

# PERSPECTIVAS DE AGROINDUSTRIALIZACIÓN DEL FRUTO GUAYABITA PELUA (*Eugenia acapulensis* Steud) COSECHADAS EN CÓRDOBA

PROSPECTS FOR FRUIT AGROINDUSTRIALIZATION GUAYABITA PELUA (*Eugenia acapulensis* Steud) HARVESTED IN CORDOBA

Guillermo ARRAZOLA PhD<sup>1\*</sup>, Armando ALVIS PhD<sup>1</sup>, Marcela VILLALBA MSc<sup>2</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** Fruta tropical característica de la sabana de Sucre y Córdoba, Colombia, con perspectivas de aprovechamiento agroindustrial. Poco estudiada y menos referenciada, debido a que esta especie crece de forma espontánea en suelos poco fértiles en zonas de levante y cría de ganado, es controlada como maleza; conllevando esto a que la especie forme parte de la lista roja regional (extinguible). **Objetivos:** El estudio tuvo como objetivo la caracterización fisicoquímica, bromatológica del follaje, la fruta y mosto de la guayabita pelua (*Eugenia acapulensis* Steud), localizada en el sector urbano y rural del municipio de Lorica, Córdoba Colombia. **Metodos:** Las características evaluadas fueron: Para el fruto: peso, acidez titulable (% ácido cítrico), pH, grados Brix, azúcares (totales y reductores), humedad, ceniza, grasa, fibra bruta, proteína bruta y contenido de vitamina C; para el follaje: humedad, ceniza, grasa, fibra bruta y proteína bruta; para el mosto: pH, grados Brix, azúcares (totales y reductores), acidez titulable (% de ácido cítrico), humedad, ceniza, grasa, fibra bruta, proteína bruta, contenido de vitamina C y sabor. La parte experimental de la presente investigación recurrió a un diseño completamente al azar con tres repeticiones, se emplearon tres tratamientos: fruto verde, fruto  $\frac{3}{4}$  de maduro y maduro, para las variables dependientes medidas en escala de razón se hizo Anova, pruebas de rangos múltiples de comparación de promedios de Bonferroni y prueba de heterogeneidad de varianzas de Bartlett's. **Resultados:** Se presentaron cambios altamente significativos entre los estados

de madurez del fruto en las variables como peso, fibra, vitamina C, proteína, grasa, azúcares (totales y reductores). Para el mosto obtenido, se determinó un aumento de la acidez y disminución de los grados Brix, en cuanto al análisis sensorial tuvo un porcentaje de aceptación de 78,3%. **Conclusiones:** Esta fruta puede constituir una alternativa para su aprovechamiento agroindustrial en forma de jugo, mermelada, compotas, purés, jaleas.

**Palabras clave:** Frutas y salud, promisorias, frutas tropicales, estados de madurez, escala hedónica.

## ABSTRACT

**Background:** Tropical fruit feature Savannah Sucre and Cordoba, Colombia, with prospects for agribusiness use. Little studied and least referenced, because this species grows spontaneously in poor soils in areas east and livestock, is controlled as a weed; this leading to the species part of the regional Red List (extinguishing). **Objective:** The study aimed to characterize the physicochemical, bromatological foliage, fruit and guava pelua wort (*Eugenia acapulensis* Steud), located in urban and rural area of the municipality of Lorica, Colombia Córdoba. **Methods:** The characteristics evaluated were: For the fruit: weight, titratable acidity (% citric acid), pH, Brix, sugars (total and reducing), moisture, ash, fat, crude fiber, crude protein and vitamin C; for foliage moisture, ash, fat, crude fiber and crude protein; for must: pH, Brix, sugars (total and reducing), titratable acidity (% citric acid), moisture, ash, fat, crude fiber, crude protein, vitamin C and taste. The experimental part of this research used

<sup>1</sup> Docente Programa Ingeniería de Alimentos, Grupo de Investigación Procesos y Agro industria de Vegetales, Universidad de Córdoba. Montería, Cordoba, Colombia.

<sup>2</sup> Docente programa Ingeniería Agro Industrial. Universidad de Sucre.

\* Autor a quien debe dirigirse la correspondencia: gsarrazola@correo.unicordoba.edu.co

a completely randomized design with three replications, three treatments were used: green fruit, fruit  $\frac{3}{4}$  mature and ripe for the dependent variables ratio scale measures became Anova, multiple range test Comparison of averages and Bonferroni test for heterogeneity of variances Bartlett's. **Results:** Highly significant changes between the states of fruit maturity on variables such as weight, fiber, vitamin C, protein, fat, sugars (total and reducing) are presented. For musts from an increased acidity and decreased Brix was determined as the sensory analysis had an acceptance rate of 78,3%. **Conclusions:** This fruit can be an alternative for agribusiness use as juice, jam, preserves, purees, jams etc.

**Keywords:** Fruits and health, promising, tropical fruits, maturity stages, hedonic scale.

## INTRODUCCIÓN

El Departamento de Córdoba cuenta con una extensa biodiversidad, representada por una inmensa cantidad de especies promisorias, (1) debiéndose este potencial a estar ubicado en un área tropical con grandes reservas hidrográficas. Existen numerosas especies propias de la región que no se le conocen sus propiedades etnobotánicas, fenológicas y el papel que podrían desempeñar en la botánica económica. Con los resultados obtenidos se buscará crear y despertar un interés a nivel agro industrial, científico y agro-técnico y esto a su vez beneficios a las personas vinculadas a las zonas de cultivo; ya que a la hora del aprovechamiento a nivel industrial de la guayabita pelua, estas personas estarían involucradas en la producción de materia prima para la posible elaboración de productos finales tales como néctares, vinos, conservas, mermeladas, jaleas, jarabes, salsas, (2) y su follaje en la producción de alimentación animal. Esta investigación posibilita cultura tecnológica, económica y empresarial, es decir; trascender la pusilanidad regional, la investigación tuvo como objetivo la caracterización fisicoquímica y bromatológica del follaje, fruta, mosto cosechadas en una localidad del bajo Sinú (Córdoba),

## MATERIALES Y MÉTODOS.

El estudio etnográfico se realizó con las poblaciones compuestas de diferentes grupos etéreos en el sector urbano y rural ubicadas en el municipio de Lorica, Córdoba (Colombia). El trabajo experimental se realizó en el laboratorio Nutrición, programa de Ingeniería de Alimentos. La parte experimental

recurrió a un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Para el estudio de la fruta Guayabita pelua se empleó tres tratamientos: Tratamiento 1: fruto verde, Tratamiento 2: fruto  $\frac{3}{4}$  de maduro, Tratamiento 3: maduro (3). Para las variables dependientes medidas en escala de razón se hizo Anova, pruebas de rangos múltiples de comparación de promedios de Bonferroni, prueba de heterogeneidad de varianzas de Bartlett's. Se emplearon los siguientes programas: HGW4, MSTATC y SXW. Para los análisis estadísticos de las variables sensoriales se utilizó una escala hedónica de 7 puntos en donde se evaluó el grado de satisfacción del mosto obtenido a partir de la fruta Guayabita pelua.

## Recolección y preparación de la materia prima

La obtención de la fruta Guayabita pelua del arbusto se realizó de forma manual. Los frutos se seleccionaron, clasificaron y sanitizaron con solución de 5 ppm de cloro. Los frutos se cosecharon en los arbustos seleccionados y de ellos se tomaron muestras de aproximadamente 10 Kg para el desarrollo de los análisis. Se realizaron muestreos del follaje después de la etapa de fructificación, con ramas al azar de la parte superior, media e inferior de cada arbusto con el fin de que las muestras fueran homogéneas. Las muestras se tomaron con un peso aproximado de 2,5 Kg para de los análisis. Los Brix se realizaron mediante la medición con refractómetro Bertucci, observación directa del fruto, tomando como base los cambios de color que van asociados a ciertos cambios internos (grados Brix, acidez e índice de madurez (3).

## Caracterización fisicoquímica de la fruta

Se realizaron los análisis de la fruta a en sus tres estados de madurez: Se utilizaron los métodos (A.O.A.C) para cada uno de los análisis de acidez, grados Brix, determinación de la composición de azúcares totales y reductores, determinación del valor del pH y se registraron los resultados en una ficha de recolección de datos. De igual manera se realizaron los análisis para el mosto obtenido de la fruta en su grado de madurez optima,  $\frac{3}{4}$  de maduro.

## Caracterización bromatológica de la fruta

Se analizaron humedad, ceniza total e hidrosoluble, extracto etéreo, proteína bruta por macro kjeldahl, fibra, y vitamina C. de igual manera se realizaron el mosto obtenido de la fruta en su grado de madurez optima,  $\frac{3}{4}$  de maduro y el follaje (4).

## Análisis sensorial

Los atributos organolépticos que se evaluaron en el mosto obtenido de la fruta por medio una prueba de medición del grado de satisfacción a través de una escala hedónica verbal de 7 puntos en la que se le presento a los jueces una descripción verbal de la sensación que le producirán las muestras de degustación. Para la prueba se usaron un mínimo de 60 jueces no entrenados elegidos de forma aleatoria.

## RESULTADOS

En el árbol de la fruta estudiada la floración ocurre de una semana a semana y media, la inflorescencia es blanca y la apariencia del árbol se modifica mejorando su atractivo. Los frutos van modificando su coloración al madurar y el proceso reproductivo es heterogéneo; es decir, la planta presenta inicios de floración, fructificación y todos los estados de madurez en el mismo momento. El rendimiento por cosecha de un árbol varía en rendimiento de acuerdo a su edad, época y calidad anterior de la cosecha, incluso se ha observado que severos maltratos en podas también influyen en la cosecha (5). Un árbol con alta frondosidad de follaje tiene rendimientos excelentes que van desde 35 a 50 Kg de frutas durante toda su cosecha, en cambio un árbol de primeras cosechas con regular frondosidad produce de 5 a 10 Kg de frutas. En tabla 1 se presentan los análisis bromatológicos del follaje de la fruta Guayabita pelua (*Eugenia acapulensis* Steud). Donde se puede apreciar un alto porcentaje de fibra del 53,01%, lo cual resulta atractivo para la utilización de este como materia prima en la elaboración de concentrados para animales (6).

**Tabla 1.** Resultados de análisis bromatológicos del follaje.

Compuestos (%)	Total
Humedad	0,178
Carbohidratos	33,41
Grasa	1,2
Fibra	53,05
Cenizas	4,27

En tabla 2, se presentan los análisis fisicoquímicos y bromatológicos de la fruta en sus tres estados de madurez: maduro,  $\frac{3}{4}$  de maduro y verde. En el cual se aprecia una diferencia significativa en el contenido de vitamina C entre sus grados de madurez siendo más alto en el grado verde con un valor de

170,300 mg /100g debiéndose esto a que el contenido del ácido ascórbico en la guayabas, se debe a varios factores como son: el estado de maduración del fruto, es mayor en las guayabas verdes y en  $\frac{3}{4}$  de madura, declinando en las completamente maduras; su distribución en la fruta no es uniforme, su contenido es mayor en la piel y muy poco en la pulpa central (7). La localización geográfica, las prácticas de cultivo, estación del año y el cultivar del guayabo.

**Tabla 2.** Resultados fisicoquímicos y bromatológicos de la fruta en sus tres estados de madurez.

Variables	Tratamiento		
	Maduro	$\frac{3}{4}$ Madurez	Verde
Humedad	92,57±0,1	93,60±0,01	89,50±0,01
Cenizas	0,350±0,1	0,387±0,02	0,360±0,02
Grasa	1,50±0,02	1,27±0,01	0,95±0,01
Fibra	4,42±0,01	3,47±0,03	2,70±0,03
Proteína	1,45±0,01	3,19±0,02	4,94±0,01
Vit. C (mg/100g)	91,6±0,04	134,5±0,001	170,00±0,02
Azúcares totales	0,49±0,02	0,46±0,01	0,35±0,02
° Brix	4,03±0,03	3,00±0,01	2,84±0,01
Acidez	2,90±0,01	3,20±0,03	3,40±0,01
pH	2,95±0,03	2,91±0,01	2,87±0,01

En el cuadro 3 se presentan los análisis bromatológicos y fisicoquímicos del mosto obtenido de la fruta en su grado de madurez óptimo,  $\frac{3}{4}$  de maduro. Donde se observa un valor de grados Brix de 2,66 el cual resulta muy bajo con respecto a otras frutas tropicales como maracuyá, mango piña etc.

**Tabla 3.** Resultados fisicoquímicos y bromatológicos del mosto

Análisis bromatológicos(%)	Resultados	Análisis fisicoquímicos	Resultados
Humedad	0,98	°Brix	8,6
Cenizas	0,34	Azúcares (%)	5,5
Fibra	0,23	Acidez (%) Ac. Cítrico	1,55
Proteína bruta (%)	0,20	pH	2,75

## Caracterización carpométrica

Se tomó una muestra representativa de fruta para la realización carpométrica donde se obtuvo el rendimiento en peso de la pulpa, en estado maduro y verde su rendimiento en pulpa es similar con un valor de 65,64% y 65,81% respectivamente, valor altamente significativo y que se asemeja al porcentaje obtenido de la Guayaba dulce (*Psidium guajava* L) que en estado de madurez comestible su

rendimiento en pulpa es del 69%. (Brito, 2004). El mayor rendimiento en pulpa se presentó en el estado de madurez verde donde se obtuvo un resultado de 81,43%. Debido a que el fruto en estado Maduro y  $\frac{3}{4}$  de Maduro presentan un alto contenido de agua en forma libre, esta diferencia en los rendimientos pudo deberse a las pérdidas de peso en agua al hacer Incisiones al fruto.

Se evaluó el atributo sensorial sabor en el mosto obtenido de la fruta Guayabita pelua (*Eugenia acapulcensis* Steud) usando 60 catadores no entrenados elegidos de forma aleatoria. La mayor cantidad de respuestas se encuentra en el umbral de mayor aceptación con un porcentaje de 78,3% distribuidos así: me gusta bastante con 5%, me gusta mucho con 33,33% y me gusta ligeramente 40%. En cambio el umbral de menor aceptación tuvo un porcentaje de respuestas coincidentes de 6,67% distribuidos así: me disgusta ligeramente de 5% y me disgusta bastante de 1,67%.

## DISCUSIÓN

Aún desconocida, esta fruta es una alternativa para la agroindustria dada sus características fisicoquímicas y su aceptación por parte de consumidores potenciales (8). Cabe anotar que el umbral neutro tuvo un porcentaje significativo de respuestas coincidentes de 15%. Estos resultados nos confirman que el mosto obtenido de la Guayabita pelua (*Eugenia acapulcensis* Steud) posee un grado de aceptación por parte del consumidor permitiendo la comercialización de este como producto o materia prima en el enriquecimiento para la elaboración de vinos, mermeladas, jugo para reconstituir. Pocos autores (9) han realizado investigaciones, donde el análisis

de los aceites esenciales le proporciona al fruto un agradable aroma y sabor que a nivel industrial es muy bien aprovechado.

## CONCLUSIONES

Los resultados fisicoquímicos y organolépticos obtenidos muestran que la fruta Guayabita pelua, tiene la posibilidad de ser una alternativa de aprovechamiento agro industrial.

## REFERENCIAS

1. Villalba M, Yepes I, Arrázola G. Caracterización fisicoquímica de frutas de las zonas del Sinú para su agro industrialización. Revista Temas Agrarios. 2006.11(1):15-23
2. Wills R, Lee T, Mc Glasson W, Hall E, Graham D. Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas post-recolección. Editorial ACRIBIA, 1989. 1-10 p.
3. Galvis A. Tecnología de manejo postcosecha de frutas y hortalizas: Sección de Vegetales. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 1992.
4. Roser V, Iglesias J, Cañigueral S, Santana A, Solís A, Mahabir P. Constituents and Biological Activity of the Essential Oil of *Eugenia acapulcensis* Steud., Journal of Essential Oil Research, 2004; 16(4): 384-386
5. Arenas L, Marín D, Peña E, Toyo L, Sandoval M. Contenido de humedad, materia seca y cenizas totales en guayabas (*Pisidium guajava*. L.) cosechadas en granjas del municipio Mara del estado Zulia. Revista Facultad de Agronomía. 1999; 16(1): 1-10.
6. Brito B, Rodríguez M. Aplicación de tecnologías agroindustriales para el tratamiento de guayaba con fines de exportación. Proyecto UNIAP-PROMSA, Quito-ecuador. 2004.
7. Gómez M, Acero L. Guía para el cultivo y aprovechamiento del Bore: *Alocasia macrorrhiza* (Linneo) Schott. Convenio Andrés Bello. Serie Ciencia y Tecnología, 2002. 43 p.
8. Laguado N, Pérez E, Alvarado C. Características físico-químicas y fisiológicas de frutos de guayaba de los tipos Criolla Roja y San Miguel procedentes de dos plantaciones comerciales. Revista Facultad de Agronomía 1999; 16(4): 382-397.
9. Mercado E. Desarrollo de tecnologías para la conservación de vegetales frescos cortados. Symposium: estado actual del mercado de frutos y vegetales cortados en Iberoamérica, San José de Costa Rica. 2004. 107 p.

# ACETILACIÓN DE ALMIDÓN NATIVO DE BATATA (*Ipomeas batata* L)

ACETYLATION OF NATIVE SWEET POTATO STARCH. (*Ipomeas batata* L)

Jorge A. FIGUEROA FLÓREZ<sup>1</sup>, Jairo G. SALCEDO MENDOZA<sup>2</sup>, María C. RODRÍGUEZ LORA<sup>3</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** En Colombia, es necesaria la producción de almidones nativos y modificados que propendan por el aprovechamiento de materias primas amiláceas de gran importancia socioeconómica. La acetilación es un tipo de modificación química usada para brindar una mayor estabilidad a los almidones a esfuerzos mecánicos y térmicos. **Objetivo:** En esta investigación se estudió el efecto del proceso de acetilación en las propiedades estructurales, morfológicas y funcionales de almidones nativos de batata, y valorar su posible uso a nivel industrial. **Métodos:** Se realizó un proceso de modificación química por esterificación con anhídrido acético a diferentes tiempos de reacción (10 y 240 min), evaluando cambios morfológicos y estructurales, a través de espectroscopia de infrarrojo (FTIR), difracción de rayos X y microscopia electrónica de barrido (SEM). Además, se estudió el comportamiento de suspensiones de almidón en función de la temperatura. **Resultados:** Se determinaron diferencias significativas para los grados de sustitución (GS) respecto al tiempo de reacción ( $p < 0,05$ ). El análisis de FTIR permitió registrar variación en las señales de absorbancia debido al estiramiento de enlaces C-O por grupos acetilos. La acetilación provocó un aumento del contenido de amilosa, debido al ataque de la zona amorfa con la consecuente disminución del grado de cristalinidad de los almidones de batata, los cuales ostentan un patrón de difracción tipo A. Propiedades funcionales como absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento, aumentaron debido al cambio del grado de sustitución (GS). Asimismo, se observan cambios en la temperatura

de gelatinización, viscosidad máxima, estabilidad y asentamiento de las suspensiones de almidones acetilados. **Conclusiones:** La sustitución de grupos OH por grupos acetilos pudo causar una desorganización en la estructura del gránulo debilitando la estructura cristalina y el rompimiento de cadenas de amilopectina que favorecen el aumento de la capacidad hidrofílica, solubilidad e hinchamiento del gránulo. El proceso de acetilación produjo un aumento del pico de viscosidad máxima, mejoró la estabilidad de suspensiones a esfuerzos de corte y aumento su tendencia a la retrogradación.

**Palabras clave:** Almidón, acetilación, batata, amilosa, retrogradación.

## ABSTRACT

**Antecedents:** In Colombia, is necessary production of native and modified starches which foster the use of starchy raw materials of great economic importance. Acetylation is a type of chemical modification used to provide greater stability to the starches to mechanical and thermal stresses. **Objective:** In this study the effect of acetylation process was studied in the structural, morphological and functional properties of native potato starch, and assess its possible use at industrial level. **Methods:** A process of chemical modification is performed by esterification with acetic anhydride at different reaction times (10 and 240 min), evaluating morphological and structural changes, via infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction and electron microscopy (SEM). Moreover, the behavior of starch suspensions in function of temperature was studied. **Results:** Significant differences in the degrees of substitution (DS) with respect to

<sup>1</sup> Estudiante Maestría Ing. Agroindustrial, Grupo de Investigación PADES, Universidad de Sucre. Sincelejo, Colombia.

<sup>2</sup> Doctor en Ingeniería Química, Profesor Asociado, Universidad de Sucre. Sincelejo, Colombia.

<sup>3</sup> Estudiante Ingeniería Agroindustrial, Universidad del Atlántico. Barranquilla, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: joafigueroafl@unal.edu.co

the reaction time ( $p < 0,05$ ) were determined. FTIR analysis it possible to record signals variation in absorbance due to stretching of C-O bonds by acetyl groups. Acetylation led to increased amylose due to the attack of the amorphous region with the consequent reduction of the degree of crystallinity of starches of potato, which hold a diffraction pattern A. Functional properties such as water absorption, solubility and power swelling increased due to the change of the degree of substitution (DS). Also, changes were observed in the gelatinization temperature, peak viscosity, stability and settling of suspensions acetylated starches. **Conclusions:** The substitution of acetyl groups for OH groups can cause a disruption of the granule structure in the crystal structure weakening and breaking amylopectin chains favoring increased hydrophilic ability, solubility and swelling the granule. The acetylation process produced a maximum increase in peak viscosity, improve the stability of suspensions to shear and increase the tendency to retrogradation.

**Keywords:** Starch, acetylation, sweet potato, amylose retrogradation.

## INTRODUCCION

Los tubérculos de batata (*Ipomeas batata L*) se consideran un cultivo promisorio en Colombia, a pesar de la importancia socioeconómica que ostentan en otros países. La batata es rica en almidón (58-76% en base seca), catalogada como excelente fuente de energía (1). Los gránulos de almidón se componen de cadenas de amilosa y amilopectina, que dependiendo de la composición y arreglo estructural, confieren propiedades fisicoquímicas y funcionales únicas característica de cada especie (2). Se utilizan como espesante, estabilizante, aglutinante, encapsulante y formador de películas en la industria de alimentos, sin embargo, exhiben limitaciones cuando se someten a estrés mecánico, térmico o químico. Las desventajas en determinadas aplicaciones de los almidones nativos, pueden ser suplidas por almidones modificados diseñados para responder a la demanda industrial (3). El proceso de acetilación se realiza mediante reacción por esterificación, tratando al almidón nativo con anhídrido acético en medio acuoso en presencia de un catalizador alcalino (4). Almidones acetilados con un grado de sustitución menor a 0,2 y cantidad de grupos acetilos menor a 2,5% han sido aprobados por la Administración de Drogas y Alimentos de los EE.UU. (FDA) para su uso en alimentos (5).

