®” y el crecimiento de las masas por método volumétrico. Las muestras para la medición de pH y aw se tomaron después del amasado y las de crecimiento de la masa después de la segunda fermentación. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

Elaboración de panes

Para evaluar la calidad de panificación de las masas se elaboraron panes tipo especial utilizando el método descrito por Pacheco y Testa (2005) [12]. La formulación utilizada fue: harina 100%, azúcar 12%, margarina 8%, levadura 6%, sal 2% y agua 50 a 55%.

Análisis sensorial

Los panes obtenidos fueron sometidos a un análisis sensorial utilizando 60 catadores no entrenados. Se llevó a cabo una prueba de ordenamiento simple donde el atributo a evaluar fue la preferencia. Se le asignó 1 a los panes de mayor preferencia y 5 a los de menor preferencia.

Diseño Experimental

Se utilizará un modelo factorial de 3x4, teniendo en cuenta dos variables: 1) la proporción HY/HT, con 4 niveles representados así, 12.5/87.5, 25/75, 37.5/62.5, 50/50; 2) la procedencia de la harina de yuca, con tres niveles: harina de yuca comercial, harina de yuca preparada en el laboratorio sin cáscara y la harina de yuca preparada en el laboratorio con cáscara. Se contará también con un control, el cual estará representado por 100% harina de trigo para hacer las respectivas comparaciones. Los resultados fueron analizados estadísticamente utilizando el análisis de varianza (ANOVA) mediante el programa estadístico Infostat V 3.0. Cuando los efectos resultan ser significativos ($p < 0.05$) se utilizó la prueba de Tukey para la comparación de las medias.

Para el análisis de los datos del panel sensorial se utilizó el método Friedman.

RESULTADOS

pH y actividad de agua de las masas (a_w)

La Tabla 2 muestra los valores de pH y a_w para cada una de las masas tratadas.

Tabla 2. Resultados de pH y A_w para cada una de las masas

Tratamiento		pH	A_w
Fuente	% Yuca		
Control	0.0	5.28 ^a	0.84 ^a
HY Comercial	12.5	5.20 ^a	0.83 ^a
HY Comercial	25.0	5.24 ^a	0.83 ^a
HY Comercial	37.5	5.23 ^a	0.83 ^a
HY Comercial	50.0	5.28 ^a	0.83 ^a
HY sin cáscara	12.5	4.97 ^a	0.83 ^a
HY sin cáscara	25.0	5.28 ^a	0.84 ^a
HY sin cáscara	37.5	5.34 ^a	0.84 ^a
HY sin cáscara	50.0	5.32 ^a	0.84 ^a
HY con cáscara	12.5	5.23 ^a	0.85 ^a
HY con cáscara	25.0	5.06 ^a	0.84 ^a
HY con cáscara	37.5	5.33 ^a	0.84 ^a
HY con cáscara	50.0	5.32 ^a	0.84 ^a

Valores con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Crecimiento de las masas

En la figura 1 se muestra el crecimiento de la masa utilizando los distintos niveles de sustitución de harina de yuca. a) 12.5%, b) 25%, c) 37.5% y d) 50%.