En diversos estudios se ha evaluado el proceso de acetilación en almidones nativos de yuca, papa, arroz, batata, cebada y maíz (3, 5, 6, 7, 8, 9). El proceso de acetilación depende de ciertos factores, como concentración del reactivo, tiempo de reacción y pH. Varios investigadores mencionan que la reacción de acetilación es reversible, mostrando una desacetilación en el almidón (7). Los cambios promovidos por la acetilación dependen de la fuente botánica, el grado de sustitución, la proporción de amilosa/amilopectina y la estructura molecular del almidón (5). Este tipo de modificación puede alterar características morfológicas, grado de cristalinidad, propiedades de gelatinización y viscoelásticas de los gránulos (4, 7, 10). En el presente estudio se realizó la acetilación de almidón de batata variando el tiempo de reacción, evaluando propiedades estructurales y funcionales para valorar su posible uso en la industria alimentaria.

## MATERIALES Y METODOS

### Obtención de almidón nativo y proceso de modificación

El almidón nativo fue obtenido en la Planta de Operaciones Unitarias de la Universidad de Sucre según Salcedo (11). Para el proceso de modificación se utilizaron 3,0 ml anhídrido acético, añadidos gota a gota a una suspensión de almidón al 42% (p/v) manteniendo el pH entre 8,0 a 8,4 según Rincón (4). Terminado el tiempo de reacción el almidón fue lavado, secado, molido y tamizado.

### Grupos acetilos (%) y Grado de sustitución (GS)

El porcentaje de grupos acetilos y GS, fueron cuantificados por titulación con ácido clorhídrico 0,8 N, de acuerdo al método propuesto por Singh (3). El porcentaje de grupos acetilos, se determinó basado en el volumen del ácido gastado según la Ec. 1, donde 0,043 son los miliequivalentes del grupo acetilo.

$$\text{Acetilos (\%)} = \frac{(\text{ml Blanco} - \text{ml muestra}) * (\text{N HCl} * 0,043 * 100)}{\text{g muestra (Base seca)}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

El grado de sustitución (GS) fue calculado de acuerdo a la Ec. 2, donde el valor de 162 equivale al peso molecular de la unidad de anhidro glucosa:

$$\text{Grado de sustitucion (GS)} = \frac{(162) * \text{Acetilos (\%)}}{4300 - [42 * \text{Acetilos (\%)}]} \quad (\text{Ecuación 2})$$

## Espectroscopia de infrarrojo (FTIR) y microscopia electrónica de barrido

Los espectros fueron obtenidos en un espectrómetro (Thermo Scientific, IS50 FTIR, USA) en la región de 500 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ , con una resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$ . Las muestras se prepararon mediante la mezcla de 20 mg de almidón con KBr en una proporción de 1:5 (5). La morfología de los gránulos fue analizada en un microscopio electrónico de barrido (JEOL, JSU-5600 LV, Japón) según Rincón (4). Las muestras fueron cubiertas con una aleación de platino/oro. Las condiciones de observación de las muestras se establecieron a 15 kV y 30 mA.

## Contenido de amilosa y grado de cristalinidad (GC)

El contenido de amilosa fue analizado mediante el método colorimétrico de yodo estandarizado (3). Se utilizó como estándar amilosa de papa procedente de Sigma Aldrich (St Louis, MI USA). Los patrones de difracción fueron obtenidos mediante un difractómetro de rayos X (Panalytical, X'Pert Pro MPD, Italy). El alcance de detección se ajustó de 5 a 35°. El GC se cuantificó mediante la relación del área de los picos de absorción de las regiones cristalinas respecto al área total de la muestra, mediante cálculo integral utilizando el software Origin Lab 8.0 (8).

## Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad (IS) y poder de hinchamiento (PH)

IAA, ISA y PH fueron determinadas según los métodos descritos por Colussi (5). Un gramo de almidón en base seca, fue depositado en un tubo de centrifuga. Al tubo se le adicionaron 25 ml de agua destilada a 60°C. La suspensión fue calentada en un baño a 60°C durante 30 minutos, y se agitó a los 10 minutos de iniciado el proceso. Luego, fue llevada a centrifugación a 565 g durante 15 minutos. Se extrajo el sobrenadante (almidón soluble) y se determinó el volumen total (V). Una muestra de 10 ml del sobrenadante fue colocada en una caja de Petri previamente pesada y secada en un horno a 70°C durante 16 horas. Se registró el peso de la caja de Petri con el material soluble y del tubo de centrifuga que contenía el gel (almidón insoluble). IAA, ISA y PH se estimaron a partir de las ecuaciones 3-5.

$$IAA = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g) bs}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$ISA = \frac{\text{Peso soluble (g)} \times (V/10)}{\text{Peso muestra (g) bs}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$PH = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g) - Peso soluble (g)}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

## Comportamiento de la pasta en frío y caliente

Suspensiones de almidón al 4% p/v fueron estudiadas en un reómetro (Anton Paar, MCR 302, Austria) según el método descrito por Rivas (10). La suspensión de almidón se sometió a temperatura de 50°C durante un minuto, luego se elevó a 95°C durante 7,5 minutos, se mantuvo a 95°C durante 5,0 minutos, se enfrió a 50°C en 7,5 minutos, y finalmente se mantuvo a 50°C durante dos minutos. Los resultados obtenidos del ensayo, fueron procesados mediante el software RheoCompass 1.12.

## Diseño experimental

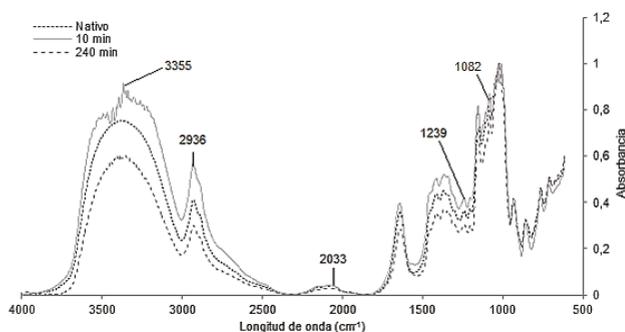
Se empleó el tiempo de reacción en 10 y 240 min, como único factor. Los resultados se estudiaron mediante análisis de varianza y test de comparación de medias de Tukey con un 5% de significancia utilizando el software estadístico R v.3.0.

## RESULTADOS

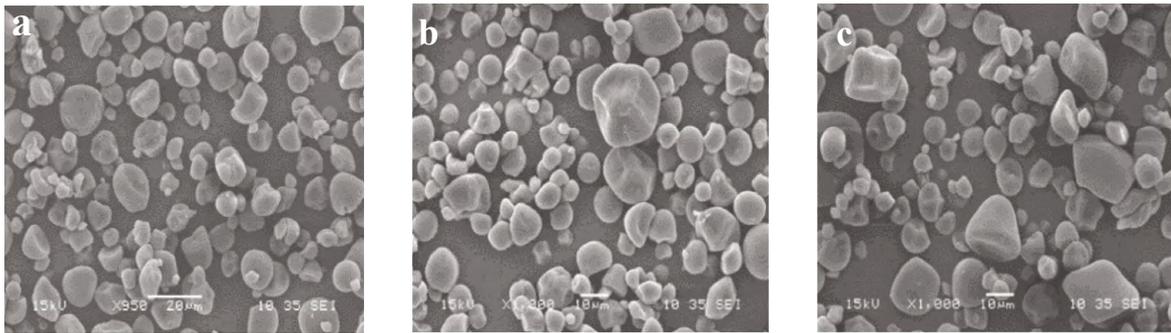
**Tabla 1.** Grupos acetilos (%) y grados de sustitución en almidones acetilados de batata.

Tiempo de reacción	Grupos Acetilos (%)	GS
Nativo	-	-
10 min	0,47 ± 0,25a	0,014 ± 0,016a
120 min	1,25 ± 0,17b	0,046 ± 0,005b
240 min	1,24 ± 0,13b	0,047 ± 0,005b

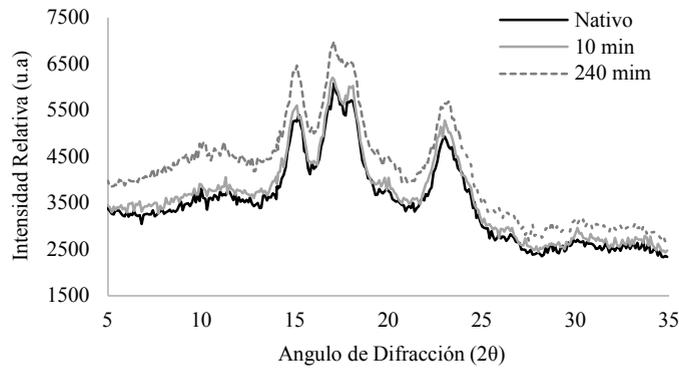
Medias en una misma columna con diferente letra son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).



**Figura 1.** Espectroscopia de infrarrojo (FT-IR) de almidón de nativo y acetilado de batata.



**Figura 2.** Aspecto granular de almidones nativo y acetilados de batata bajo microscopio electrónico de barrido: (a) Nativo, (b) 10 min, (c) 240 min.



**Figura 3.** Difractogramas de rayos X en almidones nativo y acetilados de batata.

**Tabla 2.** Índice de absorción de agua, índice de solubilidad y poder de hinchamiento de almidones nativos y acetilados de batata.

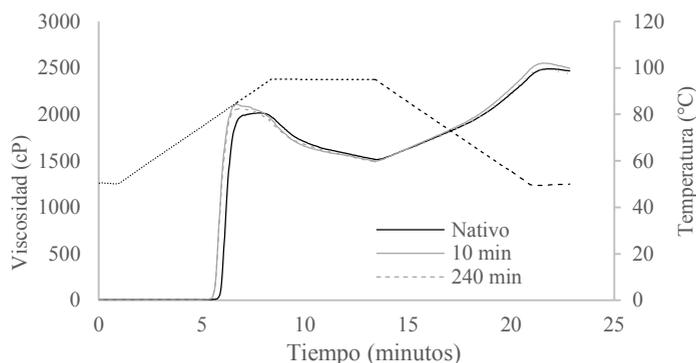
Tiempo de reacción	IAA	ISA	PH
Nativo	1,83 ± 0,01a	0,008 ± 0,002a	1,83 ± 0,04a
10 min	1,83 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,009 ± 0,0003a	1,84 ± 0,05a
240 min	1,97 ± 0,10b	0,010 ± 0,0013a	1,98 ± 0,15b

Medias en una misma columna con diferente letra son significativamente diferentes (p<0,05).

**Tabla 3.** Comportamiento de la viscosidad en suspensiones de almidones de batata durante ciclos de calentamiento-enfriamiento

Tiempo de reacción	Amilosa (%)	GC (%)	A	B	C	D	E	F
Nativo	21,41	46,30	79	2017	1515	2417	502	912
10 min	21,48	46,76	78,2	2077	1527	2445	480	949
240 min	21,75	46,72	76,2	2060	1551	2439	491	942

A: Temperatura inicial de pasta (°C); B: Máxima viscosidad (cP); C: Viscosidad a 95°C, 5min (cP); D: Viscosidad final (cP); E: Estabilidad (breakdown); F: Asentamiento (setback).



**Figura 4.** Viscoamilograma de almidones nativos y acetilados de batata.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El porcentaje de grupos acetilos y GS (Tabla 1) aumentaron significativamente en relación al tiempo de reacción ( $p < 0,05$ ). Un comportamiento similar fue encontrado en almidones acetilados de yuca, tratados durante 30 y 60 min (12). Rivas (9), argumentan que el tiempo es un factor relevante en el proceso de acetilación en almidones de plátano, y exponen que la reacción después de 30 minutos alcanza cierto equilibrio, hasta dos horas. A su vez, Lee and Yoo (6) reportan resultados similares para grupos acetilos y GS de almidones acetilados de batata para un tiempo de reacción de 10 min y concentración entre 2-4% de anhídrido acético.

En la figura 1, se observa una variación en las señales de absorbancia por estiramiento en el rango de longitud de onda de  $3000$  a  $3900 \text{ cm}^{-1}$  correspondientes al grupo OH y de  $2000$  a  $2850 \text{ cm}^{-1}$  que corresponden a la tensión CH de la unidad de anhidro glucosa de las moléculas de almidón (13). En el espectro de  $1251 \text{ cm}^{-1}$  a  $1255 \text{ cm}^{-1}$  se perciben señales típicas de estiramiento del enlace C-O de grupos acetilos (7), la cual aparece para almidones acetilados de 10 min. La banda a  $1087 \text{ cm}^{-1}$  de estiramiento de grupo C-O aparece fuertemente en los almidones acetilados. Estas observaciones permiten sugerir la sustitución de grupos funcionales en la estructura química de los gránulos después de la acetilación.

En la figura 2a se observa que los almidones nativos presentan formas esféricas con extremos truncados, ovaladas, poliédricas e irregulares, similares a la reportada por Nwokocho (14). El proceso de acetilación produjo ligeras laceraciones en las superficies de los gránulos (Figuras 2b, 2c), sin embargo se mantuvo la morfología de los gránulos.

Debido posiblemente a que la reacción se produce preferiblemente en la región amorfa del gránulo y a la pobre penetración del anhídrido debido a la ausencia de poros o canales. Esta misma descripción corresponde a la detallada en almidones acetilados de yuca estudiada por Mbougoung (9).

El almidón nativo de batata presentó un patrón de difracción tipo A (Figura 2a), con picos de difracción de mayor intensidad en los ángulos  $2\theta$  de  $15^\circ$ ,  $17^\circ$ ,  $18^\circ$  y  $23^\circ$ . Los almidones acetilados mantuvieron los patrones de difracción característicos de almidones nativos, indicando que gran parte de los grupos acetilos se introdujeron principalmente en las regiones amorfas. Se puede percibir que un aumento del contenido de amilosa, conduce al aumento del GC con la acetilación (Tabla 3). Además, la sustitución de grupos OH por grupos CH en el gránulo de almidón, probablemente reduce la formación de enlaces de hidrógeno inter e intramoleculares, debilitando la estructura cristalina original (8).

Los valores de ISA y PH en almidones acetilados no presentaron diferencias significativas en relación al tiempo de reacción ( $p > 0,05$ ). Sin embargo, se observa un aumento significativo en almidones acetilados a 240 min respecto al almidón nativo, probablemente debido a la introducción de grupos acetilos que pueden causar una desorganización en la estructura del gránulo, el desdoblamiento de las regiones de doble hélice y rompimiento de estructuras de amilopectina, fenómeno que aumenta la solubilidad e hinchamiento del gránulo (4). Efectos similares se reportan en almidones acetilados de maíz (8). A su vez, el IAA aumentó con el tiempo de reacción ( $p < 0,05$ ) posiblemente a la reducción de interacciones entre cadenas de la molécula de almidón y una mayor capacidad hidrofílica por la

incorporación de grupos acetilos (6). Resultados análogos fueron reportados en almidones acetilados de arroz (5).

La tabla 3 y la figura 4 muestran el comportamiento de suspensiones de almidones nativos y acetilados de batata durante ciclos de calentamiento y enfriamiento. Se observa una disminución de la temperatura inicial de pasta en los almidones acetilados respecto al nativo, posiblemente al debilitamiento de fuerzas intragranulares por la sustitución de grupos OH e introducción de grupos acetilos (4). La acetilación aumentó el pico de viscosidad máxima durante el calentamiento, probablemente asociado al incremento en la capacidad de absorber y retener agua (15). La estabilidad o “breakdown” de los almidones acetilados presentó un ligero aumento asociado al desarrollo de estructuras más organizadas, otorgando una mayor resistencia a los esfuerzos de deformación. Asimismo, se observa una mayor tendencia a la retrogradación en los almidones acetilados, en referencia al incremento de los valores de asentamiento o “setback”, ocasionado por el restablecimiento de enlaces de hidrógeno que producen un aumento de la viscosidad de la suspensión de almidón al final del período de enfriamiento, y se relaciona con una alta tendencia a retrogradar.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a COLCIENCIAS y a la Gobernación de Sucre, el apoyo económico del proyecto de investigación radicado en el Acuerdo No. 005 del 19 de julio de 2013, a través de convocatorias del Sistema General de Regalías (SGR).

### CONCLUSIONES

Los almidones acetilados presentaron bajos grados de sustitución (GS), lo que indica su posible uso en la industria alimentaria. El proceso de acetilación provocó ligeras laceraciones en la superficie del gránulo, con el consecuente aumento del contenido de amilosa y disminución del grado de cristalinidad (GC). La desorganización y debilitamiento de fuerzas intragranulares, asociada a la introducción de grupos acetilos en la estructura del gránulo aumentó la solubilidad, absorción y capacidad de hinchamiento. Debido a que los almidones

acetilados de batata alcanzan una mayor estabilidad durante el calentamiento, se sugiere su uso como espesante en alimentos sometidos a cocción durante su preparación. El aumento de la viscosidad final y asentamiento (setback) muestran la tendencia a la retrogradación de los almidones acetilados, resultados que posibilitan su uso como aditivos en la industria de confitería en el desarrollos de caramelos duros.

### REFERENCIAS

1. Iheagwara MC. Isolation, modification and characterization of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) starch. *Food Process Technol.* 2013 Dec; 4(1): 1-6.
2. Wang LZ, White PJ. Structure and physicochemical properties of starches from oats with different lipid content. *Cereal Chem.* 1994; 71(5): 443-450.
3. Singh N, Chawla D, Singh J. Influence of acetic anhydride on physicochemical, morphological, thermal of corn and potato starch. *Food Chem.* 2004 Aug; 86:601-608.
4. Rincón AM, Rached LB, Aragoza LE, Padilla F. Efecto de la acetilación y oxidación sobre algunas propiedades del almidón de semillas de Fruto de pan (*Artocarpus altilis*). *ALAN.* 2007 May; 57 (3): 287-294.
5. Colussi R, Pinto VZ, Halal SL, Vanier NL, Villanova FA, Silva M, Dias A. Structural, morphological, and physicochemical properties of acetylated high, medium and low amylose rice starches. *Carb. Polymers.* 2014 Mar; 103(5): 405-413.
6. Lee H, Yoo B. Dynamic rheological and thermal properties of acetylated sweet potato starch. *Starch/Stärke.* 2009 Jul; 61(7): 407-413.
7. Prieto MJ, Trejo CC, Prieto GF, Méndez MA, Bello PL, Román GA. Acetilación y caracterización del almidón de cebada. *RLRN.* 2010; 6(1): 32-43.
8. Diop C, Li H, Xie B, Shi J. Effects of acetic acid/acetic anhydride ratios on the properties of corn starch acetates. *Food Chem.* 2011 Dec; 126(4):1662-1669.
9. Mbougung PD, Tenin D, Scher J, Tchiégang C. Influence of acetylation on physicochemical, functional and thermal properties of potato and cassava starches. *J. Food Eng.* 2012 Jan; 108(2): 320-326.
10. Rivas M, Zamudio PB, Bello LA. Efecto del grado de acetilación en las características morfológicas y fisicoquímicas del almidón de plátano. *Rev. Mex. Ing. Quím.* 2009 Dic; 8(3): 291-297.
11. Salcedo J, Montes E, Pájaro J. Producción de jarabes de fructosa por hidrólisis enzimática de almidón de yuca variedades Corpoica M tai-8 y orense. *Dyna.* 2009; 76(16): 121-130.
12. Jerachaimongkol S, Chonhenchob V, Poovarodom N. Modification of cassava starch by esterification and properties of cassava starch ester films. *Nat. Sc.* 2006; 40: 148-151.
13. Xu Y, Miladinov V, Hanna MA. Synthesis and characterization of starches acetates with high substitution. *Cereal Chemistry.* 2004 Mar; 86 (6): 735-740.
14. Nwokocha LM, Aviara NA, Senan C, Williams PA. A comparative study of properties of starches from Irish potato (*Solanum tuberosum*) and sweet potato (*Ipomea batatas*) grown in Nigeria. *Starch/Stärke.* 2014 April; 66(7): 714-723.
15. Ancona BD, Guerrero CL, Hernández CE. Acetylation and characterization of *Canavalia ensiformis* starch. *J. Agric. Food Chem.* 1997 Feb; 45(2): 378-382.

# CONTROL DEL CRECIMIENTO DE *LISTERIA MONOCYTOGENES* EN SALCHICHONES CERVECEROS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BIOPELÍCULAS ACTIVAS

GROWTH CONTROL OF *LISTERIA MONOCYTOGENES* IN CERVECEROS SAUSAGES BY APPLYING ACTIVE BIOFILMS

Rafael Emilio GONZÁLEZ CUELLO PhD\*, Lena Beatriz MORÓN ALCÁZAR PhD, Arnulfo Antonio TARON DUNOYER PhD.

## RESUMEN

**Antecedentes:** *Listeria monocytogenes* es una bacteria patógena de origen alimentario capaz de crecer en matrices alimentarias listas para consumo, generando así posibles brotes alimentarios. La venta de salchichones cerveceros en rodajas es muy común en la costa caribe colombiana y puede convertirse en un excelente sustrato para el crecimiento de bacterias patógenas. **Objetivo:** Estudiar el efecto de la incorporación de Sábila (*Aloe vera*), Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) y Toronjil (*Melissa officinalis* L), en biopelículas (BP) comestibles elaboradas a base de goma gelana de alto acilo sobre el crecimiento de *L. monocytogenes* en rodajas de salchichones cerveceros. **Métodos:** Las biopelículas se elaboraron a partir de dispersiones biopoliméricas conteniendo glicerol como agente plastificante, sometidas a un calentamiento de 90°C durante 10 min. Luego, la temperatura es disminuida hasta alcanzar 37°C con el fin de facilitar la incorporación del extracto vegetal crudo. Después, la preparación es sometida a un proceso de secado a temperatura constante durante 24 h. Se evaluaron dos lotes de rodajas de salchichón; ambos lotes fueron inoculados con concentraciones conocidas de *L. monocytogenes*. Sin embargo, solo el segundo lote fue recubierto con las biopelículas activas elaboradas. El efecto antimicrobiano se determinó durante 12 días aproximadamente utilizando el método de recuento en placa. **Resultados:** Los extractos vegetales utilizados lograron disminuir en 0.5 ciclos logarítmicos el crecimiento de *L. monocytogenes* en rodajas de salchichón cervecero después de 10 días de incubación en condiciones de refrigeración.

**Conclusión:** Es posible utilizar biopelículas a base de goma gelana conteniendo extractos vegetales sábila (*Aloe vera*), Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) y Toronjil (*Melissa officinalis* L), para controlar el crecimiento de *L. monocytogenes* en rodajas de salchichones cerveceros; Por consiguiente, es posible elaborar una biopelícula activa antimicrobiana eficiente contra el crecimiento de *L. monocytogenes* con el fin de mejorar la seguridad alimentaria y la vida útil de productos cárnicos.

**Palabras clave:** Biopelículas, extractos vegetales, goma gelana, salchichón cervecero.

## ABSTRACT

**Background:** *Listeria monocytogenes* is a food-borne pathogenic bacterium that can grow in food matrices ready to eat generating potential foodborne outbreaks. Cervecero sausages sliced selling is very common practice in the Colombian Caribbean coast and can become an excellent substrate for the growth of pathogenic bacteria. **Objective:** The aim of this work was to study the effect of incorporating Wise (*Aloe vera*), Eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*) and lemon balm (*Melissa officinalis* L.) in edible biofilms based on low acyl gellan gum on the growth of *L. monocytogenes* in cerveceros sausages. **Methods:** Biofilms were produced from the biopolymeric dispersions containing glycerol as plasticizer, subjected to heating at 90 ° C for 10 min. Then, the temperature is decreased to reach 37 ° C in order to facilitate incorporation of the crude plant extract. Afterwards, the preparation is subjected to a drying process at constant temperature for 24

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia.

\* Autor a quien debe dirigirse la correspondencia: rgonzalez1@unicartagena.edu.co

h. Two batches of sausage slices were evaluated; both lots were inoculated with known levels of *L. monocytogenes*. However, only the second batch was coated with the active biofilm. The antimicrobial effect was determined for 12 days approximately using the plate count method **Results:** The plant extracts used were able to reduce by 0.5 log units of *L. monocytogenes* growth on sausages sliced after 10 days of incubation under refrigeration temperature. **Conclusions:** It is possible to use biofilms based on gellan gum containing plant extracts Sabila (*Aloe vera*), Eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*) and Melissa (*Melissa officinalis* L) to control the growth of *L. monocytogenes* in cerveceros sausages. Therefore, it is possible to develop an efficient antimicrobial active biofilm against the growth of *L. monocytogenes* in order to improve food safety and shelf life of meat products.

**Keywords:** Biofilm, plant extracts, gellan gum, cerveceros sausages.

## INTRODUCCIÓN

*Listeria monocytogenes* es una bacteria emergente causante de listeriosis. Una infección causada por la ingestión de alimentos contaminados con la bacteria. Esta enfermedad afecta principalmente a mujeres embarazadas, adultos mayores, recién nacidos y personas inmunocomprometidas (1). En los brotes de listeriosis, diversos tipos de matrices alimentarias han sido implicadas, entre los cuales los productos refrigerados y listos para consumo han sido los más susceptibles al crecimiento de *L. monocytogenes* (2).

*Listeria monocytogenes* es una bacteria facultativa Gram positiva ampliamente distribuida en la naturaleza. Esta bacteria tiene la capacidad de sobrevivir en un amplio rango de temperaturas (5-37°C), por lo cual puede ser transmitida directamente a las personas por la ingesta de alimentos listos para consumo (3). Además, el género *Listeria* puede crecer bajo condiciones cambiantes de las propiedades intrínsecas (pH, Aw, Eh etc.) de los alimentos y sobrevivir a condiciones gástricas (4).

Debido a que *L. monocytogenes* puede sobrevivir y proliferar bajo temperaturas de refrigeración, los alimentos listos para consumo han sido asociados mayoritariamente con los brotes de listeriosis. Dentro de los alimentos listos para consumo, los productos cárnicos por su composición nutricional son susceptibles a ser contaminados con

este patógeno a través de las materias primas, las condiciones durante el procesamiento y venta (5). En Colombia, principalmente en la Costa Caribe la venta de salchichón cervecero es muy común llegando a comercializarse principalmente en forma de rodajas en algunas tiendas de barrio como parte de la cultura popular de la región.

Como estrategia para prolongar la vida útil de los productos alimenticios diversas metodologías se han venido utilizando. Una de las metodologías más empleadas es la aplicación de biopelículas (BP) comestibles. Las BP pueden ser utilizadas para recubrir superficies alimentarias, separar zonas e ingredientes incompatibles, formar una barrera contra el oxígeno, aromas, etc. Entre otras características importantes, también pueden ser empleadas como acarreadores de agentes funcionales tales como antioxidantes y sustancias antimicrobianas para mejorar la seguridad y estabilidad de alimentos (6). La incidencia de las BP conteniendo extracto acuoso de toronjil (*Melissa officinalis* L), sobre la vida útil de algunas matrices alimentarias ha sido estudiado (7). Sin embargo, pocos estudios se han llevado a cabo en productos comercializados al por menor. Por consiguiente, el objetivo de la presente investigación fue estudiar la potencial aplicación de un empaque activo conteniendo mezclas de extractos vegetales en la inhibición del crecimiento de *Listeria monocytogenes*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención del extracto vegetal acuoso

Las plantas de Sábila (*Aloe vera*), Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) y Toronjil (*Melissa officinalis* L), fueron lavadas con agua destilada e hipoclorito de sodio a 200 ppm durante 5 min y enjuagadas con abundante agua destilada. Las hojas fueron secadas al aire a temperatura ambiente y finalmente el material es pesado y triturado en una proporción 1:3 (agua destilada: hojas). La solución resultante es filtrada separando la porción acuosa de la vegetal en dos etapas, en la primera etapa se utilizó algodón como medio filtrante y en la segunda etapa se utilizaron filtros de hemicelulosa siguiendo la metodología propuesta por otros autores (8).

### Elaboración de las biopelículas

La goma gelana 0.8 % (p/v) fue disueltas en 40 mL de agua destilada conteniendo 8 mL de glicerol

como agente plastificante. La solución resultante fue sometida a calentamiento 90 °C / 10 minutos en baño de maría; subsiguientemente, la temperatura se disminuyó hasta alcanzar 37 °C con el fin de adicionar el extracto acuoso. Para la formación de las BP fueron dispuestos volúmenes de 15 mL por placa, en cajas de petri previamente esterilizadas. El secado se realizó en una incubadora a 30°C por 24 horas, asegurando la dispersión y uniformidad de las biopelículas (7).

### Determinación del espesor de las Biopelículas

Las BP obtenidas fueron cortadas en forma rectangular (15mm x 50mm); la medida del espesor se tomó con un calibrador Vernier Starrett (precisión 0,1 mm) en cinco puntos distintos de la BP, calculando el promedio entre estos.

### Determinación de la Actividad antibacteriana

Las rodajas de salchichón cervecero inoculadas previamente con una concentración conocida de *L. monocytogenes* fueron recubiertas con las BP conteniendo el extracto acuoso. Posteriormente, las rodajas de salchichón recubierto y sin recubrir (utilizadas como control) fueron almacenadas durante 12 días en un ambiente controlado. El sistema -salchichón-biopelículas activas fue analizado microbiológicamente y se llevó a cabo el conteo de unidades formadoras de colonias durante los 0, 3, 6, 9 y 12 días de almacenamiento.

### Análisis de Datos

Las diferencias entre el número de unidades formadoras de colonia de *L. monocytogenes* en los diferentes días 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

### Espesor de las biopelículas a base de goma gelana y extractos vegetales acuosos

Los resultados con respecto al espesor de las BP obtenidas con y sin la adición de extractos vegetales mostraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), (ver tabla 1), lo cual pone en evidencia la posible interacción entre el extracto vegetal utilizado como agente

antimicrobiano y la matriz polimérica utilizada (goma gelana).

**Tabla 1.** Espesor de las biopelículas control y conteniendo extractos vegetales

Biopelículas	Espesor (mm)
Biopelícula activa	0.23±0.02a
Biopelícula control	0.17±0.01b

Filas sin ninguna letra en común presentaron diferencias significativas a un nivel de confianza del 95 %.

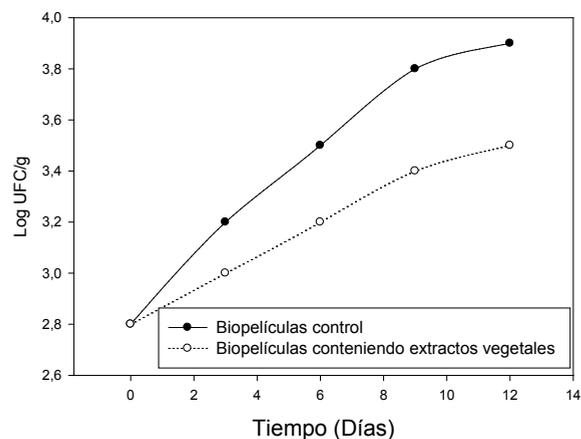
### Actividad antimicrobiana in vitro y en rodajas de salchichón cervecero

La actividad antimicrobiana fue desarrollada de manera in vitro y en rodajas de salchichón cervecero. Con respecto a las pruebas llevadas a cabo en las cajas de Petri se comprobó que realmente existe un efecto inhibitorio significativo ( $P < 0.05$ ), debido a que se observó una disminución de 1.3 logaritmos por parte de las BP activas (datos no mostrados), es decir aquellas BP que contienen los extractos vegetales acuosos, mientras que las BP control (elaboradas con agua destilada y goma gelana) no mostraron ninguna disminución en el número de unidades formadoras de colonia de *L. monocytogenes*.

Debido al control ejercido por parte de las BP activas in vitro sobre *L. monocytogenes* se realizaron pruebas en una matriz alimentaria de consumo popular en la región Caribe colombiana como es el salchichón cervecero. Estas pruebas, confirmaron el mencionado efecto antimicrobiano llevado a cabo en cajas de Petri. Sin embargo, dicho efecto se encontró en una menor proporción; es decir, una disminución en el logaritmo del número de colonias de *L. monocytogenes* cercano a 0.5. Tal efecto, puede ser consecuencia de una potencial interacción de los compuestos antimicrobianos presentes en los extractos vegetales acuosos y compuestos presentes en la matriz alimentaria conllevando a una pérdida en la capacidad bactericida de la BP activa.

En la figura 1 se aprecia el comportamiento de *L. monocytogenes* en las rodajas de salchichón cervecero empacado con BP activas y control durante almacenamiento. Se observa que el efecto anti-listeria ejercido por las BP activas incrementa a media que aumenta el tiempo de almacenamiento de las

rodajas de salchichón cervecero. Al iniciar el almacenamiento (tiempo 0) se presenta una igualdad en las concentraciones de *L. monocytogenes* en las rodajas recubiertas con las BP activas y control. A los tres días de almacenamiento se puede notar una disminución cercana a 0.2 log en las UFC/g de *L. monocytogenes* en las rodajas recubiertas con las BP activas. Durante los tiempos de almacenamiento 6, 9 y 12 días se presenta una disminución de 0.3, 0.4 y 0.4 log respectivamente en las UFC/g de *L. monocytogenes*.



**Figura 1.** Actividad antimicrobiana de las biopelículas contra *L. monocytogenes* en rodajas de salchichón cervecero.

## DISCUSIÓN

### Espesor de las BP a base de goma gelana y extractos vegetales acuosos

Determinar el espesor de las BP tendientes a ser utilizadas en aplicaciones alimentarias, es un parámetro relevante porque este factor influye directamente en la transferencia de gases, lo cual es de gran importancia en la preservación de alimentos. Las variaciones obtenidas en los espesores de las BP probablemente fueron originadas por la interacción entre la matriz polimérica y algunos componentes presentes en el extracto vegetal acuoso (9, 10, 11). Los espesores obtenidos en la presente investigación estuvieron entre 0.17 y 0.23 mm, los cuales se encuentran dentro de los rangos reportados por (11) Pérez Espitia y col, (2013) quienes encontraron espesores de 0.14 a 0.23 mm en películas celulósicas que contenían pediocina como compuesto anti listeria.

### Actividad antimicrobiana in vitro y en rodajas de salchichón cervecero

La actividad anti listeria encontrada in vitro fue mayor en comparación a la actividad en las rodajas de salchichón como consecuencia de la mencionada interacción de los componentes (grasas y proteínas) del salchichón con los compuestos anti listeria presentes en el extracto vegetal acuoso (12). Varios estudios (11, 13) se han llevado a cabo sobre sustancias antimicrobianas, tales como aceites esenciales, ácidos orgánicos y péptidos mostrando que se requieren concentraciones superiores a las reportadas en el presente manuscrito para lograr un efecto control in vitro (13). Teniendo esto en consideración, es importante destacar que los niveles de antimicrobianos y sus componentes activos necesarios para inhibir el crecimiento microbiano son mayores en los alimentos a los que normalmente se encuentran cuando se realizan las pruebas en medios de cultivo.

Nuestros resultados en cuanto a efecto antimicrobiano concuerdan con estudios previos publicados (11), estos autores reportaron una disminución del crecimiento de *L. monocytogenes* cercana a 1.2 Log UFC/g en muestras de mortadela recubierta de una película conteniendo pediocina como sustancia antimicrobiana.

## CONCLUSIONES

Las biopelículas elaboradas a base de goma gelana conteniendo como extractos vegetales Sábila, Eucalipto y Toronjil mostraron actividad antimicrobiana contra *L. monocytogenes* en rodajas de salchichón cervecero, debido a reducciones promedio de 0.5 log durante el almacenamiento. Por consiguiente, es posible elaborar una biopelícula activa antimicrobiana eficiente contra el crecimiento de *L. monocytogenes* con el fin de mejorar la seguridad alimentaria y la vida útil de productos cárnicos.

## REFERENCIAS

- Centers for Disease Control and Prevention - CDC. Listeria (Listeriosis). Atlanta: Center for disease control and prevention, Citado: 02 Agosto de 2013. Disponible en: <http://www.cdc.gov/listeria>
- Martins E, Germano P. Listeria monocytogenes in ready-to-eat, sliced, cooked ham and salami products, marketed in the city of São Paulo, Brazil: Occurrence, quantification, and serotyping. Food Control. 2011; 22(2): 297-302.
- Ramaswamy V, Cresence V, Rejitha J, Lekshmi M, Dharsana K, Prasad S, Vijila M. Listeria— review of epidemiology and pathogenesis. J Microbiol Imm and Infect. 2007; 40(2): 4-13.

4. Gandhi M, Chikindas M. L. *Listeria*: A foodborne pathogen that knows how to survive. *Int J. Food Microbiol.* 2007; 113(1): 1-15.
5. Sofos J, Geornaras I. Overview of current meat hygiene and safety risks and summary of recent studies on biofilms, and control of *Escherichia coli* O157:H7 in nonintact, and *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat, meat products. *Meat Science.* 2010; 86(1): 2-14.
6. Lin D, Zhao Y. Innovations in the developmet and application of edible coating for fresh and minimally processes fruit and vegetables. *Comp Rev Food Sci Food Saf.* 2007; 6(1): 60-74.
7. González R, Castro J, Caro Y. Obtención de Biopelículas Binarias Activas y su Efecto en la Vida Útil Microbiológica del Camarón Blanco (*Penaeus vannamei*). *Inf Tecnol.* 2015; 26(5): 3-10.
8. Herrera F, García R. Evaluación in vitro del efecto bactericida de extracto acuso de laurel, clavo, canela, y tomillo sobre cinco cepas bacterianas patógenas de origen alimentario. *Bistua.* 2006; 4(2): 13-19.
9. Camilloto G, Soares N, Pires A, Paula F. Preservation of sliced ham through triclosan active film. *Packaging Technol Sci.* 2009; 22(8): 471-477.
10. Gounga M, Xu S, Wang Z. Whey protein isolate based edible films as affected by protein concentration, glycerol ratio and pullulan addition in film formation. *J Food Eng.* 2007; 83(4): 521-530.
11. Pérez Espitia P, Reina J, Ramos de Melo N, Fátima F, Durango A. Packaging properties and control of *Listeria monocytogenes* in bologna by cellulosic films incorporated with pediocin. *Brailian J. Food Technol.* 2013; 16(3): 226-235.
12. Tzortzakis N, Economakis C. Antifungal activity of lemongrass (*Cymbopogon citratus* L.) essential oil against key postharvest pathogens. *Inn Food Sci Emerg Technol.* 2007; 8(2): 253-258.
13. Muriel Galet V, López Carballo G, Gavara R, Hernández Muñoz P. Antimicrobial food packaging film based on the release of LAE from EVOH. *Int J. Food Microbiol.* 2012; 157(2): 239-244.

# CARACTERIZACIÓN FÍSICO MECÁNICA DE BIOPELÍCULAS COMESTIBLES BINARIAS A BASE DE K – CARRAGENATO Y GELANA DE ALTO ACILO

PHYSICO MECHANICAL CHARACTERIZATION OF EDIBLE BINARY BIOFILM BASED ON K - CARRAGEENAN AND HIGH ACYL GELLAN

Rafael Emilio GONZÁLEZ CUELLO PhD<sup>1\*</sup>, Lena Beatriz MORÓN ALCÁZAR PhD<sup>1</sup>, Arnulfo Antonio TARON DUNOYER PhD<sup>1</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** La determinación de las propiedades físico mecánicas en biopelículas (BP) comestibles es un aspecto importante, debido a que contribuye en cierta forma con la clasificación de los materiales empleados y permite conocer en qué tipo de matrices alimentarias pueden ser utilizadas. Con el uso de BP comestibles es posible disminuir el impacto ambiental negativo ocasionado por el uso recurrente de los materiales termoplásticos.

**Objetivos:** El presente trabajo se estudian algunas propiedades físico-mecánicas de biopelículas comestibles elaboradas a base de mezclas biopoliméricas binarias de k – carragenato (KC) y gelana de alto acilo (GAA) a diferentes proporciones.

**Métodos:** Las BP fueron elaboradas a partir de las dispersiones de mezclas de KC y GAA a diferentes proporciones, sometidas a calentamiento a 90°C durante 10 minutos en presencia de glicerol como agente plastificante. El secado de las BP fue llevado a cabo a temperatura constante durante 24 h. los principales factores físico mecánicos evaluados fueron la resistencia a la tensión (RT), la elongación al quiebre (EQ), velocidad de transmisión de agua (VTVA) y la permeabilidad al vapor de agua (PVA). Los dos primeros fueron determinados en un texturometro, mientras que VTVA y la PVA se estimaron por gravimetría.

**Resultados:** las BP elaboradas únicamente con GAA presentaron los máximos valores de RT ( $32.34 \pm 1.43$  MPa), EQ ( $2.34 \pm 1.34$  %) PVA ( $1.22 \pm 0.43$  (g mm)/(m<sup>2</sup> h kPa), VTVA ( $37.17 \pm 0.04$  (g/(m<sup>2</sup> h)) y humedad ( $34.23 \pm 0.43$ %). Por cuanto, las biopelículas conteniendo KC presentaron los menores valores de las

propiedades antes mencionadas. Las mezclas GAA/KC presentaron valores intermedios.

**Conclusión:** La presencia de GAA incrementa los valores de VPA, VTVA y humedad, por lo cual mezclar la GAA con KC pueden controlar las propiedades físico mecánicas, lo cual sugiere la posibilidad de utilizar combinaciones de GAA y KC como una fuente para la obtención de empaques biodegradable para aplicaciones alimentarias.

**Palabras clave:** Biopelículas comestibles, mezclas poliméricas, k – carragenato, gelana de alto acilo.

## ABSTRACT

**Background:** Determining the physic - mechanical properties in edible biofilms (EBF) is an important aspect, because it contributes in some ways to the classification of the materials employed and allows classified what kind of materials are ideal for the EBF productions.

**Objectives:** In this study some physico mechanical properties of EBF prepared from polymeric mixtures of k - carrageenan (KC) and high acyl gellan (HAG) at different proportions.

**Methods:** Biofilms were prepared from mixtures of KC and HAG dispersions subjected to heating at 90 ° C for 10 minutes in the presence of glycerol as plasticizer. The drying of the films was carried out at constant temperature for 24 h. The principal physico mechanical factors evaluated included tensile strength (TS), elongation at break (EB), water vapor transmission rate (WVTR) and water vapor permeability (WVP). The first two factors were determined in a texture analyzer, while WVTR and WVP were estimated by gra-

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena. Cartagena D.T y C., Colombia.

\* Autor de correspondencia: rgonzalezc1@unicartagena.edu.co

vimetry. **Results:** Biofilms elaborated only with HAG showed maximum values of TS ( $32.34 \pm 1.43$  MPa), EB ( $2.34 \pm 1.34$  %) WVP ( $1.22 \pm 0.43$  (g mm)/(m<sup>2</sup> h kPa), VTVA ( $37.17 \pm 0.04$  (g/(m<sup>2</sup> h)) and moisture ( $34.23 \pm 0.43$ %). Whereas, biofilms that only contain KC, presented lowest values of aforementioned properties. The mixtures HAGA/KC showed intermediates values. **Conclusions:** The presence of HAG increased the values of WVP, VTVA and moisture, which mixing KC and HAG, it is possible to control the physico - mechanical properties, and this behavior suggests the possibility of employs combinations of HAG and KC as a source of biodegradable packaging for food applications.

**Keywords:** Edible biofilms, Polymer blends, k - carrageenan, high- acyl gellan.

## INTRODUCCIÓN

El incremento en la producción de películas y recubrimientos sintéticos creció exponencialmente en las últimas décadas causando serios problemas ambientales por la naturaleza no biodegradables de este tipo de materiales (1). Teniendo esto en consideración, varios investigadores se han enfocado en la utilización de materiales biodegradables para el empaqueo de matrices alimentarias (2, 3).

Las biopelículas (BP) y recubrimientos comestibles (RC) son elaborados a partir de compuestos completamente biodegradables que potencialmente pueden ser utilizados para el empaque de varias matrices alimentarias. Las BP pueden disminuir el daño mecánico ocasionado durante el acondicionamiento del producto por la formación de una capa continua y sólida sobre la superficie del alimento (4). Los materiales empleados para la producción de BP comestibles usualmente son proteínas, polisacáridos y lípidos (5, 3, 4). Aunque el potencial de los polisacáridos como películas comestibles ha sido ampliamente reconocido (6, 7).

Investigaciones previas han mostrado que varios biopolímeros que generalmente son conocidos como agentes espesantes o estabilizantes pueden también ser utilizados para la formación de BP (8). El carragenato es un hidrocoloide extraído de algas rojas y es utilizado mayoritariamente como estabilizante en alimentos (9). Químicamente consiste de uniones alternantes de 1,3  $\alpha$ -D- galactopiranososa y 1,4  $\beta$ -(3,6-anhidro) D-galactopiranososa. El carragenato se encuentra presente mayoritariamente en tres variedades conocidas como k-, I- y  $\lambda$ , las cuales

difieren una de la otra en el número y posición de los grupos sulfatos presentes en las unidades de repetición de la galactopiranososa (10). La goma gelana es un heteropolisacárido lineal aniónico compuesto de unidades de repetición de un tetrasacárido (1-3  $\beta$  D glucosa, 1,4  $\beta$  D ácido glucurónico, 1,4  $\beta$  D glucosa,  $\alpha$ -L ramnosa) (11). La gelana nativa es conocida como gelana de alto acilo (GAA) debido a que posee un grupo acetato (C6) y un grupo glicerato (C2) en su residuo de glucosa-A.