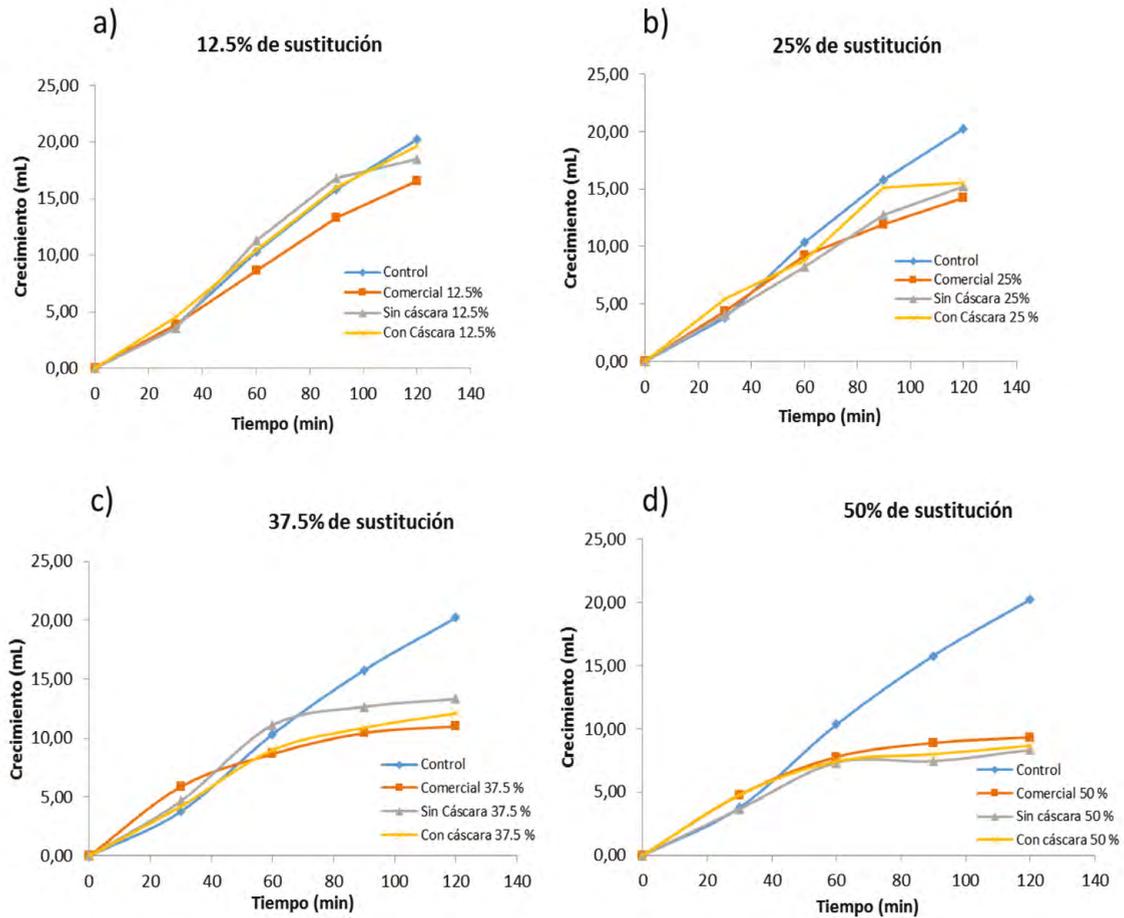


Figura 1. Crecimiento de la masa utilizando los distintos niveles de sustitución de harina de yuca. a) 12.5%, b) 25%, c) 37.5% y d) 50%.

La Tabla 2 muestra el análisis de varianza de los valores del crecimiento de la masa en los tiempos de 30, 60, 90 y 120 minutos.

Tabla 2. Resultado de crecimiento de la masa (mL)

Tratamiento		C30	C60	C90	C120
Fuente	% Yuca				
Control	0.0	3.78 ^{ab}	10.33 ^{ab}	15.78 ^{ab}	20.22 ^a
HY Comercial	12.5	3.89 ^{ab}	8.66 ^{abc}	13.33 ^{bcd}	16.56 ^{bc}
HY Comercial	25.0	4.33 ^{ab}	9.22 ^{abc}	11.89 ^{cd}	14.22 ^{cde}
HY Comercial	37.5	5.89 ^a	8.67 ^{abc}	10.44 ^{def}	11.00 ^{fg}
HY Comercial	50.0	5.11 ^{ab}	7.78 ^{bc}	8.89 ^{efg}	9.44 ^{gh}
HY sin cáscara	12.5	3.56 ^b	11.33 ^a	16.78 ^a	18.44 ^{ab}
HY sin cáscara	25.0	4.00 ^{ab}	8.22 ^{bc}	12.78 ^{cd}	15.22 ^{cd}
HY sin cáscara	37.5	4.67 ^{ab}	11.11 ^a	12.67 ^{cd}	13.33 ^{def}
HY sin cáscara	50.0	3.67 ^{ab}	7.33 ^c	7.44 ^e	8.33 ^h
HY con cáscara	12.5	4.56 ^{ab}	10.44 ^{ab}	16.00 ^{ab}	19.67 ^a
HY con cáscara	25.0	5.44 ^{ab}	8.78 ^{abc}	14.56 ^{abc}	15.56 ^{cd}
HY con cáscara	37.5	4.22 ^{ab}	9.00 ^{abc}	10.89 ^{de}	12.11 ^{ef}
HY con cáscara	50.0	4.78 ^{ab}	7.44 ^c	7.88 ^{fg}	8.78 ^{gh}

Valores con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

C30= Crecimiento en mL a los 30 min C90= Crecimiento en mL a los 90 min

C60= Crecimiento en mL a los 60 min C120= Crecimiento en mL a los 120 min

Análisis sensorial de los panes

La tabla 3 muestra los resultados del análisis sensorial de los panes elaborados, tanto el control como los elaborados con las diferentes harinas compuestas.

Tabla 3. Análisis sensorial de panes

Tratamiento		Valoración
Fuente	% Yuca	
Control	0.0	79 ^a
HY comercial	25.0	124 ^b
HY sin cáscara	12.5	110 ^{ab}
HY sin cáscara	25.0	123 ^b
HY sin cáscara	37.5	163 ^c

Valores con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

DISCUSIÓN

pH y actividad de agua de las masas (a_w)

Al realizar el análisis de varianza para el pH y la a_w , se puede apreciar que no existen diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre el control y ninguno de los tratamientos propuestos. Se puede inferir, que tanto la fuente de la harina de yuca, como el nivel de sustitución para la elaboración de masas con fines panarios no afectan el pH y la a_w de las masas. Estudios previos han demostrado que sustituir harina de trigo por harina de yuca no afecta significativamente el pH, y este se mantiene alrededor de 5.30 (12). Según Calaveras, 2004⁽¹³⁾, la capacidad del gluten para formar la red esponjosa está influida por el pH de la masa, y el pH óptimo para la panificación está entre 5.0 y 5.4 a temperaturas de 28 a 30 °C. Los valores de a_w no concuerdan con los datos obtenidos por Montoya y Giraldo (2010)⁽¹⁴⁾, los cuales evaluaron actividad de agua en masas elaboradas a partir de harina de trigo donde obtuvieron valores de 0.91, en masas elaboradas de manera similar. No obstante esta diferencia sugiere estar relacionada con la formulación.

Crecimiento de las masas

Como era de esperar, las masas de todos los tratamientos aumentan su volumen con el tiempo de fermentación. Se puede observar, además, que existe un efecto por el contenido de yuca en cada uno de los tratamientos. A medida que aumenta el porcentaje de harina de yuca enriquecida con gluten

en las harinas analizadas, el crecimiento de la masa fue menor. Tomando como referencia el mismo nivel de sustitución, por ejemplo 12.5%, podemos observar que no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$), entre el control y la harina de yuca elaborada en el laboratorio sin cáscara y con cáscara, pero si entre el control y la harina de yuca comercial. Las deficiencias en el crecimiento sugieren dificultad de la masa a mantenerse firme por la calidad del gluten y mayor fracción de almidón pero baja actividad amilácea de la yuca (15,16)

Análisis Sensorial

El análisis de varianza mostrado en la tabla 3, evidencia que no se encontraron diferencias significativas, entre el control y los panes elaborados con harina de yuca sin cáscara 12.5%. Asimismo se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre el control y los panes elaborados con harina de yuca comercial 25% y harina de yuca sin cáscara 25% y 37.5%. El análisis deja ver claramente que los panelistas prefirieron mayormente a los panes elaborados con harina de trigo (control) y los elaborados con harina de yuca sin cáscara 12.5%. Resultados similares reportó Sidsel, 2015 (8) para características de textura en productos de panadería sustituyendo parte de la harina trigo por harina de yuca. Este autor concluye que es importante que para cada variedad de yuca se determinen cantidades, condiciones de operación, estandarización de procesos y todas las variables que permitan obtener productos de excelente calidad porque la calidad del pan de pan hecho con trigo y harina de yuca no solo depende de la relación entre los dos ingredientes, sino también en el tipo de la harina de yuca utilizado.