Varios autores han reportado los efectos sinérgicos entre distintos polisacáridos como KC c y goma algarrobo (12), alginato y almidón de maíz (4), goma gelana y proteína de suero lácteo (3). Sin embargo, hasta el momento no se han realizado esfuerzos por estudiar las características de mezclas de KC y GAA como agentes formadores de BP comestibles. Por tanto, el objetivo de la presente investigación fue desarrollar biopelículas a base de k carragenato y gelana de alto acilo evaluando las propiedades físico - mecánicas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Elaboración de las biopelículas

El KC y la GAA y sus mezclas 25KC/75GAA, 50KC/50GAA y 75KC/25GAA fueron disueltos en 39 mL de agua destilada. Luego se incorporó una concentración adecuada de glicerol como agente plastificante. La solución resultante fue sometida a calentamiento 90 °C/10 minutos en baño de maría. El secado se realizó en una incubadora a 30°C por 24 horas.

### Propiedades mecánicas

Después de obtener las BP se determinó la resistencia a la tensión (RT) y el porcentaje de elongación al quiebre (EQ) de las mismas mediante pruebas de tracción utilizando un texturometro Shimadzu modelo EZ-Test EZ-S empleando una geometría de mordazas a una velocidad de separación de 30 mm/min.

### Espesor, transparencia y contenido de humedad de las biopelículas

El espesor de las biopelículas fue determinado utilizando un micrómetro con una exactitud de 0.01 mm. La transparencia fue determinada a una longitud de onda de 560 nm. La humedad fue estimada gravimétricamente mediante secado a 80°C por 20 h.

## Permeabilidad y velocidad de transmisión del vapor de agua

Los valores de permeabilidad al vapor de agua (PVA), velocidad de transmisión de vapor de agua (VTVA) fueron medidos gravimétricamente conforme al método ASTM E96-00 con un 100% de gradiente de humedad a 25°C (13).

### Análisis de los Datos

Los datos se presentan como promedio aritmético  $\pm$  desviación estándar. Las diferencia entre los promedios aritméticos fue establecida mediante análisis normal de varianza (ANOVA – un factor) utilizando la prueba de tukey a un nivel de confianza del 95 %.

## RESULTADOS

### Espesor de las biopelículas

El espesor de las BP estuvo entre 1.16 y 1.21 mm observándose diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las distintas proporciones de GAA y KC. Las BP elaboradas a base únicamente de GAA presentaron los mayores espesores, mientras que aquellas elaboradas a base de KC tuvieron los menores espesores y sus respectivas mezclas presentaron espesores intermedios.

**Tabla 1.** Espesor de las biopelículas a base de GAA, KC y sus mezclas

Proporción de GAA/KC	Espesor (mm)
100/0	1,21 <sup>b</sup> $\pm$ 0,46
75/25	1,20 <sup>b</sup> $\pm$ 0,67
50/50	1,18 <sup>a</sup> $\pm$ 0,56
25/75	1,17 <sup>a</sup> $\pm$ 0,77
0/100	1,16 <sup>a</sup> $\pm$ 0,75

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

### Contenido de humedad, VPA, VTVA y transparencia de biopelículas

El contenido de humedad de las BP de GAA, KC y sus mezclas varió de 18.18 % hasta 34.23 % observándose un aumento significativo ( $p < 0.05$ ) conforme incrementa la concentración de GAA, lo cual es una evidencia de una mayor capacidad de retención de agua por parte de esta goma en comparación con el KC. Un comportamiento similar es obtenido para VPA y VTVA (ver tabla

2). Con respecto a la transparencia, únicamente se apreciaron diferencias significativas cuando las concentraciones de KC fueron superiores al 75%.

**Tabla 2.** Contenido de humedad, VPA, VTVA y transparencia de biopelículas

Proporción de GAA/KC	Contenido de humedad	PVA (g mm)/(m <sup>2</sup> h kPa)	VTVA (g/(m <sup>2</sup> h))	Transparencia
100/0	34.23 <sup>a</sup> $\pm$ 0.43	1.22 <sup>a</sup> $\pm$ 0.43	37.17 <sup>a</sup> $\pm$ 0.04	69.88 <sup>a</sup> $\pm$ 0.08
75/25	30.34 <sup>b</sup> $\pm$ 1.04	0.88 <sup>b</sup> $\pm$ 0.38	34.77 <sup>b</sup> $\pm$ 0.21	70.38 <sup>a</sup> $\pm$ 1.07
50/50	27.76 <sup>c</sup> $\pm$ 0.12	0.75 <sup>c</sup> $\pm$ 0.43	27.08 <sup>c</sup> $\pm$ 0.06	70.73 <sup>a</sup> $\pm$ 0.52
25/75	22.02 <sup>d</sup> $\pm$ 0.96	0.69 <sup>d</sup> $\pm$ 0.52	21.56 <sup>d</sup> $\pm$ 2.31	72.21 <sup>b</sup> $\pm$ 0.26
0/100	18.18 <sup>e</sup> $\pm$ 0.70	0.41 <sup>e</sup> $\pm$ 0.61	18.06 <sup>e</sup> $\pm$ 1.04	72.87 <sup>b</sup> $\pm$ 0.61

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

### Propiedades mecánicas de las biopelículas de a base de GAA, KC y sus mezclas

En la tabla 3 se presentan los porcentajes de RT y EQ de las BP de GAA, KC y sus mezclas. Los valores de RT de las BP de GAA (32.34 MPa) son mayores a los obtenidos para el KC (24.51 MPa) y sus mezclas tienen valores intermedios. Los porcentajes de EQ son directamente proporcionales a las concentraciones de GAA, ya que al aumentar las proporciones de la goma gelana se obtiene un incremento en los valores de EQ. Este comportamiento indica que la incorporación de goma gelana en las BP conlleva a un incremento en las interacciones moleculares aumentando así la fuerza cohesiva de las BP.

**Tabla 3.** Propiedades mecánicas de las biopelículas de GAA, y sus mezclas

Proporción de GAA/ KC	RT (MPa)	EQ (%)
100/0	32.34 <sup>a</sup> $\pm$ 1.43	2.34 <sup>a</sup> $\pm$ 1.34
75/25	29.56 <sup>b</sup> $\pm$ 2.45	1.74 <sup>b</sup> $\pm$ 1.28
50/50	27.19 <sup>c</sup> $\pm$ 0.43	1.47 <sup>c</sup> $\pm$ 0.93
25/75	25.03 <sup>d</sup> $\pm$ 1.85	1.26 <sup>d</sup> $\pm$ 2.12
0/100	24.51 <sup>e</sup> $\pm$ 2.04	0.73 <sup>e</sup> $\pm$ 2.45

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

## DISCUSIÓN

### Espesor de las biopelículas

El cambio en las proporciones de GAA y KC produce una variación significativa en el espesor de

las BP resultantes, este comportamiento puede ser atribuido al efecto que tiene la GAA sobre la reología de las dispersiones, principalmente la viscosidad (11). Estos resultados difieren de los reportados por Mostafavi y col, (2016) (14) quienes no encontraron diferencias significativas en el espesor de BP a base de goma tragacanto y goma algarrobo, lo cual atribuyen al estricto control durante el proceso de secado de las muestras.

### **Contenido de humedad, VPA, VTVA y transparencia de biopelículas**

Debido a que el agua puede actuar como plastificante y además ayuda en las interacciones entre hidrocoloides, su determinación en biopelículas resulta importante. Como se menciona en la tabla 2, su concentración es mayor en las BP con mayor concentración de GAA. Esto significa que la incorporación de GAA modifica la estructura de las BP, debido al mecanismo de gelificación de la GAA que atrapa más agua en su interior en comparación al KC. Valores similares en el contenido de humedad han sido reportados en biopelículas a base de polisacáridos (15, 12).

La permeabilidad al vapor de agua es un indicador de como la humedad fácilmente atraviesa las BP (16). Uno de los requerimientos más importantes en las BP comestibles es disminuir la transferencia de humedad entre la matriz alimentaria y su medio ambiente, en tanto, la PVA debe ser lo más baja posible (15). Los valores de VPA estuvieron entre 0.41 y 1.22 (gm)/(m<sup>2</sup>h kPa) para las BP de GAA y KC respectivamente, mientras que sus mezclas presentaron valores intermedios. Similarmente, la VTVA es otra característica relevante para la naturaleza hidrofílica de las BP. Los valores para VTVA fueron de 18.06 a 17.17 (g/(m<sup>2</sup> h) mostrando un comportamiento similar al encontrado en PVA. Estudios previos han reportado resultados similares para PVA y VTVA en biopelículas poliméricas (14; 17). Las diferencias obtenidas en los valores de PVA y VTVA pueden ser ocasionados por la estructura química de los polímeros utilizados, principalmente por la goma gelana.

La transparencia es una propiedad crítica para las BP comestibles que afecta la apariencia en general y determina el tipo de aplicación. Los valores de transparencia obtenidos en la presente investigación (69.88 y 72.87) son menores a los publicados por Mostafavi y col, (2016) (14). Estos autores reportaron valores de transparencia cercanos a 80 en BP a base de goma algarrobo y goma tragacanto.

### **Propiedades mecánicas de las biopelículas**

Debido a que las BP generalmente son sometidas a diferentes esfuerzos externos durante el empaque y acondicionamiento de las matrices alimentarias, sus propiedades mecánicas son un parámetro importante, práctico y tecnológico con el fin de seleccionar los componentes ideales para su elaboración. En este estudio, las propiedades mecánicas fueron determinadas con base a la RT y la EQ. Estos dos parámetros son considerados las medidas apropiadas para evaluar la resistencia y flexibilidad de las BP (15). Los valores para RT (24.51 y 32.34 MPa) y EQ (2.34 y 0.73 %) fueron mayores a los publicados por Mostafavi y col, (2016) (14) quienes encontraron valores para RT de 11.60 a 24.29 MPa y de 0.72 a 1.73 % para EQ en BP a base de goma tragacanto y goma algarrobo, estas diferencias son debido a las diferencias estructurales presentes en cada hidrocoloide, lo que conlleva a que se puedan establecer una cantidad de enlaces de hidrógeno variable. Ha sido demostrado que las BP naturales o sintéticas con mayor RT usualmente muestran una menor EQ debido a sus características estructurales (17). Sin embargo, esta regla no fue aplicable a las BP a base de GAA y KC y sus mezclas, las cuales pueden ser el resultado de las diferentes tipos e intensidad de las interacciones que tienen lugar entre los polisacáridos (14).

## **CONCLUSIONES**

Los resultados obtenidos proporcionan una información interesante sobre las propiedades funcionales de las biopelículas a base de GAA y KC, así como sus respectivas mezclas. Los valores de RT y EQ mejoraron con el contenido de GAA/KC en las biopelículas. La presencia de GAA incrementa los valores de VPA, VTVA y humedad, por lo cual mezclar la GAA con KC pueden controlarse las propiedades físico-mecánicas evaluadas en el presente estudio. Estos resultados son realmente prometedores y sugieren la posibilidad de utilizar combinaciones de GAA y KC para ser considerado como una fuente de empaque biodegradable para aplicaciones alimentarias.

## **REFERENCIAS**

1. Muscat, D, Adhikari B, Adhikari R, y Chaudhary D. Comparative study of film forming behaviour of low and high amylose starches using glycerol and xylitol as plasticizers. *J Food Eng.* 2012; 109(2): 189-201.

2. González R, Morón L, Urbina N. Caracterización Viscoelástica de Biopelículas Obtenidas a Base de Mezclas Binarias. *Inf. Tecnol.* 2015; 26(3): 71-76.
3. Persin Z, Stana-Kleinschek K, Foster T, Van Dam J, Boeriu C, y Navard P. Challenges and opportunities in polysaccharides research and technology: The EPNOE views for the next decade in the areas of materials, food and health care. *Carb Polym.* 2011; 84(1): 22-32.
4. González R., Castro J, Caro Y. Obtención de Biopelículas Binarias Activas y su Efecto en la Vida Útil Microbiológica del Camarón Blanco (*Penaeus vannamei*). *Inf Tecnol.* 2015; 26(5): 3-10.
5. Rodríguez D. y R. Schobitz. Película antimicrobiana a base de proteína de suero lácteo, incorporada con bacterias lácticas como controlador de *Listeria monocytogenes*, aplicada sobre salmón ahumado. *Biotecnol, Sec Agrop Agroind.* 2009; 7(2): 49-54.
6. Nieto M. Structure and function of polysaccharide gum-based edible films and coatings. In K. C. Huber, & M. E. Embuscado (Eds.), *Edible films and coatings for food applications* New York, NY: Springer. 2009; 57-112 p.
7. Falguera V, Quintero J, Jiménez A, Muñoz J, e Ibarz, A. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends Food Sci & Technol.* 2011; 22(6): 292-303.
8. Phan The D, Debeaufort F, Voilley A, y Luu, D. Biopolymer interactions affect the functional properties of edible films based on agar, cassava starch and arabino xylan blends. *J. Food Eng.* 2009; 90(4): 548-558.
9. Van de Velde F, y Ruiters A. Carrageenan. In A. Steinbüchel, & S. K. Rhee (Eds) *Polysaccharides and polyamides in the food industry* (Vol.1) Weinheim: Wiley-VCH (Chapter 3). 2005; 85-114p.
10. Kumar A, Sharma M, Mondal D, Prasad K. Deep eutectic solvents as efficient solvent system for the extraction of k-carrageenan from *Kappaphycus alvarezii*. *Carb Polym.* 2016; 136: 930-935.
11. González R, Salazar, J, Orea, A, Ramos, E. Rheological characterization and activation energy values of binary mixtures of gellan. *Eur Food Res Technol.* 2012; 235: 305-313.
12. Martins J, Cerqueira M, Bourbon A, Pinheiro A, Souza B, y Vicente A. Synergistic effects between -carrageenan and locust bean gum on physicochemical properties of edible films made thereof. *Food Hydrocol.* 2012; 29(2): 280-289.
13. ASTM. Standard method for water vapour transmission of materials. In Designation E96-00. Annual book of ASTM standards. American Society for Testing and Materials. 2000.
14. Mostafavi S, Kadkhodaei R, Emadzadeh B, Koocheki A. Preparation and characterization of tragacanth–locust bean gum edible blend films. *Carb Polym.* 2016; 139(2): 20-27.
15. Kurt A, y Kahyaoglu T. Characterization of a new biodegradable edible film made from salep glucomannan. *Carb Polym.* 2014; 104(0): 50-58.
16. Hernández, E. *Edible coatings from lipids and resins, Edible coatings and films to improve food quality.* Lancaster, PA: Technomic Publishing Co. 1994; 279-303p.
17. Seyedi S, Koocheki A, Mohebbi M, y Zahedi Y. *Lepidium perfoliatum* seed gum: A new source of carbohydrate to make a biodegradable film. *Carb Polym.* 2014; 101(0): 349-358.

# EVALUCIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE CÁSCARA DE TRES VARIEDADES DE PAPA (*Solanum tuberosum*) CULTIVADAS EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO

EVALUATION OF ANTIOXIDANT ACTIVITY OF PEEL OF THREE VARIETIES OF POTATO (*Solanum tuberosum*) GROWN IN NARIÑO

Iván LÓPEZ-LEDEZMA<sup>1\*</sup>, Leidy CERÓN-MARTÍNEZ<sup>1</sup>, Mauricio BUCHELI JURADO<sup>2</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** En los últimos años, las tendencias mundiales de la alimentación, indican un interés acentuado en la identificación y obtención de sustancias a partir de fuentes naturales con capacidad antioxidante, con la finalidad de minimizar el consumo de productos sintéticos. En este sentido, el extracto de la cáscara de papa ha probado poseer una potente actividad antioxidante debido a su alto contenido de ácidos fenólicos. **Objetivo:** Este estudio tuvo como objetivo determinar la capacidad antioxidante de extractos de cáscaras de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*): Diacol Capiro, Parda Pastusa y Roja Nariño. **Métodos:** Los extractos de cáscara de papa se obtuvieron por medio de técnicas de extracción con solventes orgánicos (metanol y etanol grado HPLC), en condiciones de agitación constante a temperatura ambiente, con un tamaño de partícula de 0.214 mm y un tiempo de contacto de 20 horas. El contenido de fenoles totales se determinó por el método de Folin-Ciocalteu, la actividad antioxidante se cuantificó por medio del radical 2,2 azinobis-(3-etilbenzotiazon-6-ácido sulfónico) (ABTS•+) y 2,2- difenil-picrilhidrazilo (DPPH•). Además se realizó la determinación de compuestos fenólicos por medio de un análisis de cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC). **Resultados:** Se encontró un mayor contenido de fenoles y de actividad antioxidante cuando se utilizó metanol grado HPLC como solvente de extracción. Los extractos metanólicos de la variedad Diacol Ca-

piro mostraron un mayor contenido de compuestos fenólicos con 652.90 mg AGE/100g de cáscara de papa seca, la actividad antioxidante expresada como TEAC fue 0,0928mmol trolox/ g de cáscara de papa seca, el valor de EC<sub>50</sub> fue de 26,906 g cáscara de papa seca/ L, la Eficiencia Antirradical fue 6,183 x 10<sup>-3</sup>. **Conclusiones:** Los extractos metanólicos de la variedad Diacol Capiro presentaron el mayor contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante respecto a las otras variedades Parda Pastusa y Roja Nariño.

**Palabras clave:** Antioxidante, cáscaras de papa, fenoles, ABTS, DPPH

## ABSTRACT

**Background:** The global trends in supply in recent years, indicate a strong interest in identifying and obtaining natural substances with antioxidant capacity, in order to minimize the consumption of synthetic antioxidants, so as to extract Peel potato has proven to possess potent antioxidant activity to be a source of phenolic acids. **Objective:** This study aimed to determine the antioxidant capacity of extracts peel of three varieties of potato (*Solanum tuberosum*): Diacol Capiro, Parda Pastusa and Roja Nariño. **Methods:** The extracts were obtained by extraction techniques with organic solvents (HPLC grade methanol and ethanol), under constant stirring at room temperature, with a particle size of 0.214 mm and a contact time of 20 hours. The total phenolic content was determined by the

1 Ingeniero Agroindustrial, Grupo de Investigación Tecnologías Emergentes en Agroindustria, Departamento de Procesos Industriales, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.

2 Magister en Ingeniería de Alimentos, Grupo de Investigación Tecnologías Emergentes en Agroindustria, Departamento de Procesos Industriales, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: ivandres89@hotmail.com

Folin-Ciocalteu method, the antioxidant activity was quantified by the radical 2,2-azino-bis-(3-ethylbenzothiazol-6-sulfonic acid) (ABTS • +) and 2,2-diphenyl-picrilhidrazilo (DPPH •). Besides the determination of phenolic compounds it was carried out through an analysis of high performance liquid chromatography (HPLC). **Results:** A higher content of phenolics and antioxidant activity was found when methanol was used as the extraction solvent HPLC. The methanol extracts of the variety Diacol Capiro showed a higher content of phenolic compounds AGE 652.90 mg / 100 g dried potato peel, antioxidant activity was expressed as TEAC 0,0928mmol trolox/g dried potato peel, the value of EC50 of 26,906 g dry shell/ L potato and antiradical efficiency of  $6,183 \times 10^{-3}$  obtained. **Conclusions:** Methanol extracts of the variety Diacol Capiro showed the highest phenolic content and antioxidant activity against the other varieties tested.

**Keywords:** Antioxidant, potato peels, phenols, ABTS, DPPH

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la papa (*Solanum tuberosum*) ocupa el cuarto lugar en importancia como producto alimenticio después del trigo, el maíz y el arroz, con cerca de 295 millones de toneladas anuales producidas (1). En Colombia el desarrollo de este cultivo se presenta principalmente en zonas de clima frío, en donde se destaca el departamento de Nariño por presentar condiciones agroecológicas favorables, puesto que la producción óptima de la papa se da en aquellas zonas ubicadas entre los 2.500 y 3.000 metros de altitud sobre el nivel del mar, por lo que de acuerdo con el informe de la Gobernación de Nariño, el departamento cuenta con 14.610 hectáreas sembradas de papa y 16.419 productores, 25 mil familias, de la cual se derivan 3.600.000 jornales anuales y 350 mil empleos indirectos (2).

El consumo mundial de este tubérculo está pasando del producto fresco a los productos alimentarios industriales, con valor añadido, lo cual ha conducido a que este procesamiento genere residuos, como las cáscaras, que no generan ningún valor agregado a la cadena productiva (3). Según (4) el extracto de la cáscara de papa probó poseer una potente actividad antioxidante, concluyendo que este extracto natural es una alternativa que permite reemplazar a los antioxidantes sintéticos para la conservación de alimentos.

Es así como, el objetivo de este proyecto es determinar la actividad antioxidante de cáscaras de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*), en el Departamento de Nariño.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Adecuación de la materia prima y obtención de los extractos

Las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) fueron proporcionadas por un restaurante reconocido en la ciudad de Pasto. Las cáscaras de papa fueron secadas en un secador de bandejas marca FIQ-LTDA- CST-800, a una temperatura de 60°C con velocidad de aire de 8 m/s durante 24 horas, molidas en un molino de cuchillas IKA WORKS INC- M20 y tamizadas utilizando una tamizadora modelo PS-35 serie 1182 en la serie de tamices (40-100, A.S.T.M.E.).

Para la extracción, se prepararon soluciones de 5% p/v con etanol y metanol grado HPLC (5), utilizando planchas de agitación THOMAS SCIENTIFIC a temperatura ambiente y 1600 rpm. Los sobrenadantes fueron analizados en un espectrofotómetro Génesis 10UV-Vis Scanning Thermo Fisher Scientific.

### Evaluación de la Actividad Antioxidante

**Determinación de fenoles totales:** La determinación del contenido de fenoles totales se realizó utilizando el método de (6), empleado por (7,8)

**Ensayo ABTS<sup>•+</sup>:** Se generó el radical ABTS<sup>•+</sup> por medio de una reacción que química con persulfato de potasio. Se empleó la metodología de (9) para realizar las pruebas de actividad antioxidante.

**Ensayo DPPH•:** La capacidad de captura de radicales libres se determinó utilizando el método de 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH•), de acuerdo al método planteado por (10), que se verificó con patrones de ácido ascórbico, ácido gálico y ácido cafeico.

**Análisis de ácido cafeico en cáscaras de papa por HPLC-PDA:** Se desarrolló de acuerdo a la metodología planteada por (11). La identificación del ácido cafeico en las muestras se realizó mediante comparación con un estándar de ácido cafeico (Sigma-Aldrich, USA).

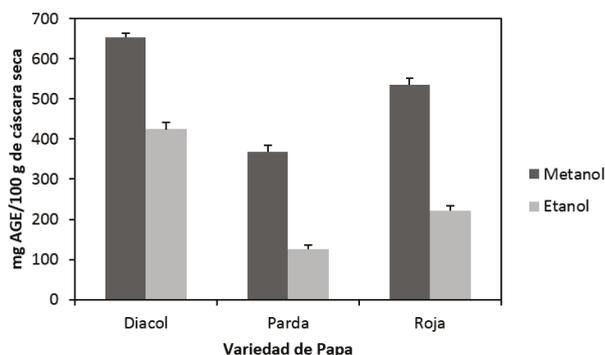
**Diseño experimental:** Se utilizó, un diseño factorial multinivel categórico completamente aleatorizado que se llevó a cabo por triplicado, con

el fin de determinar el contenido de fenoles totales y actividad antioxidante de los extractos, los resultados fueron analizados en el programa estadístico Statgraphics centurion XV.

## RESULTADOS

### Determinación de fenoles totales

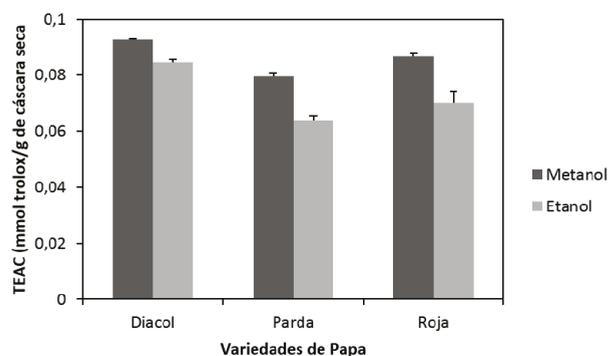
La figura 1 muestra el contenido de fenoles de las variedades estudiadas.



**Figura 1.** Contenido de Fenoles Totales para los extractos de cáscara de papa evaluados

### Ensayo ABTS

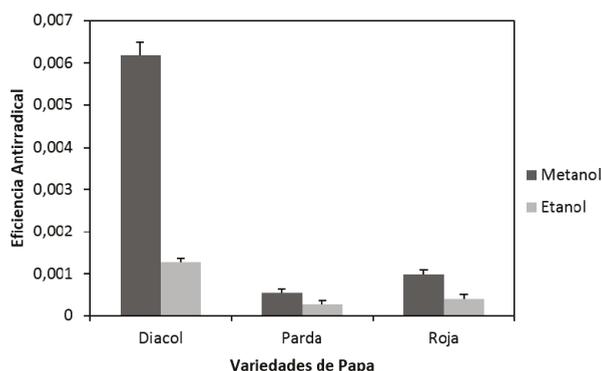
Los resultados de la actividad antioxidante expresada como TEAC se muestran en la figura 2.



**Figura 2.** Actividad antioxidante en TEAC para los extractos de cáscara de papa evaluados

### Ensayo DPPH

Como se observa en la figura 3, la mayor eficiencia antirradical se presenta en la variedad diacol cuando se utilizó metanol como solvente de extracción.



**Figura 3.** Eficiencia antirradical en los extractos de cáscaras de papa evaluados

## ANÁLISIS DE ÁCIDO CAFEICO EN CÁSCARAS DE PAPA POR HPLC-PDA

La tabla 1 muestra los resultados de análisis por HPLC-PDA.

**Tabla 1.** Análisis de ácido cafeico en cascara de papa por HPLC-PDA

Variedad	tR (minutos)	Concentración (mg/L)	Concentración (mg/g de cáscara de papa seca)
Diacol Capiro	5,950	150	0.375
Parda Pastusa	5,952	11,5	0.029
Roja Nariño	5,932	81,6	0.204

tR: Tiempo de retención; Longitud de onda max = 330 nm

## DISCUSIÓN

### Determinación de fenoles totales

Se presentó una mayor extracción de compuestos fenólicos cuando se empleó metanol para la extracción, debido a que el metanol posee un momento dipolar mayor que el etanol, por lo tanto la solubilidad de compuestos fenólicos aumenta debido a que la probabilidad de colisión entre las moléculas es mayor (12).

La investigación de (5), para la extracción de compuestos fenólicos en etanol, reporta contenido de fenoles totales para cáscaras de papa de las variedades Sava y Bintje de 120 y 255 mg AGE/100 g, estos resultados son similares a los encontrados en la investigación para la extracción con etanol de la cáscara de papa de las variedades Parda Pastusa y Roja Nariño. Por su parte (13), establece que el con-

tenido fenólico total varió de 1,51 a 3,33 mg AGE/g de cáscara de papa seca, para extractos metanólicos de seis variedades de papa canadienses, por lo tanto se puede establecer que este rango es similar a los resultados encontrados para los extractos etanólicos de la variedad Roja Nariño y de la variedad Parda Pastusa, sin embargo los resultados encontrados para la variedad Diacol Capiro son superiores a los reportados por los autores.

Finalmente los resultados reportados son similares a los encontrados por (13, 14) quienes reportan una mayor extracción de compuestos fenólicos cuando se utilizó metanol.

### Actividad Antioxidante (ABTS)

Los resultados encontrados para actividad antioxidante difieren de los resultados encontrados por (13) puesto que se reportan rangos de 0.28 a 0.55 mmol de trolox/g de cáscara de papa seca, para seis variedades de cáscara de papa. Las diferencias son debido a la variedad de papa, ya que a estas se les atribuye altos contenidos de antocianinas.

Por su parte (15), reporta para el jugo de papa una actividad antioxidante de 0.070 mmol de trolox/g de muestra seca.

### Actividad Antioxidante (DPPH)

En la investigación de (14), se determinó la actividad antioxidante en cuatro variedades de papa. La cantidad necesaria para reducir el radical DPPH a la mitad (parámetro  $E_{C50}$ ) para las cuatro variedades fue superior a 30,6 e inferior a 48,6 mg/mL g de cáscara. Con estos resultados se puede concluir que el extracto metanólico de la variedad Diacol presentó una mayor cantidad de compuestos antioxidantes, al necesitarse menor cantidad del extracto para inhibir el 50% del radical. Estos resultados son similares debido a que (14), realizaron una extracción de compuestos fenólicos utilizando metanol como solvente orgánico.

### Análisis de ácido cafeico

Con relación a otras variedades de papa, (16) encontró concentraciones de ácido cafeico de 1,06 y 0,38 mg/g de cáscara de papa seca, para las variedades Penta y Marcy respectivamente.

Por su parte (5), encontró concentraciones de ácido cafeico de 1,0 y 1,2 mg/g de cáscara de papa seca, con lo cual se puede establecer que las concentraciones en cuanto a ácido cafeico para las cáscaras de papa de las variedades Diacol Capiro,

Parda Pastusa y Roja Nariño son menores que las reportadas por los autores.

Los extractos de cáscara de papa poseen una alta capacidad antioxidante, y pueden llegar a jugar un papel importante en la reducción del daño oxidativo a nivel celular. No obstante no se realizaron ensayos a nivel *in vivo* durante la investigación, lo que no permitió una demostración a nivel celular o sobre una base oleosa, que permita observar la posible aplicación de estos compuestos en un producto alimenticio.

## CONCLUSIONES

El contenido de compuestos fenólicos fue mayor en los extractos diacol-metanol. Además se observaron diferencias significativas en la actividad antioxidante de los extractos de cáscara debido a la variedad de papa y el tipo de solvente utilizada para la extracción, al aplicar el método ABTS, el extracto Diacol-metanol, presentó la mayor actividad antioxidante, frente a los otros extractos evaluados. En términos de eficiencia antirradical se observó el mismo comportamiento, con una mayor diferencia entre los extractos diacol-metanol frente a los demás extractos evaluados.

## AGRADECIMIENTOS

Vicerrectoría de Investigación, Posgrados y Relaciones Internacionales – VIPRI de la Universidad de Nariño por la financiación del proyecto.

## REFERENCIAS

1. Navarre D. A., Pillai S. S., Shakya R., Holden M. J. HPLC profiling of phenolics in diverse potato genotypes. *Food Chem.* 2011; 127: 34-41.
2. Martínez H. "La papa en Colombia. Una mirada global a su estructura y dinámica 1991-2005", Ministerio de agricultura y Desarrollo Rural. Documento de Trabajo, N° 100, Observatorio Agrociencias Colombia, Bogotá. 2006; 30 p.
3. Randuz A.E., Lard G.P., Bauer M.L., Marchello J.M., Berg P.T. Influence of steam-peeled potato-processing waste inclusion level in beef finishing diets: Effects on digestion, feedlot performance, and meat quality. *J Anim Sci.* 2003; 81: 2675-2875.
4. Rehman Z, Habib F, Shah W. Utilization of potato peels extract as a natural antioxidant in soy bean oil. *Food Chem.* 2004; 85(2): 215 - 220.
5. Koduvayur S, Nielsen N, 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; 87: 1319-1332.
6. Folinn C, Ciocalteu V. Tyrosine and tryptophan determination in proteins. *J. Biol. Chem.* 1927;73: 627-650.
7. Kuskoski E. M, Asuero A. G, Troncoso A. M, Mancini-Filho J, Fett, R. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar

- actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* 2005; 25(4): 726-732.
8. Jiménez Mora J. P., Villarreal Latorre J. H. Estudio químico de pigmentos tipo antocianina presentes en el fruto del motilon (*Hieronima macrocarpa*). [Tesis de pregrado]. [Pasto, Colombia]. Universidad De Nariño. 2008
  9. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice C. Antioxidant activity applying an improved ABTS•+ radical cation decolorization assay. *Free Radical Bio Med.* 1999; 26:1231-1237.
  10. Sánchez C, Larrauri J, Saura C. A Procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *J Sci Food Agr.* 1998; 76(2): 270-276
  11. Salawu S, Giaccherini C, Innocenti M, Vincieri F, Akindahunsi A, Mulinacci N. HPLC/DAD/MS. Characterisation and analysis of flavonoids and cinnamoyl derivatives in four Nigerian green-leafy vegetables. *Food Chem.* 2009; 115: 1568-1574
  12. Pérez Tortosa V. Proyecto de investigación de los antioxidantes del tomillo, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica Departamento de Ciencia y Tecnología Agraria. Universidad Politécnica de Cartagena. 2007.
  13. 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: 1062-1066.
  14. Rumbaoa R. G., Cornago D. F., Inacrist M. G. Phenolic content and antioxidant capacity of Philippine potato (*Solanum tuberosum*) tubers. *J. Food Comp. Anal.* 2009; 22: 546-550
  15. Przemysław K, Konrad C, Wojciech B, Grażyna L. Antioxidant activity of potato juice. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* 2012; 11: 175-181.
  16. Weshahy A., Nokety M., Bakhete M., Rao V. Effect of storage on antioxidant activity of freeze-dried potato peels. *Food Res Int.* 2011; 10: 12-014.

# ESPECTROSCOPIA DE IMPEDANCIA ELÉCTRICA APLICADA DURANTE LA FERMENTACIÓN HÚMEDA DEL CAFÉ

## ELECTRICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY APPLIED DURING THE WET FERMENTATION OF COFFEE

Julio César CAICEDO-ERASO<sup>1\*</sup>, Félix Octavio DÍAZ ARANGO<sup>2</sup>, Diana Rocio VARÓN-SERNA<sup>3</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes:** La fermentación del café es crítica para la calidad del grano verde y de la bebida, debido a que cualquier defecto que se ocasione por falta de control, genera un daño irreversible, no modificable en los procesos siguientes de preparación de la bebida. La espectroscopia de impedancia eléctrica (EIE) es una técnica sencilla, rápida, no invasiva y no destructiva, que permite la caracterización de material biológico, fundamentado en la relación entre las propiedades eléctricas con la composición, contenido de líquidos y parámetros fisicoquímicos del material evaluado. **Objetivo:** Determinar la asociación entre parámetros fisicoquímicos y parámetros eléctricos medidos por EIE durante el proceso de fermentación húmeda del grano de café. **Métodos:** Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos de pH y sólidos solubles (SS) por refractómetro y los eléctricos de impedancia (Z), ángulo de fase ( $\Theta$ ), resistencia (R) y reactancia capacitiva (Xc) medidos por EIE. Se evaluó si la distribución de los parámetros eléctricos fue normal y posteriormente las diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los diferentes tiempos de fermentación. Se graficó pH, SS, Z,  $\Theta$ , R y Xc en función del tiempo de fermentación. La asociación de los parámetros fisicoquímicos con los eléctricos se evaluó mediante análisis de correlación ( $\alpha = 0.05$ ). **Resultados:** La distribución de los parámetros eléctricos fue normal. Se encontraron diferencias significativas entre las variables eléctricas para los diferentes tiempos de fermentación. Z,  $\Theta$  y R disminuyen a medida que la frecuencia se incrementa, mientras que Xc aumenta. Gradualmente, el pH decreció mientras que los SS incrementaron

durante el proceso de fermentación. Para pH se encontró fuerte correlación con  $\Theta$  (80%) y aceptable con R (54%) y para los SS buena correlación con  $\Theta$  (65%). **Conclusiones:** El proceso de fermentación (remoción del mucilago) del café muestra fuerte correlación entre los parámetros fisicoquímicos y eléctricos. El pH y los SS presentan una fuerte dependencia con el ángulo de fase. La EIE se presenta como una buena alternativa para evaluar el proceso de fermentación húmeda del café.

**Palabras clave:** Café, fermentación, espectroscopia de impedancia eléctrica

### ABSTRACT

**Background:** Coffee fermentation is critical to quality of green coffee beans and coffee drink, because any defect causes lack of control, generates a not modifiable and irreversible damage to following processes for drink preparing. The electrical impedance spectroscopy (EIS) is a simple, quick, noninvasive and nondestructive technique, which allows biological material characterization, based on the relationship between electrical properties and composition, liquid content and physicochemical parameters of the assessed material. **Objective:** To determine the association between physicochemical parameters and electrical parameters measured by EIE during wet fermentation of the coffee bean. **Methods:** Physicochemical parameters of pH and soluble solids (SS) by refractometry and electrical impedance (Z), phase angle ( $\Theta$ ), resistance (R) and capacitive reactance (Xc) measured by EIE measured were evaluated. Normal distribution of electrical parameters were assessed and subsequently significant differences ( $p < 0.05$ ) for the

<sup>1</sup> PhD. Profesor Asistente, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia

<sup>2</sup> Magíster. Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia

<sup>3</sup> Ingeniero. Profesor Auxiliar, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: [julioc.caicedo@ucaldas.edu.co](mailto:julioc.caicedo@ucaldas.edu.co)

different fermentation times. The pH, SS, Z,  $\Theta$ , R and Xc as a function of fermentation time was plotted. Associations between physicochemical and electrical parameters were evaluated by correlation analysis ( $\alpha = 0.05$ ). **Results:** Electrical parameters were a normal distribution. Significant differences between the electrical variables for different fermentation times were found. Z,  $\Theta$  and R decrease as the frequency increases, while Xc increases. Gradually, pH decrease while SS increased during the fermentation process. For pH and  $\Theta$ , strong correlation with (80%) and acceptable with R (54%) and good correlation between SS and  $\Theta$  (65%) was found. **Conclusions:** Fermentation coffee process (mucilage removal) shows strong correlation between physicochemical and electrical parameters. pH and SS have a strong dependence of electrical phase angle. The EIE is presented as a good alternative to evaluate wet fermentation process of coffee.

**Keywords:** Coffee, fermentation, electrical impedance spectroscopy

## INTRODUCCIÓN

La fermentación es un proceso metabólico de las levaduras y de varias bacterias que transforman compuestos químicos, orgánicos, principalmente en azúcares, en otras sustancias orgánicas más simples (1). En café, la etapa de fermentación se desarrolla en el beneficio húmedo. La separación del mucilago del grano de café es necesaria para facilitar el secado del grano, conservar su calidad física, organoléptica y sanitaria para producir bebidas suaves. La fermentación es crítica para la calidad del grano y de la bebida, debido a que cualquier defecto que se ocasione por falta de control, genera un daño irreversible, no modificable en los procesos siguientes (beneficio y preparación de la bebida) (1).

Los granos de café despulpados se depositan en tanques durante 12 a 18 horas. En este proceso, actúan enzimas, bacterias lácticas y levaduras del mucilago que transforman los compuestos pécticos y azúcares que lo componen, en ácidos y alcoholes, que son luego retirados en el lavado. Por medio de preparaciones enzimáticas adicionadas al café despulpado, se logra acelerar la transformación del mucilago de café y por tanto, disminuir el tiempo en el proceso de beneficio (2).

En la fermentación, se hace crítico el tiempo de proceso, ya que por sobre-fermentación se produce café con aroma y sabor áspero, a madera, a cebolla, a

sucio, rancio y agrio (3,4), dependiendo del tiempo en que los granos de café permanezcan sin lavar. Otra posible causa de defectos en la calidad del café, es el mezclar café cosechado y despulpado de diferentes días durante el proceso de fermentación o lavado (1).

Al lavar y frotar una muestra, debe procederse al proceso de lavado, si se siente áspero y da un sonido de “cascajo” o si al introducir y retirar un palo de madera en la masa de café en fermentación, queda un hueco en dicha masa (5).

La espectroscopia de impedancia eléctrica (EIE) es una técnica sencilla, rápida, no invasiva y no destructiva, que permite la caracterización de material biológico, fundamentado en la relación entre las propiedades eléctricas con la composición, contenido de líquidos y parámetros fisicoquímicos del material evaluado (6,7).

El propósito de la presente investigación fue determinar la asociación entre los parámetros fisicoquímicos de pH y sólidos solubles (SS) con los parámetros eléctricos de impedancia (Z), ángulo de fase ( $\Theta$ ), resistencia (R) y reactancia capacitiva (Xc) medidos por EIE durante el proceso de fermentación húmeda del grano de café con el fin próximo de proponer una estandarización de dicho proceso para apoyar y mejorar las prácticas tradicionales.

## MATERIALES Y METODOS

Los equipos fueron calibrados previamente según protocolos del fabricante. Las mediciones se hicieron siguiendo protocolos estandarizados.

Se tomaron 5 kg de café baba proveniente de la Finca Tisquesusa, ubicada en la vereda Alto Tablazo (1700 m de altura, Chichiná, Caldas). Se evaluaron por duplicado los parámetros fisicoquímicos y eléctricos, en muestras de 100 gramos de peso ( $\pm 0,01$  g, EG-A03, Kern®, Alemania) desde 0 hasta 16 horas, cada 2 horas ( $t_0$ ,  $t_2$ ,  $t_4$ ... $t_{16}$ ). Se monitoreo la temperatura ambiental ( $23,0 \pm 1,9$  °C) y la humedad relativa (HR) ( $57,9 \pm 4,8$  %HR) del laboratorio y la temperatura de la muestra de baba de café ( $24,5 \pm 2,1$  °C) con un termo-higrómetro ( $\pm 0,1$  °C /  $\pm 1$  %HR, 13307, DeltaTrak®, Francia).

Los sólidos solubles (SS), compuestos por azúcares, ácidos, sales y demás compuestos solubles en agua (8), se determinaron empleando un refractómetro digital ( $\pm 0,2$  °Brix, PAL-1, Atago®, Japón). El pH se midió mediante un pH-metro digital ( $\pm 0,01$ ; Lab-850; Schott Instruments®, Alemania). La EIE

se midió con el espectrómetro de impedancia eléctrica (3522-50\_LCR-Hi-Tester, Hioki®) usando un sensor (electrodos) según modelo propuesto por Grossi et al (2008), modificado para 35 ml. Los datos fueron almacenados por el software LCR-HiTester (Ver.4.03e, Hioki®).

Los análisis estadísticos se realizaron con XLS-TAT® (Ver.2015.6.01.24797, Addinsoft®, Francia). Para Z,  $\Theta$ , R y Xc se evaluó, si la distribución fue normal y posteriormente las diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los diferentes tiempos de fermentación. Se graficó pH, SS, Z,  $\Theta$ , R y Xc en función del tiempo de fermentación. La asociación de los parámetros fisicoquímicos con los eléctricos se evaluó mediante análisis de correlación ( $\alpha = 0.05$ ) (9).

### RESULTADOS

La prueba de Kolmogorov-Smirnov (9) encontró que Z,  $\Theta$ , R y Xc, para los tres tiempos de fermentación, tienen una distribución normal. Al aplicar la prueba t-Student bilateral (9), se encontraron diferencias significativas entre las variables eléctricas para t0-t8 y t8-t16 y t0-t16. La figura 1 muestra Z,  $\Theta$ , R y Xc en función de la frecuencia para tres tiempos de fermentación a 0, 8 y 16 horas. La figura 2 muestra el comportamiento del pH y de los SS en función del tiempo de fermentación entre 0 y 16 horas, cada 2 horas. La tabla 1 presenta las correlaciones entre parámetros fisicoquímicos y eléctricos.

### DISCUSIÓN

Similar a un estudio para diferentes tiempos de coagulación de leche de soya, la impedancia disminuye gradualmente a medida que incrementa la frecuencia (10). Sin embargo, en el presente estudio, el ángulo de fase disminuye a medida que la frecuencia aumenta, contrario al estudio de Li et al (10), donde esta disminuye.

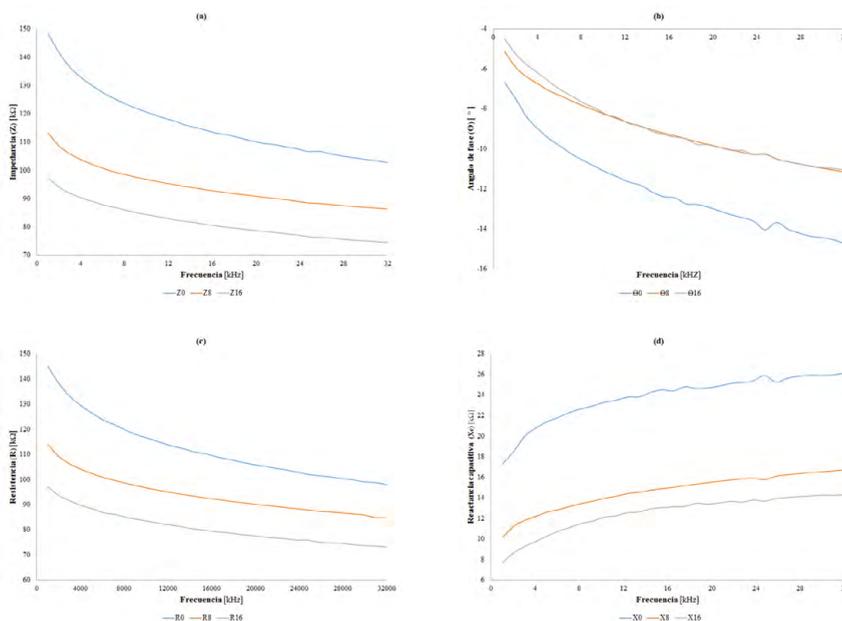
Gradualmente, el pH disminuyó mientras que los SS se incrementaron durante el proceso de fermentación. Para pH se encontró fuerte correlación con el alguno de fase y aceptable con la resistencia y para los sólidos solubles una buena correlación con el ángulo de fase.