CONCLUSIONES

El pH y actividad de agua de las masas no se afectó significativamente al variar las fuentes y niveles de sustitución de harinas de yuca. El crecimiento de la masa se vio afectado por los niveles de sustitución de harina de yuca utilizando las tres fuentes. A medida que aumentó el nivel de sustitución, el crecimiento fue menor durante la fermentación. Los panes elaborados con un nivel de sustitución de 12.5%, presentaron características muy parecidas al control, y tuvieron gran aceptación por los consumidores. En conclusión, se pueden elaborar panes utilizando harinas de trigo-yuca variedad CM 3311, en diferentes proporciones, observando buenos resultados cuando los porcentajes utilizados son del 12.5%.

REFERENCIAS

1. FAO. Global food security – what is the issue? Interdependence and globalization. 2007, fao.org/food/security/htm
2. C.N. Anyanwua, C.N. Ibetu, S.L. Ezcoha, N.J. Ogbuagu. Sustainability of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) as industrial feedstock, energy and food crop in Nigeria. *Renewable Energy* 81. 2015, 745e752. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.03.075> 0960-1481.
3. FAO. Cassava as staple food in developing countries. 1999. Retrieved on 8/3/13 from, fao.org/WAICENT/faoinfo/economic/giews/english/giewse.htm.
4. Bagus WM, Bondan AC. Production of bioethanol from cassava peel waste (CPW) by using sweet corn enzyme powder, Semarang, Indonesia. 2008; 15e7 p.
5. Anon. Nutritional profile of cassava. Retrieved on 8/3/13 from, <http://en.wikipedia.org/wiki/cassava>. 2013
6. Salcedo A, Del Valle A, Sanchez B, Ocasio V, Ortiz A, Marquez P. and Siritunga D. Comparative evaluation of physiological post-harvest root deterioration of 25 cassava (*Manihot esculenta*) accessions: visual vs. hydroxycoumarins fluorescent accumulation analysis. *African Journal of Agricultural Research*. 2010; 5(22): 3138-3144.
7. Lutz M, León A. Aspectos nutricionales y saludables de los productos de panificación. Universidad de Valparaíso. Chile. 2009; 22 p.
8. Lezcano E. 2011. Análisis de Productos panificados. En, http://alimentosargentinos.gov.ar/contenido/sectores/farinaceos/Productos/ProductosPanificados_2011_04Abr.pdf Acceso: 24 de junio de 2015. Ministerio de Agricultura Argentina.
9. Sidsel Jensen, Leif H. Skibsted, Ulla Kidmose and Anette K. Thybo. Addition of cassava flours in bread-making: Sensory and textural Evaluation. *LWT - Food Science and Technology* 60. 2015; 292- 299
10. Salas S, Guzmán Y. Experiencia sobre la producción de harina de yuca en la amazonía peruana. En *Agroindustria Rural, Recursos Técnicos y Alimentación*. F.Boucher; J. Muchnik, editores. CIRAD, CIID, IICA, San José. 1995; 474- 485p.
11. Defloor Y, De geest C, Schellekens M, Martens A, Declour J. Emulsifiers and/or extruded starch on the production of breads from cassava. *Cereal Chem*. 1991; 68(4): 323-327.
12. Pacheco-Delahaye Emperatriz, Testa Giusepina. Evaluación nutricional, física y sensorial de panes de plátano verde. *INCI*. ISSN 0378 – 1844. 2005; 30(5):300- 304.
13. Calaveras Jesús. *Nuevo Tratado de Panificación y Bollería*. 2da. Ed. Madrid, España. 2004; 622 p.
14. Montoya J, Giraldo G. Caracterización físico – química de la harina de trigo, masa y pan. Grupo de Investigación de Agroindustria de Frutas Tropicales, Laboratorios de diseño de nuevos productos. Universidad del Quindío. 2010; 24p.
15. Aryee F N A, Oduro I, Ellis W O, Afuakwa J J. The physicochemical properties of flour samples from the roots of 31 varieties of cassava. *Food Control*, 17(11), 916e922. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.06.013>. 2006.
16. Mejía-Agüero L E, Galeno F, Hernández-Hernández O, Matheus J, Tovar J. Starch determination, amylose content and susceptibility to in vitro amylolysis in flours from the roots of 25 cassava varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(July), 673e678. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.4629>. 2011.