Se observa de los resultados obtenidos, un efecto entre la impedancia, el pH y los sólidos solubles. A medida que aumenta el tiempo de fermentación el pH disminuye, la impedancia también disminuye, lo que podría ser explicado por un aumento de la acidez, cambios producidos a partir de los azúcares del mucilago. Similar comportamiento con el ángulo de fase a medida que ocurre la fermentación.

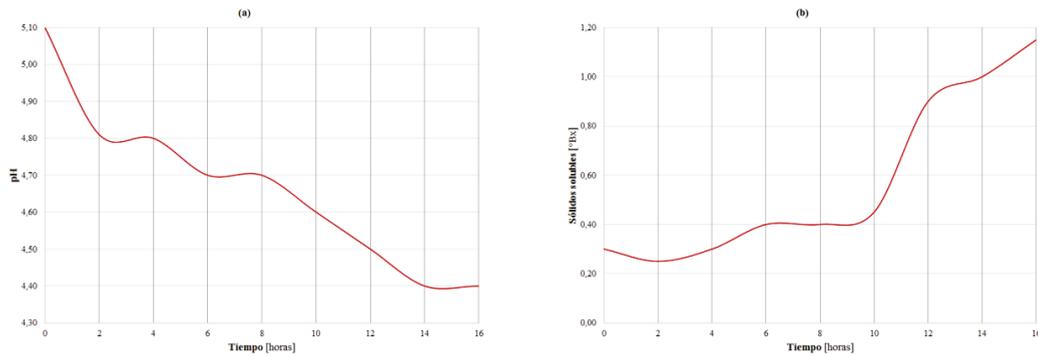
**Tabla 1.** Correlación entre parámetros fisicoquímicos y eléctricos.

Variables	Z [ $\Omega$ ]	$\Theta$ [ $^\circ$ ]	R [ $\Omega$ ]	Xc [ $\Omega$ ]
pH	-0,03	<b>-0,80</b>	<b>0,54</b>	-0,08
SS [ $^\circ$ Bx]	0,27	<b>0,65</b>	-0,19	0,31

Impedancia (Z), Angulo de fase ( $\Theta$ ), Resistencia (R), Reactancia capacitiva (Xc), Sólidos solubles (SS)



**Figura 1.** (a) Z, (b)  $\Theta$ , (c) R y (d) Xc para los tiempos de fermentación 0, 8 y 16 horas



**Figura 2. (a) pH y (b) Solidos solubles en función del tiempo de fermentación**

Durante el proceso de fermentación los sólidos solubles aumentan. Esto es ocasionado por un comportamiento de las reacciones bioquímicas, en la cual el mucilago del café se desprende del grano originando compuestos a partir del sustrato. El proceso de fermentación desdobra moléculas insolubles en moléculas solubles. A medida que se incrementa los sólidos solubles el ángulo de fase se incrementa.

Mientras que en la elaboración de cava y cerveza, la EIE se usa como indicador de la concentración de levaduras presentes en el tanque de fermentación (11), los resultados del presente estudios soportan la posibilidad de usar EIE como indicador de pH, SS y por ende del proceso de fermentación húmeda del café.

Similar a otros estudios, la presente investigación presenta la factibilidad de desarrollar en un futuro, un método sencillo de control de la fermentación, secuenciando todo el proceso y formulando los parámetros dieléctricos asociados a un óptimas condiciones fisicoquímicas durante el proceso (12).

## CONCLUSIONES

El proceso de fermentación (remoción del mucilago) del café muestra una fuerte correlación entre los parámetros fisicoquímicos y eléctricos. El pH de la masa de café disminuye a medida que avanza el proceso de fermentación. Este variable fisicoquímica presenta una fuerte correspondencia con el ángulo de fase. Los sólidos solubles muestran diferencia a medida que aumenta el tiempo de fermentación. Presentando dependencia con el ángulo de fase. La EIE podría ser una alternativa para evaluar el proceso de fermentación humedad del café. Se sugiere para una próxima investigación, construir los modelos para predicción de parámetros fisicoquímicos en función de los parámetros eléctricos. Hasta donde los autores conocen, sería la primera vez que se plantea el uso de EIE como mé-

todo alternativo para determinación y seguimiento del proceso de fermentación húmeda en café.

## AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Café de la Unidad Tecnológica de Alimentos (Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas<sup>®</sup>) y a la Finca Tisquesusa<sup>®</sup> y a la Fábrica de Café Tisquesusa<sup>®</sup> (Manizales).

## REFERENCIAS

1. Puerta G. Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café. *Avances Técnicos Cenicafé* 2010; (402): 12.
2. Puerta, G. Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café. *Avances Técnicos Cenicafé*. 1999; 50(1): 78-88
3. Puerta, G., & Echeverry, J. G. Fermentación controlada del café: Tecnología para agregar valor a la calidad. *Avances Técnicos Cenicafé*. 2015; (454): 12
4. Puerta, G. Frecuencia de defectos en la bebida de café. *INFORME anual de actividades de investigación. Disciplina, Calidad y Manejo ambiental. Cenicafé*. 2007; 20-32.
5. ANACAFE. El beneficiado húmedo. Obtenido de [https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Caficultura\\_BeneficiadoHumedo](https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Caficultura_BeneficiadoHumedo) [2014]
6. Ando Y, Mizutani K, Wakatsuki N. Electrical impedance analysis of potato tissues during drying process. In: 2012 IFT Annual Meeting & Food Expo Technical Program Book of Abstracts. 2012; 077-128, 75-76
7. Damez JL, Clerjon S, Abouelkaram S, Lepetit J. Dielectric behavior of beef meat in the 1–1500 kHz range: simulation with the Fricke/Cole–Cole model. *Meat Science* 2007, 77, 512–519.
8. Puerta, G. Factores, controles y procesos en la fermentación del café. *Avances Tecnológicos Cenicafé*. 2012.
9. Dawson, B., & Trapp, R. *Bioestadística médica* (4a Edición ed.). Manual Moderno. 2005.
10. Li X, Toyoda K, Ihara I. Coagulation process of soymilk characterized by electrical impedance spectroscopy. *Journal of Food Engineering*. 2011; (105): 563-568.
11. R. Bragós, X. Gámez, J. Cairó, P. J. Riu, F. Gódia. Biomass monitoring using impedance spectroscopy. *Annals Of The New York Academy Of Sciences* 873. 1999; 299-305.
12. K. Toyoda, I. Ihara, Y. Tamaki, M. Ohta. Characterization of Bread Dough. Fermentation by Electrical Impedance Spectroscopy. 3rd International Symposium Food And Agricultural Products: Processing And Innovations. Naples – Italy. 2007; 24-26.

# CARACTERIZACIÓN DE LA MADUREZ FISIOLÓGICA DEL PLÁTANO DOMINICO HARTON POR ESPECTROSCOPIA DE IMPEDANCIA ELECTRICA

CHARACTERIZATION OF PHYSIOLOGICAL MATURITY OF DOMINICAN HARTON BANANA BY ELECTRICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY

Julio César CAICEDO-ERASO<sup>1\*</sup>, Luis Fernando MEJÍA GUTIÉRREZ<sup>2</sup>, Félix Octavio DÍAZ ARANGO<sup>2</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** La medición de propiedades eléctricas es una herramienta inocua para la caracterización de vegetales alimenticios que ha permitido aplicaciones exitosas en la industria alimentaria al proporcionar información útil sobre los tejidos en cuanto a la incidencia de los cambios fisiológicos, como la maduración, sobre el espectro de conductividad eléctrica. La membrana celular vegetal mantiene el balance de fluidos (electrolitos) y tiene un comportamiento como resistencia óhmica y como elemento capacitivo. Algunos estándares de calidad asocian la permeabilidad de las membranas con la humedad. La espectroscopia de impedancia eléctrica (EIE) ha sido ampliamente utilizada para caracterizar propiedades y estado fisiológico de tejidos biológicos ya que relaciona las propiedades dieléctricas del tejido en función de la frecuencia. **Objetivo:** determinar el cambio de las propiedades eléctricas durante la maduración de plátano Dominico Hartón (Mussa AAB Simmonds) para edades de cosecha de 12, 14 y 16 semanas desde floración. **Métodos:** Se midió por triplicado la EIE, aplicando una diferencia de potencial de 1 volt para el espectro de 42 Hz a 5 MHz, cada 2 días hasta maduración poscosecha a cinco rodajas de la segunda y tercera gaja de 15 racimos de plátano. Se evaluó normalidad de los datos y posteriormente las diferencias significativas para los parámetros eléctricos de impedancia, ángulo de fase, resistencia y reactancia capacitiva. Se calcularon los valores medios para las frecuencias características y se comparó el comportamiento de las variables eléctricas mencionadas contra el número de semanas de maduración poscosecha para

las tres edades de cosecha. **Resultados:** Se encontró alta impedancia a baja frecuencia y disminución continua de la misma a medida que se incrementaba la frecuencia y a lo largo del proceso de maduración. Las variables eléctricas presentaron la misma tendencia para las tres edades de cosecha aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. **Conclusiones:** Existe asociación entre las propiedades eléctricas y la madurez fisiológica al momento de cosecha y durante su proceso de maduración poscosecha. El uso de EIE podría proporcionar un nuevo enfoque para la evaluación de la maduración y calidad de los productos agrícolas debido a su simplicidad y efectividad.

**Palabras clave:** Madurez fisiológica, plátano dominico harton, Espectroscopia de impedancia eléctrica.

## ABSTRACT

**Background:** The electrical properties measurement is a safe tool for vegetal food characterization and has allowed successful food industry applications to provide useful information about incidence of physiological tissue changes, as maturation, in electrical conductivity spectrum. The vegetal cell membrane maintains the fluid balance (the electrolytes) and has a resistive behavior as resistance and as a capacitive element. Some quality standards associated membranes permeability with moisture. Electrical impedance spectroscopy has been widely used to characterize properties and physiological state of biological tissue as relates the dielectric properties of tissue as a function of frequency. **Objective:** To determine electrical properties

<sup>1</sup> PhD. Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas, Manizales

<sup>2</sup> Magister. Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas, Manizales

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: julioc.caicedo@ucaldas.edu.co

changes during maturation of Dominico Harton plantain (*Musa AAB Simmonds*) for harvesting ages 12, 14 and 16 weeks after flowering. **Methods:** Electrical impedance spectroscopy was measured by triplicate applying a voltage of 1 Volt for the spectrum of 42 Hz to 5 MHz, every 2 days until postharvest maturation in five slices of second and third segment of 15 banana branch. Normality and significant differences were evaluated to electrical parameters: impedance, angle phase, resistance and capacitive reactance. Mean values for characteristic frequencies were calculated and electrical variables behavior against ripening post-harvest weeks were compared. **Results:** High impedance is found at low frequency and continuous decrease as frequency increased and along the ripening process. Electrical variables showed the same trend for the three ages of crop although no statistically significant differences were found. **CONCLUSIONS:** Association between electrical properties and physiological maturity at harvest and postharvest ripening process was found. Electrical impedance spectroscopy could provide a new approach for maturity assessing and agricultural products quality because its simplicity and effectiveness.

**Keywords:** Physiological maturity; dominican hartón; electrical impedance spectroscopy.

## INTRODUCCION

El proceso de maduración del plátano dominico hartón, genera la degradación de la pared celular, pérdida de turgencia, aumento de permeabilidad y migración de electrolitos. La caracterización del proceso de maduración se realiza por métodos fisicoquímicos destructivos y la mayoría de los estudios de maduración se centran únicamente en propiedades fisiológicas (1). La espectroscopia de impedancia eléctrica (EIE) permite medir las propiedades eléctricas en función de la frecuencia, por interacción de un campo eléctrico externo con el momento bipolar del material. La EIE ha sido utilizada para caracterizar propiedades de materiales sólidos (2) y estimar el estado fisiológico de diversos tejidos biológicos (3). Las medidas eléctricas han sido una herramienta inocua para la caracterización de vegetales alimenticios, dado que las células vegetales tienen pared celular, que mantiene el balance de fluidos (electrolitos); estos se comportan como resistencias óhmicas y las membranas como elementos capacitivos. Varios estándares de calidad

correlacionan la permeabilidad de las membranas con la humedad (4). Un modelo de circuito equivalente distribuido de cinco elementos para los vegetales propuesto por Zhang et al (5) ha sido ampliamente utilizado para la caracterización de estos, ya que proporciona información útil sobre los tejidos fisiológicos (6) basado en la incidencia de los cambios en la maduración sobre el espectro de conductividad eléctrica (7) generada por la degradación de las paredes celulares, la pérdida de agua y la migración de compuestos electrolitos hacia la región extracelular (8, 9). El objetivo de esta investigación fue determinar la variación de los parámetros eléctricos de impedancia ( $Z$ ), ángulo de fase ( $\Theta$ ), resistencia ( $R$ ) y reactancia capacitiva desde la cosecha hasta la senescencia del plátano Dominico Hartón empleando EIE.

## MATERIALES Y METODOS

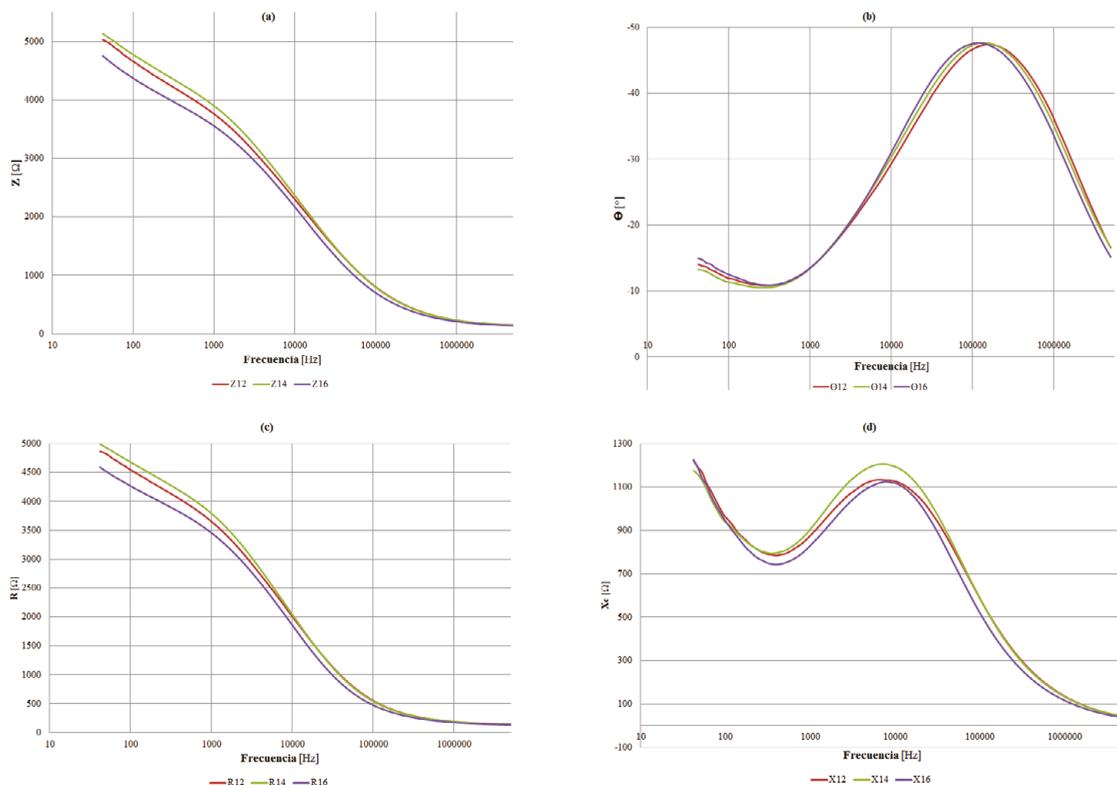
Se utilizaron las gajas dos y tres de 15 racimos de plátano Dominico Hartón del municipio de Belalcázar (Caldas) con edades de cosecha de 12, 14 y 16 semanas desde floración, almacenado en condiciones de la Unidad Tecnológica de Alimentos de la Universidad de Caldas (22 °C, 1 atm) (1). Se midieron por triplicado utilizando EIE los datos crudos de  $Z$ ,  $\Theta$ ,  $R$  y  $X_c$  en cinco rodajas de 8 mm de espesor y 33 mm de diámetro de la zona central de los frutos y se promediaron. Para las tres edades, las mediciones se realizaron desde el día de cosecha (día 0) y cada 2 días hasta el día de maduración total o muerte tisular (senescencia). Las mediciones de EIE se realizaron con el espectrómetro de impedancia eléctrica Hioki® 3532-50 LCR-HiTester (Hioki E.E. Corporation, Japón) aplicando una diferencia de potencial de 1 voltio a frecuencias entre 42 Hz y 5 MHz por medio de un electrodo bipolar de bronce con calibre de 0,01cm y diámetro de 5,08 cm montado sobre una base de madera graduable. Durante las mediciones se mantuvieron condiciones constantes de temperatura ambiental ( $23.4 \pm 0.4$  °C) y humedad relativa ( $59.5 \pm 3.3$  %) en el laboratorio. Se graficó  $Z$  para 12, 14 y 16 semanas contra el espectro de frecuencias e igualmente para  $\Theta$ ,  $R$  y  $X_c$ . Se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para evaluar normalidad en la distribución de los datos, posteriormente se evaluaron diferencias significativas para  $Z$ ,  $\Theta$ ,  $R$  y  $X_c$  entre las 3 diferentes edades de cosecha. Se obtuvieron  $Z$ ,  $\Theta$ ,  $R$  y  $X_c$  para las respectivas frecuencias características y se

graficaron contra el número de semanas de maduración poscosecha para las 3 diferentes edades de cosecha (10).

## RESULTADOS

La figura 1 muestra el comportamiento de  $Z$ ,  $\Theta$ ,  $R$  y  $X_c$  para edades de cosecha de 12, 14 y 16 sema-

nas. Dado que no se encontró distribución normal para  $Z$ ,  $\Theta$ ,  $R$  ni  $X_c$  para ninguna de las tres edades de cosecha, se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, con la que no se encontraron diferencias significativas al comparar entre las tres edades. La figura 2 muestra la variación de  $Z$ ,  $\Theta$ ,  $R$  y  $X_c$  durante el proceso de maduración poscosecha para edades de cosecha de 12, 14 y 16 semanas.



**Figura 1.** (a) Impedancia ( $Z$ ), (b) Angulo de fase ( $\Theta$ ), (c) Resistencia ( $R$ ) y (d) Reactancia capacitiva ( $X_c$ ) contra frecuencia para tres edades de cosecha.

## DISCUSION

Similar a otros estudios, a baja frecuencia, debido a la alta capacitancia eléctrica de las membranas celulares, la corriente eléctrica puede fluir únicamente a través del fluido extracelular, el cual tiene relativamente alta resistencia (Figura 1a y 1b) (6, 11). Sin embargo, a alta frecuencia, la impedancia disminuye en gran medida debido a que la corriente puede fluir a través del líquido intracelular, el cual tiene una resistencia relativamente baja (Figura 1a y 1b) (11) y que disminuye con la maduración (6).

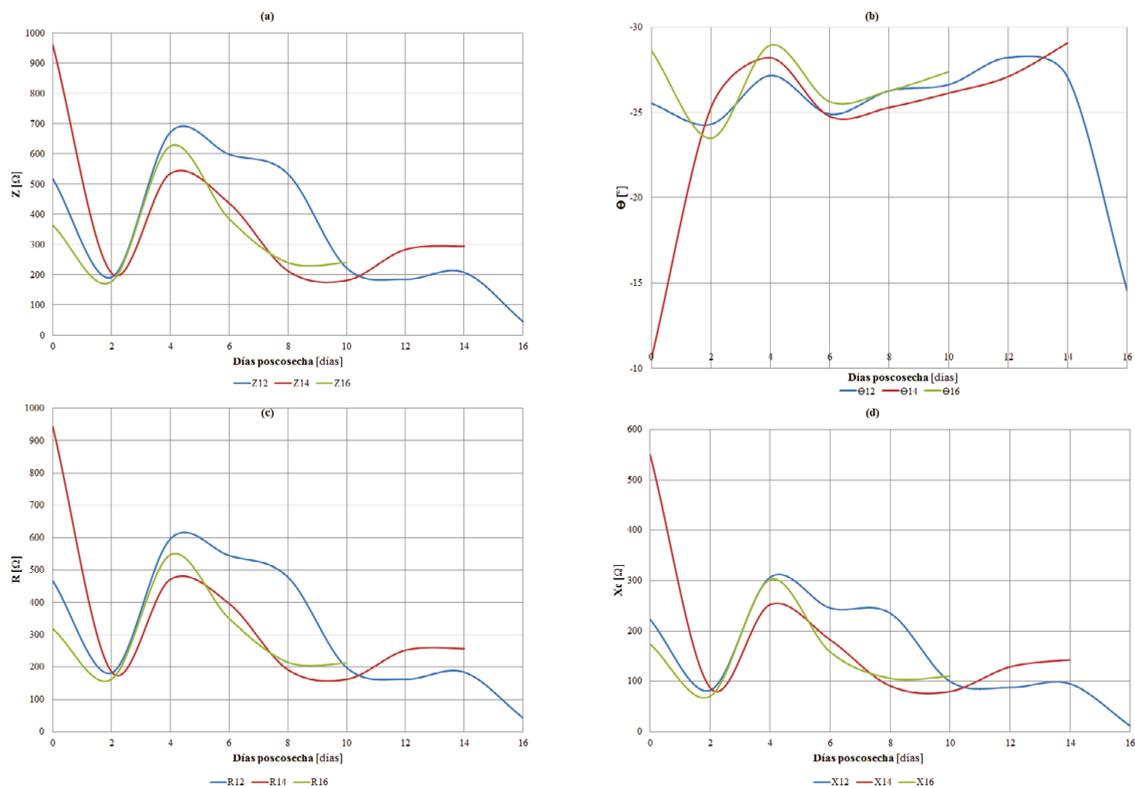
No se encontraron diferencias significativas en las características eléctricas para las tres edades de

cosecha y existe similar comportamiento para  $Z$ ,  $\Theta$ ,  $R$  y  $X_c$  (Figura 1). Se observan diferencias en el valor de las variables eléctricas comparando gráficamente su comportamiento. Al comparar  $Z$  a 12 y 14 semanas contra  $Z$  a 16 semanas (Figura 1a), se observa una menor resistencia al flujo de corriente con el aumento de la edad de cosecha, por el incremento de humedad, lo cual disminuye la resistividad (4). El cambio es mayor a bajas frecuencias, porque el incremento es en el líquido extracelular. Los valores para los estados fisiológicos cosecha, pre climaterio, climaterio y maduro, se agrupan alrededor de los valores medios que se reportan (Figura 2). Las curvas de las variables eléctricas presentaron com-

portamientos similares al momento de cosecha y en el tiempo, harían sugerente que el uso de EIE sería un método prometedor para el seguimiento y determinación del estado de maduración poscosecha del fruto. Los valores iniciales de impedancia y reactancia podrían tener un comportamiento similar al de la humedad se explica en términos de relajación dipolar y la conducción iónica como consecuencia de la expresión y actividad diferencial de genes y proteínas asociados con la degradación de la pared (4), tales como poligalacturonasas (PGs),  $\beta$ -xilosidasas, expansinas y pectato liasas, la separación de las células de la lámina media dá lugar a espacios intercelulares, cambios ultraestructurales de las membranas, los iones y líquidos intracelulares migran a los espacios intercelulares y descienden los parámetros eléctricos (12).

Durante la maduración la pared celular no presenta selectividad al transporte de componentes

como ocurre con la membrana plasmática y el tonoplasto. La vacuola, contiene una solución de iones inorgánicos, ácidos orgánicos, y azúcares, la naturaleza semipermeable de las membranas permite que pequeñas moléculas de agua puedan atravesarla, por lo cual se presenta disolución e interacción iónica entre componentes de la pared celular. La capacidad de formar este enlace iónico es una característica de los polímeros pécticos. Las moléculas de homopolisacáridos pueden interaccionar entre sí a través de puentes iónicos de  $\text{Ca}^{2+}$ . La demetilación de pectinas modifica significativamente el grado de hidratación y la solubilidad de las mismas este proceso de demetilación ya que la ionización del grupo carboxilo que se genera (en  $\text{H}^+$  y carboxilato) modifica el pH y el balance iónico. Además se generan superficies con carga eléctrica que pueden alterar el movimiento de otros componentes cargados de la pared y el apoplasto (12).



**Figura 2.** Variación de (a) Impedancia (Z), (b) Angulo de fase ( $\theta$ ), (c) Resistencia (R) y (d) Reactancia capacitiva ( $X_c$ ) durante el proceso de maduración poscosecha.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos por el estudio permiten relacionar las medidas de impedancia con la edad pos-cosecha de los frutos y los cambios estructurales que se dan en éste. Las propiedades de impedancia tienen méritos en las frutas y verduras y generan una alternativa para la evaluación del estado de madurez, pudiendo sustituir la simple evaluación visual y subjetiva, ya que es una medida más precisa y objetiva de los cambios fisicoquímicos que podrían indicar el momento de madurez de consumo. Se requiere más investigación para dar al método de EIS un valor práctico. Los datos obtenidos muestran que la EIS es una técnica importante para identificar los estados de maduración. Se sugiere realizar mediciones de EIS de manera no invasiva ni destructiva y directamente sobre el fruto completo y evaluar la asociación del comportamiento eléctrico contra el comportamiento de las variables fisicoquímicas.

## REFERENCIAS

1. Mejía L, Giraldo G, Ramírez D. Efecto de la edad de cosecha en las características poscosecha del plátano Dominico-Hartón (Musa **AAB** Simmonds). *Acta agronómica Palmira*. 2013; 61(4).
2. Prabakar K, Mallikarjun Rao S.P. Complex impedance spectroscopy studies on fatigued soft and hard PZT ceramics. *Journal of Alloys and Compounds*. 2007; 437(1-2): 302-310.
3. Damez JL, Clerjon S, Abouelkaram S, Lepetit J. Dielectric behavior of beef meat in the 1 kHz to 1500 kHz range. (2007). Simulation with the Fricke/Cole-Cole Model. *Meat Science*, doi: 10.1016/j.meatsci.04.028.
4. Sánchez-Urdaneta AB, Peña-Valdivia CB, Trejo C, Aguirre JR, Cárdenas E, Galicia Jiménez AB. Permeabilidad de las membranas radicales de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre y domesticado bajo déficit de humedad INCI. *Caracas oct. 20032015*; 28(10)
5. Zhang M.I.N., Stout D.G., Willison J.H.M. Electrical impedance analysis in plant tissues: symplasmic resistance and membrane capacitance in the Hayden model. *Journal of Experimental Botany*. 1990; 41(224): 371-380.
6. Bauchot AD, Harker FR, Arnold WM. The use of electrical impedance spectroscopy to assess the physiological condition of kiwifruit. *Postharvest Biotechnology and Technology*; 2000; 18: 9-18.
7. Ellappan P, Sundararajan R.A. Simulation study of the electrical model of biological cells. *J Electrostatics*. 2005; 63: 297-307.
8. Angersbach A, Volker H, Dietrich K. Electrophysiological Model of Intact and Processed Plant Tissues: Cell Disintegration Criteria: *Biotechnol Prog. Consultado en mayo de 2015*. 1999 Jul-Aug; 15(4): 753-62.
9. Suvaluk A, Ristenpart W, Stroeve A, Barrett D. Permeabilization of Plant Tissues by Monopolar Pulsed Electric Fields: Effect of Frequency. *Biotechnol. Berlin, Germany. Prog*. 2011; 15: 753-762.
10. Dawson B, Trapp RG. *Bioestadística medica. 4ta Edición. Manual Moderno Ed. 2004*.
11. Ando Y, Mizutani K, Wakatsuki N. Electrical impedance analysis of potato tissues during drying. *Journal of Food Engineering*. January 2014; 121: 24-31.
12. Nelson S.O. Chapter 11 Dielectric Properties of Selected Food Materials. En *Dielectric Properties of Agricultural Materials and their Applications*. 2015:147-165.

# EFECTO DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN SOBRE LA CALIDAD DE MELÓN (*Cucumis melo*) CONGELADO POR IQF

EFFECT OF OPERATING CONDITIONS ON QUALITY OF FROZEN MELON  
(*Cucumis melo*) BY IQF

ORTEGA-VILLALBA, K.J.<sup>1\*</sup>, VÉLEZ-PASOS, C.A.<sup>2</sup>, AYALA-APONTE, A.A.<sup>3</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** El proceso de congelación convencional lenta involucra una serie de cambios físicos y químicos que pueden afectar en gran medida la calidad del producto; mientras que la congelación rápida llamada “Individual Quick Freezing (IQF)” es un proceso que afecta en menor grado los cambios fisicoquímicos relacionados con la calidad del alimento congelado. **Objetivo:** Evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad del aire sobre la pérdida de fase líquida (PFL), el cambio de volumen ( $\Delta V$ ) y el color ( $L^*$  y  $C^*$ ) de muestras de melón (*Cucumis melo*) congeladas por IQF. Como tratamiento control se empleará la congelación lenta. **Métodos:** Se realizó la congelación IQF de muestras cilíndricas de melón a dos temperaturas (-20 y -28°C) y dos velocidades del aire (2,5 y 5,5m/s); la congelación lenta se realizó a -18°C. Las pruebas se realizaron por triplicado. Se determinaron  $L^*a^*b$  para evaluar el cambio en el croma ( $\Delta C^*$ ) y la luminosidad ( $\Delta L$ ). La PFL(%) y el  $\Delta V$ (%) se encontraron tomando el peso y volumen de las muestras antes y después de congelar-descongelar. El análisis estadístico se realizó mediante un ANOVA para los tratamientos de congelación por IQF y una prueba de Dunnett para compararlos con la prueba control (congelación lenta). **Resultados:** En general los tratamientos IQF presentaron menores pérdidas de calidad respecto al tratamiento de congelación lenta. El tratamiento IQF a -28°C y 5,5m/s mostró las menores pérdidas de calidad, traducidas en menor PFL (15,3%),  $\Delta V$  (17,8%),  $\Delta L$  (6,2%), y  $\Delta C^*$  (6,9%). El tratamiento de congelación lenta presentó significativamente ( $p < 0.05$ ) las mayores pérdidas de PFL (29%),  $\Delta V$  (46%),  $\Delta L$  (24,2%), y  $\Delta C^*$  (8,5%). **Conclusiones:** La congelación por IQF favoreció la reducción de las

pérdidas de calidad en comparación con la congelación lenta. El mejor tratamiento fue el de menor temperatura y mayor velocidad del aire, con el cual se obtuvo un producto de mejor calidad.

**Palabras clave:** Congelación, velocidad de congelación, calidad de los alimentos, *Cucumis melo*.

## ABSTRACT

**Background:** The conventional-slow freezing process involves a series of physical and chemical changes that can greatly affect the product quality. There is a close relationship between rapid freezing also called Individual Quick Freezing (IQF) and the quality of frozen products which increases its shelf life. **Objective:** Assess the effect of temperature and air velocity on liquid phase loss (LPL), volume change ( $\Delta V$ ) and color ( $L^*$  and  $C^*$ ) of frozen melon (*Cucumis melo*) by IQF. As control treatment slow freezing is used. **Methods:** two IQF freezing temperatures (-20 to -28 °C) and two air velocities (2.5 and 5.5 m/s) of air and slow freezing at -18 °C was performed in cylindrical samples of melon. The tests were performed in triplicate. Were determined  $L^*a^*b$  to evaluate the change in the chroma ( $\Delta C^*$ ) and brightness ( $\Delta L$ ). The PFL (%) and  $\Delta V$  (%) were found taking the weight and volume of the samples before and after freeze-unfreeze. Statistical analysis was performed using ANOVA for comparison between IQF treatments and Dunnett’s test for comparison to the control treatment (slow freezing). **Results:** IQF treatments had lower losses of quality regarding slow freezing treatment. The IQF treatment at -28 °C and 5.5 m/s showed the lowest losses of quality, resulting in lower PFL (15,3%),  $\Delta V$  (17,8%),  $\Delta L$  (6,2%), y  $\Delta C^*$  (6,9%). Slow freezing treatment had significantly ( $p < 0.05$ ) higher

<sup>1</sup> Estudiante de Maestría en Ingeniería de Alimentos, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle. Cali, Colombia.

<sup>2</sup> Profesor Titular, Ph.D. en Ingeniería de Alimentos, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle. Cali-Colombia.

<sup>3</sup> Profesor Asociado, Ph.D. en Ingeniería de Alimentos, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle. Cali-Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: ortega.karen@correounivalle.edu.co

losses PFL (29%), (29%),  $\Delta V$  (46%),  $\Delta L$  (24,2%), y  $\Delta C^*$  (8,5%). **Conclusions:** IQF freezing promoted reduction in losses of quality compared to slow freezing. The best treatment was lower temperature and higher air velocity, which allowed to obtain a better quality product.

**Keywords:** Freezing, freezing rate, quality of food, Cucumis melo.

## INTRODUCCIÓN

El melón (*Cucumis melo*) var. Cantaloupe es una fruta con alto contenido de humedad altamente perecedera, lo que dificulta su comercialización (1, 2). Aunque la congelación se considera como uno de los mejor métodos de conservación de alimentos a largo plazo, en algunos casos se presentan cambios fisicoquímicos indeseables relacionados con la pérdida de calidad una vez descongelado el producto (3). Las frutas y verduras, generalmente con altos contenidos de agua, son propensas a la formación de grandes cristales de hielo durante la congelación y el almacenamiento lo que ocasiona pérdidas significativas de calidad acumulativas, graduales e irreversibles después del proceso de congelación-descongelación (4). Los factores de calidad más afectados están relacionados con la pérdida de fase líquida (a causa del daño celular) (4), la textura (flacidez y contracción durante la descongelación) (5), la reducción de volumen (6), los cambios de color (4), y en algunos casos de sabor y aroma (7).

La congelación ultrarrápida IQF (Individual Quick Freezing) promueve una nucleación intensiva y por consiguiente la formación de pequeños cristales de hielo y de forma redondeada, favoreciendo la calidad del producto. Algunos autores (8) (9) reportan el efecto de la velocidad de congelación (VC) sobre la calidad del producto. El propósito de este estudio es evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad del aire sobre la calidad de melón congelados por IQF, con base en la PFL,  $\Delta V$  y color (en términos  $\Delta L$  y  $\Delta C$ ). Los resultados se compararán con la congelación convencional (Congelación lenta).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon melones (*Cucumis melo*) var. Cantaloupe en cilindros con dimensiones de 22 mm de diámetro y 15 mm de altura con sólidos solubles entre 7 y 8,5. Las muestras se congelaron por IQF en lecho fijo en un equipo de congelación rápida

(Dártico, Univalle) empleando temperaturas de  $-20$  y  $-28^{\circ}\text{C}$  y velocidades del aire de 2,5 y 5,5m/s. La congelación convencional (lenta) se realizó a  $-18^{\circ}\text{C}$  en un congelador comercial (Refrimag, VMS-900). La congelación se llevó a cabo hasta que la muestra alcanzó la temperatura del aire en su centro geométrico; para lo cual se emplearon termopares tipo K (OMEGA, 5TC-TT-K-36-72) y un sistema de adquisición de datos (Datalogger Thermometer, USA); la descongelación se llevó a cabo a  $8^{\circ}\text{C}$  por 18h. La VC ( $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ) se determinó a partir de los grados ( $^{\circ}\text{C}$ ) por minuto de variación de la temperatura en el centro del alimento hasta alcanzar la temperatura del medio de enfriamiento. La PFL (%) fue evaluada por diferencias de peso de las muestras antes y después del proceso de congelación-descongelación respecto al peso inicial (10), utilizando una balanza analítica (Mettler Toledo AE200) con precisión 0.001g. De manera similar se determinó  $\Delta V$  (%) o el encogimiento midiendo el diámetro y la altura en tres puntos separados  $120^{\circ}$  en una de las caras circulares del cilindro; para ello se empleó un calibrador digital (Bull Tols, USA). Se obtuvieron las coordenadas de color CIE- $L^*$ ,  $a^*$   $b^*$  a partir de los espectros de reflexión de la fruta antes (estado fresco) y después de congelar-descongelar, con los cuales se estimó la luminosidad ( $L^*$ ) y la coordenada psicométrica cambio de croma ( $\Delta C$ ) a partir de la Ecuación 1, mediante un espectro colorímetro (Hunterlab Reston, Virginia USA).

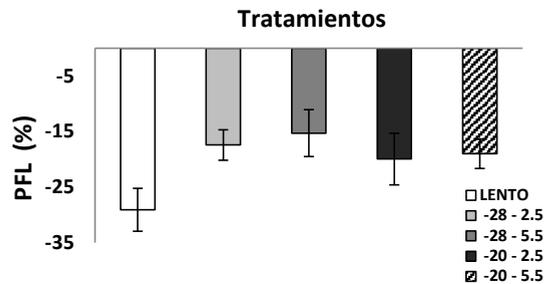
$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

Donde  $a^*$  y  $b^*$  corresponden a la coloración entre rojo-verde y coloración entre amarillo-azul, respectivamente. Los resultados se evaluaron mediante el ANOVA con el programa Minitab 16, realizando una comparación entre tratamientos y una comparación con el tratamiento control mediante la prueba de Dunnett.

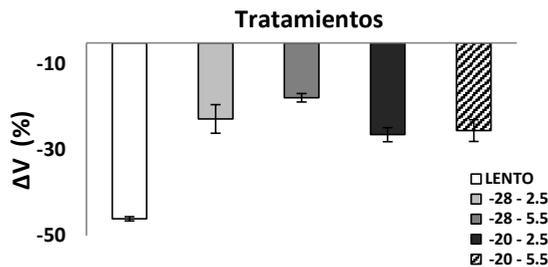
## RESULTADOS

Las figuras 1, 2, 3 y 4 representan los valores de PFL,  $\Delta V$ ,  $\Delta L$  y  $\Delta C$  obtenidos para muestras cilíndricas de melón congeladas-descongeladas por congelación lenta e IQF. En las tres primeras figuras se observa una pérdida significativa de PFL,  $\Delta V$  y  $\Delta L$  de las muestras congeladas-descongeladas respecto a las muestras control (congelación lenta). En la figura 4 no se observan diferencias en los cambios de pureza de color ( $\Delta C$ ) entre los tratamientos.

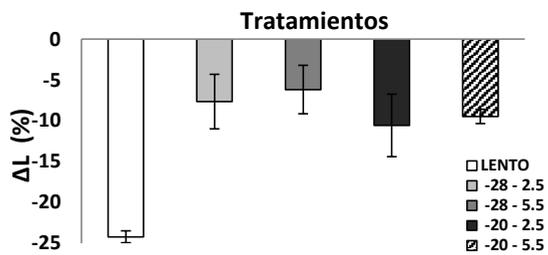
Las velocidades de congelación de los tratamientos por IQF fueron de 2,17, 3,2, 1,47 y 2,43°C/min a -28°C-2,5m/s y -28°C-5,5m/s, -20°C-2,5m/s y -20°C-2,5 y 5,5m/s, respectivamente, mientras que en congelación lenta fue de 0,47°C/min.



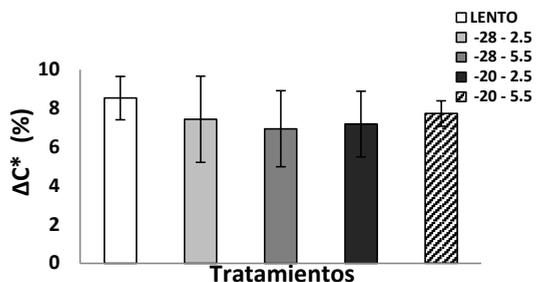
**Figura 1.** Pérdida de fase líquida (PFL) en cilindros de melón congelados-descongelados por congelación lenta a -18°C y congelación IQF a -20 y -28°C y 2,5 y 5,5m/s.



**Figura 2.** Pérdida de volumen (ΔV) en cilindros de melón congelados-descongelados por congelación lenta a -18°C y congelación IQF a -20 y -28°C y 2,5 y 5,5m/s.



**Figura 3.** Pérdida de luminosidad (ΔL) en cilindros de melón congelados-descongelados por congelación lenta a -18°C y congelación IQF a -20 y -28°C y 2,5 y 5,5m/s.



**Figura 4.** Cambio de cromas (ΔC\*) en cilindros de melón congelados-descongelados por congelación lenta a -18°C y congelación IQF a -20 y -28°C y 2,5 y 5,5m/s.

## DISCUSIÓN

En las figuras 1 y 2 se observaron menores PFL y ΔV de las muestras congeladas por IQF frente a las congeladas lentamente ( $P < 0,05$ ). Este resultado se debe a mayores VC en las muestras tratadas por IQF (hasta 3,2°C/min), la cual pueden dar lugar a la formación de cristales más pequeños (a nivel intracelular) en contraste con la congelación lenta (0,47°C/min), provocando un menor daño al tejido celular; por lo tanto se dificulta la liberación de líquidos y se preserva mejor la estructura celular (11). Además, con la congelación rápida se podría reducir la pérdida de vitaminas hidrosolubles y minerales que ocurren normalmente durante la descongelación (12). Por otra parte, se observa que a temperaturas más bajas y velocidades del aire más altas (-28°C y 5,5m/s) se produjeron las menores PFL y ΔV ( $P < 0,05$ ); estos resultados son lógicos, si se tiene en cuenta que bajo esta condición se presentó más del doble de VC (3,2°C/min) respecto a la combinación con mayor temperatura y menor velocidad de aire -20°C y 2,5m/s (1,47°C/min). Dichos resultados concuerdan con los reportados (9), quienes manifiestan que la velocidad y la temperatura del aire son los principales factores que afectan la VC, y recomiendan mayores velocidades y menores temperaturas del aire para alimentos con alta conductividad térmica, lo que se cumple en este caso, dados los altos contenidos de agua del melón (92%bh). Resultados similares fueron reportados por (13) blueberry fruit was frozen at -20, -45, and -70°C immediately after harvest. After 24 hr of freezing, frozen blueberries were stored at -20°C for 2 months. Blueberries were thawed at 4°C or 25°C and subjected to subsequent analyses of drip ratio, fruit hardness, pH of juice, color, and sugar content. Frozen berries at all three temperatures did not show any significant difference in pH or sugar content compared with fresh berries. The drip ratio of berries decreased as the freezing temperature decreased. Thawing conditions significantly affected the drip ratio of berries frozen at -20°C. Hardness of berries was significantly reduced after freeze-thawing. Freezing and thawing reduced total aerobic bacteria and yeast/mold numbers by more than 2 log regardless of freezing or thawing temperature (4°C or 25°C) en la congelación rápida de arándanos. Diversos autores reportan los cambios estructurales en frutas asociados a la VC (14) (5). El ANOVA mostró un efecto significativo de ambos factores sobre PFL y ΔV ( $P < 0,05$ ).

De igual manera en la figura 3 se observó que la pérdida de luminosidad fue menor para congelación IQF (mayor claridad) frente a la congelación lenta ( $P < 0,05$ ). Entre los tratamientos por IQF el de menor temperatura y mayor velocidad del aire ( $-28^{\circ}\text{C}$ ,  $5,5\text{m/s}$ ) fue el que menor pérdida presentó. Esto se puede explicar debido a que los materiales congelados a mayor VC favorecen la formación de pequeños cristales de hielo que dan lugar a pequeños poros que dispersan más la luz que los poros grandes, lográndose un color más cercano al blanco (15). Este mismo comportamiento fue reportado por autores (16), quienes obtuvieron una apariencia más opaca en fresas congeladas a una menor VC. El ANOVA mostró un efecto significativo de la temperatura, la velocidad del aire y su interacción ( $P < 0,05$ ) sobre  $\Delta L$  en el melón.

El cambio en el croma del melón figura 4 se incrementó en todos los tratamientos después de la descongelación tanto para congelación lenta como IQF, contrario al comportamiento presentado por las demás variables de calidad. Este resultado fue positivo para la fruta ya que la congelación independientemente de la velocidad de congelación aumentó la viveza de color del melón; sin embargo este incremento fue un poco mayor en congelación lenta. Este resultado puede ser atribuido a una mayor difusión de pigmentos desde el centro de la fruta hacia las capas celulares más externas durante la descongelación, la cual se favorece por el daño celular ocasionado por los cristales formados, especialmente a menor VC (17). Resultados similares fueron reportados por la literatura (17) en fresa congelada por dos métodos de congelación, tradicional lento ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) e IQF con nitrógeno líquido. Sin embargo, al comparar entre los tratamientos por IQF y el control no se evidenciaron diferencias significativas en la prueba Dunnett ( $P > 0,05$ ), ni entre tratamientos IQF ( $P > 0,05$ ).

## CONCLUSIONES

El proceso de congelación IQF favoreció la reducción en las pérdidas de calidad en melón frente a la congelación tradicional (congelación lenta), presentando los menores cambios en sus propiedades físicas a menores temperaturas y mayores velocidades de aire ( $-28^{\circ}\text{C}$  y  $5,5\text{m/s}$ ).

## REFERENCIAS

- Maestrelli A, Lo Scalzo R, Lupi D, Bertolo G, Torreggiani D. Partial removal of water before freezing : cultivar and pre-treatments as quality factors of frozen muskmelon (Cucumis melo , cv reticulatus Naud ). J Food Eng. 2001; 49:255-60.
- Wu L, Orikasa T, Tokuyasu K, Shiina T, Tagawa A. Applicability of vacuum-dehydrofreezing technique for the long-term preservation of fresh-cut eggplant: Effects of process conditions on the quality attributes of the samples. J Food Eng [Internet]. Elsevier Ltd; 2009 Apr [cited 2015 Apr 8]; 91(4): 560-5.
- James C, Purnell G, James J. Critical Review of Dehydrofreezing of Fruits and Vegetables. Food Bioprocess Technol. 2014; 7: 1219-34.
- Marani CM, Agnelli ME, Mascheroni RH. Osmo-frozen fruits: mass transfer and quality evaluation. J Food Eng [Internet]. 2007 Apr [cited 2015 Apr 8]; 79(4): 1122-30.
- Chassagne-Berces S, Poirier C, Devaux M-F, Fonseca F, Lahaye M, Pigorini G, et al. Changes in texture, cellular structure and cell wall composition in apple tissue as a result of freezing. Food Res Int [Internet]. Elsevier Ltd; 2009 Aug [cited 2015 Mar 2]; 42(7): 788-97.
- Bello EC, Mascheroni R, Della P. Deshidrocongelación de Zapallo Anco. [Tesis Maestría]. [Buenos Aire, Argentina]: Universidad Tecnológica Nacional; 2012. 14 p.
- Moraga NO, Jauriat L a., Lemus-Mondaca R a. Heat and mass transfer in conjugate food freezing/air natural convection. Int J Refrig [Internet]. Elsevier Ltd and IIR; 2012 Jun [cited 2014 Nov 1]; 35(4): 880-9.
- Liang D, Lin F, Yang G, Yue X, Zhang Q, Zhang Z, et al. LWT - Food Science and Technology Advantages of immersion freezing for quality preservation of litchi fruit during frozen storage. LWT - Food Sci Technol [Internet]. Elsevier Ltd; 2015; 60(2): 948-56.
- Huan Z, He S, Ma Y. Numerical simulation and analysis for quick-frozen food processing. J Food Eng [Internet]. 2003 Dec [cited 2014 Nov 23]; 60(3): 267-73.
- Ayala Aponte A, Cadena MI. The influence of osmotic pre-treatments on melon (Cucumis melo L.) quality during frozen storage Influencia de pretratamientos osmóticos sobre la calidad de muestras de melón ( Cucumis melo L . ) durante almacenamiento en congelación. DYNA. 2014; 81(186): 81-6.
- Buggenhout S Van, Sila DN, Duvetter T, Loey A Van, Hendrickx M. Pectins in Processed Fruits and Vegetables : Part III — Texture Engineering. Compr Rev food Sci food Saf. 2009; 8(2): 105-17.
- Gonçalves EM, Abreu M, Brandão TRS, Silva CLM. Degradation kinetics of colour, vitamin C and drip loss in frozen broccoli (Brassica oleracea L. ssp. Italica) during storage at isothermal and non-isothermal conditions. Int J Refrig [Internet]. 2011 Dec [cited 2015 May 20]; 34(8): 2136-44.
- Jo H-J, Kim J-E, Yu M-J, Lee W-H, Song K Bin, Kim H-Y, et al. Effect of Freezing Temperature on Blueberry Quality. J Korean Soc Food Sci Nutr [Internet]. Korean Society of Food Science and Nutrition; 2014 Dec31[cited 2016 Jan 27]; 43(12): 1906-12.
- Xin Y, Zhang M, Xu B, Adhikari B, Sun J. Research trends in selected blanching pretreatments and quick freezing technologies as applied in fruits and vegetables: A review. International Journal of Refrigeration [Internet]. Elsevier Ltd; 2015 Apr [cited 2015 May 2]; 1-46.
- María A, Inés G, Eduardo C. Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. J Food Eng. 2012; 111: 360-5.
- Agnelli ME, Mascheroni RH. Quality evaluation of foodstuffs frozen in a cryomechanical freezer. J Food Eng. 2002; 52: 257- 63.
- Holzwarth M, Korhummel S, Carle R, Kammerer DR. Evaluation of the effects of different freezing and thawing methods on color, polyphenol and ascorbic acid retention in strawberries (Fragaria×ananassa Duch.). Food Res Int [Internet]. Elsevier Ltd; 2012 Aug [cited 2015 May 20]; 48(1): 241-8.

# CINÉTICAS DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE MELÓN (*Cucumis melo*) Y EFECTO SOBRE SU CALIDAD

## KINETICS OF OSMOTIC DEHYDRATION OF MELON (*Cucumis melo*) AND EFFECT ON QUALITY

ORTEGA-VILLALBA, K.J.<sup>1\*</sup>, VÉLEZ-PASOS, C.A.<sup>2</sup>, AYALA-APONTE, A.A.<sup>3</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes:** La deshidratación osmótica (DO) es una alternativa de conservación que involucra la transferencia de agua y solutos entre la matriz de un producto vegetal y una solución hipertónica. Este intercambio de masa podría tener un efecto sobre la calidad y el rendimiento de los productos deshidratados, especialmente en productos con altos contenidos de agua como las frutas. **Objetivos:** Evaluar el efecto de la concentración de la solución osmótica de sacarosa sobre las cinéticas de DO, el cambio de color ( $\Delta L$  y  $\Delta C^*$ ) y de volumen ( $\Delta V$ ) de muestras de melón osmo-deshidratadas. **Métodos:** La DO se realizó a tres concentraciones de sacarosa (45, 55 y 65°Brix) a presión atmosférica durante 4h a 30°C. La relación fruta:solución fue 1:20 y durante el proceso se agitó la solución a 1000 r.p.m. Las cinéticas se evaluaron en términos de pérdida de agua ( $\Delta M_A$ ), ganancia de sólidos ( $\Delta M_S$ ) y pérdida total de peso ( $\Delta M_P$ ) durante 240 minutos; así mismo se evaluaron el cambio en el croma ( $\Delta C^*$ ), la luminosidad ( $\Delta L$ ) y el  $\Delta V(\%)$  del melón antes y después de deshidratar. Las pruebas se realizaron por triplicado y el análisis estadístico se realizó mediante un ANOVA con una confiabilidad del 95%. **Resultados:** La concentración de la solución tuvo efecto significativo sobre  $\Delta M_A$  y  $\Delta M_P$  ( $P < 0,05$ ) y no tuvo efecto sobre  $\Delta M_S$  ( $P > 0,05$ ). Las muestras de melón deshidratadas a 65°Brix presentaron las mayores pérdidas de luminosidad y de volumen respecto a las muestras frescas ( $P < 0,05$ ), sin embargo lograron la mayor viveza en el color ( $\Delta C$ ) de manera significativa ( $P < 0,05$ ). **Conclusiones:** El incremento de la concentración de la solución de sacarosa desde 45 hasta 65°Brix

favoreció la pérdida de agua y la pérdida de peso, mientras que no influyó en la ganancia de solutos; favoreció también la pureza o viveza de color. La luminosidad disminuyó ligeramente y el volumen se redujo significativamente.

**Palabras clave:** Deshidratación, cinética, calidad de los alimentos, *Cucumis melo*.

### ABSTRACT

**Background:** The osmotic dehydration is an alternative of conservation that involves the transfer of water and solutes between the matrix of vegetables and a hypertonic solution. This mass exchange may have an effect on the quality and performance of dehydrated products, especially in products with high water content like fruits. **Objectives:** Assess the effect of the concentration of sucrose osmotic solution on OD kinetics, the color change color ( $\Delta L$  y  $\Delta C^*$ ) and volume in osmodehydrated samples of melon (*Cucumis melo*). **Methods:** OD was performed at three concentrations of sucrose (45, 55 and 65 °Brix) at atmospheric pressure during 4h at 30°C. The fruit:solution relationship was 1:20 and during the process the solution was stirred at 1000 r.p.m. The kinetics were evaluated in terms of water loss ( $\Delta M_A$ ), solids gain ( $\Delta M_S$ ) and total weight loss ( $\Delta M_P$ ) during 240min; likewise the change in the chroma ( $\Delta C^*$ ), brightness ( $\Delta L$ ) and  $\Delta V(\%)$  were evaluated before and after dehydration. The tests were performed in triplicate and statistical analysis was performed using ANOVA with a reliability of 95%. **Results:** Significant difference of solutes concentration on  $\Delta M_A$  and  $\Delta M_P$  ( $P < 0.05$ ) were found, however an effect of on  $\Delta M_S$  was not observed ( $P > 0,05$ ). Samples of dehydrated melon

<sup>1</sup> Estudiante de Maestría Ingeniería de Alimentos, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle. Cali-Colombia.

<sup>2</sup> Profesor Titular, Ph.D. en Ingeniería de Alimentos, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle. Cali-Colombia.

<sup>3</sup> Profesor Asociado, Ph.D. en Ingeniería de Alimentos, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle. Cali-Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: ortega.karen@correounivalle.edu.co

at 65 °Brix showed the highest losses of L and V respecting fresh samples ( $P < 0.05$ ), however they achieved the highest color intensity  $\Delta C$  ( $P < 0.05$ ). **Conclusions:** The increased concentration of the sucrose solution from 45 to 65 °Brix favored and water loss and weight loss, while it did not influence the gain of solutes; also the purity or color intensity were favored. The brightness was slightly decreased and the volume was significantly reduced.

**Keywords:** Drying, kinetics, food quality, Cucumis melo.

## INTRODUCCIÓN

El melón (*Cucumis melo*) var. Cantaloupe es una fruta con alto contenido de humedad, por lo cual es altamente perecedera dificultando su comercialización (1) (2). La DO es una técnica eficaz para eliminar parcialmente el agua de los alimentos cuando se colocan en solución concentrada (3) moisture content, consistency and red index ( $a^*$ ). Los gradientes de transferencia de masa asociados a la DO producen cambios en las características químicas, físicas y estructurales del tejido de la planta, tales como cambios en el volumen (4), cambios en las propiedades mecánicas (5) y cambios de color (6), relacionados con factores de calidad (7). Los dos principales parámetros que influyen la pérdida de agua y la ganancia de sólidos en frutas y vegetales durante la DO es la concentración de sacarosa y la temperatura de la solución osmótica (3)(8). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la concentración de sacarosa (45, 55 y 65°Brix) sobre la transferencia de masa, el color y el volumen de cilindros de melón deshidratados osmóticamente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon melones (*Cucumis melo*) var. Cantaloupe-caminos cosechados en el norte del Valle del Cauca, en forma cilíndrica con dimensiones de 22 mm de diámetro y 15 mm de altura con sólidos solubles entre  $7.7 \pm 0.7$ . Las muestras se osmodeshidrataron con una solución de sacarosa (5L) durante 4h a 30°C empleando tres concentraciones 45, 55 y 65°Brix, con agitación permanente a 1000rpm y una relación fruta: solución de 1:20. Se extrajeron muestras a los 0, 30, 70, 100, 140, 180 y 240min. Para cada tiempo se determinaron el peso, los sólidos solubles y contenido de humedad, y a partir de éstas se calculó  $\Delta M_A$ ,  $\Delta M_S$ ,  $\Delta M_P$  mediante las ecuaciones 1-3. El  $\Delta V$  o encogimiento se determinó

de manera similar a  $\Delta M_P$ , midiendo el volumen de los cilindros en melón fresco (0 min) y osmodeshidratado (240min), a partir del diámetro y la altura en tres puntos separados 120° en una de las caras circulares del cilindro. Las coordenadas de color CIE-L,  $a^*$   $b^*$  se obtuvieron partir de los espectros de reflexión de la fruta, con los cuales se estimó la luminosidad (L) y la coordenada psicométrica cambio de croma ( $\Delta C$ ) a partir de la ecuación 4; para ello se empleó un espectro colorímetro (Hunterlab Reston, USA). Los experimentos se realizaron por triplicado y los resultados se evaluaron mediante el ANOVA con el programa Minitab 16 con una confiabilidad del 95%.

$$\Delta M_P [\%] = \frac{m_t - m_0}{m_0} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

$$\Delta M_A [\%] = \frac{m_t x_{At} - m_0 x_{A0}}{m_0} \times 100 \quad \text{Ec. 2}$$

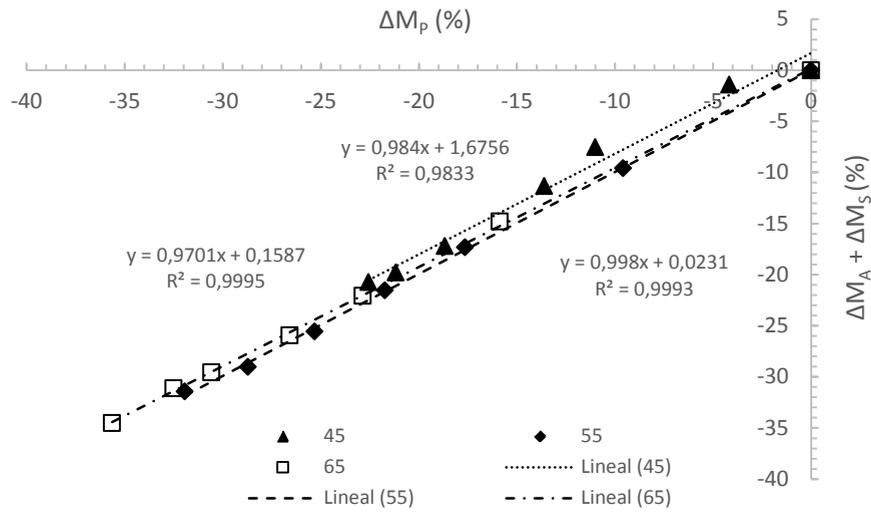
$$\Delta M_S [\%] = \frac{m_t x_{st} - m_0 x_{s0}}{m_0} \times 100 \quad \text{Ec. 3}$$

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{Ec. 4}$$

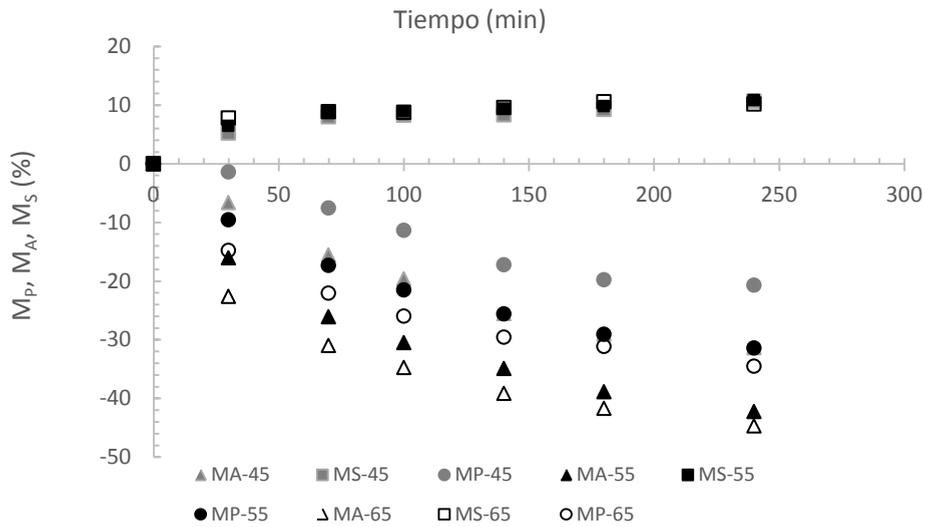
Donde ( $m_0 - m_t$ ); ( $x_{A0} - x_{At}$ ); y ( $x_{s0} - x_{st}$ ) corresponden al peso, contenido de humedad en base húmeda y sólidos solubles, al inicio y en cada tiempo, respectivamente;  $a^*$  y  $b^*$  corresponden a la coloración entre rojo-verde y coloración entre amarillo-azul, respectivamente

## RESULTADOS

En la figura 1 se muestra la relación  $\Delta M_P$  vs  $\Delta M_A + \Delta M_S$  para verificar los balances de materia de los tratamientos osmóticos. En la figura 2 se presentan las cinéticas de pérdida de agua ( $\Delta M_A$ ) y ganancia de sólidos ( $\Delta M_S$ ) en los diferentes tratamientos osmóticos de melón. Las  $\Delta M_A$  se incrementaron significativamente ( $p < 0.05$ ) con el aumento de la concentración de sacarosa de la SO, la mayor pérdida de agua al final del proceso ( $44.69 \pm 0.45$  %) correspondió a la concentración de 65°Brix, mientras que las de 55 y 45°Brix alcanzaron  $42.24 \pm 0.31$  y  $31.36 \pm 0.48$  % respectivamente. La concentración no afectó significativamente ( $p > 0.05$ ) a  $\Delta M_S$ , el cual varió entre 10.16 y 10.80% entre tratamientos. La tabla 1 muestra la variación de la luminosidad, el croma y el volumen entre muestras de melón frescas y osmodeshidratadas (240min). Se presenta  $\Delta$  (%) en cada parámetro de manera similar a la relación establecida en la ecuación 1, entre los valores iniciales y finales.



**Figura 1.** Balance de materia ( $\Delta M_p$  vs  $\Delta M_A + \Delta M_S$ ) de los tratamientos osmóticos.



**Figura 2.** Cinéticas de pérdida de agua ( $\Delta M_A$ ) y ganancia de sólidos ( $\Delta M_S$ ) durante la DO de melón.

**Tabla 1.** Efecto de la concentración de sacarosa sobre  $\Delta L$ ,  $\Delta C$  y  $\Delta V$  en DO de melón

Parámetro	SS [°Brix]	Fresco	DO	$\Delta$ (%)
<i>L</i>	45	50,37 ± 0,174	49,11 ± 0,214	-2,50 ± 0,737
	55	50,07 ± 0,532	47,82 ± 0,424	-4,50 ± 0,251
	65	50,67 ± 0,840	47,12 ± 0,732	-7,01 ± 0,260
<i>C</i>	45	29,02 ± 0,120	30,01 ± 0,127	3,41 ± 0,540
	55	30,33 ± 0,378	32,49 ± 0,485	5,84 ± 0,449
	65	27,35 ± 0,180	29,76 ± 0,317	8,83 ± 0,779
<i>V [cm³]</i>	45	53,74 ± 0,89	41,83 ± 0,42	-22,14 ± 0,714
	55	57,05 ± 1,42	42,91 ± 1,28	-24,80 ± 0,442
	65	50,42 ± 0,57	35,75 ± 0,66	-29,09 ± 0,600

SS: concentración de la solución osmótica en sólidos solubles

## DISCUSIÓN

En la figura 1 se observa que los valores de las pendientes de las rectas ajustadas a los datos experimentales son cercanas a 1. La diferencia presentada respecto al valor esperado ( $\sim 1$ ) fueron mínimas, lo cual indica que la pérdida de peso general se debió a la pérdida de agua y ganancia de solutos y no se presenta pérdida significativa de otros compuestos de la fruta.

Como se aprecia en la figura 2, en los primeros 70 min se presentan altas tasas de transferencia de masa, con una disminución gradual a partir de allí, hasta el final del proceso osmótico. Resultados similares fueron reportados por Ayala-Aponte et al. (9) y Ferrari et al. (10) en DO de pitahaya amarilla y melón, respectivamente. Por otra parte, se observó una disminución en  $\Delta MP$  con el tiempo de proceso para todos los tratamientos, lo cual se explica debido a una mayor  $\Delta MA$  ( $\cong 44,69\%$ ) respecto de  $\Delta MS$  ( $\cong 10,8\%$ ). Este comportamiento puede ser causado por la permeabilidad selectiva de las membranas celulares, que permiten el transporte de pequeñas moléculas como el agua, pero restringen el transporte de moléculas más grandes como la sacarosa y por lo tanto reduce su difusión a través del tejido celular (11). Adicionalmente un incremento en la concentración de sacarosa ocasionó mayores pérdidas de agua,  $\Delta MA$  ( $P < 0,05$ ), mientras que la ganancia de sólidos,  $\Delta MS$ , no fue significativa ( $P > 0,05$ ). Según Ferrari et al. (12) a mayor concentración de azúcar se incrementa el gradiente de presión osmótica en la interface producto/solución, incrementando las tasas de transferencia de masa. Sin embargo, el incremento en la viscosidad asociado a una mayor concentración de solutos puede dificultar la absorción de azúcares (12). Este comportamiento se presentó también en mango (13) y kiwi (14).

En la tabla 1, se observa una disminución de L y del volumen además de un incremento de C en el melón osmodeshidratado respecto al fresco. Por otra parte, el mismo comportamiento fue evidente para  $\Delta L$ ,  $\Delta C$  y  $\Delta V$  con el incremento de la concentración de solutos en la solución osmótica ( $P < 0,05$ ). La disminución de  $\Delta L$  podría ser el resultado de una mayor acumulación de solutos dentro de la matriz que afectaría la claridad de la muestra; además una mayor pérdida de agua evidente a una mayor concentración de solutos podría favorecer un incremento en la concentración de carotenoides y la pérdida

de turgencia y/o colapso celular incrementando la viveza o pureza de color ( $\Delta C$ ) y generando mayores  $\Delta V(15)$ . Resultados similares fueron reportados por Rodríguez et al (16) y Campos et al. (17) en papaya y carambolo.

## CONCLUSIONES

El incremento de la concentración de una solución de sacarosa desde 45 hasta 65°Brix favorece la pérdida de agua y la pérdida de peso, mientras que no influye en la ganancia de solutos; favorece también la pureza de color incrementando la concentración del color naranja característico del melón. Este incremento de la concentración disminuyó ligeramente la luminosidad y significativamente el volumen.

## REFERENCIAS

1. Maestrelli A, Lo Scalzo R, Lupi D, Bertolo G, Torreggiani D. Partial removal of water before freezing : cultivar and pre-treatments as quality factors of frozen muskmelon (*Cucumis melo*, cv *reticulatus* Naud.). *J Food Eng.* 2001; 49: 255-60.
2. Wu L, Orikasa T, Tokuyasu K, Shiina T, Tagawa A. Applicability of vacuum-dehydrofreezing technique for the long-term preservation of fresh-cut eggplant: Effects of process conditions on the quality attributes of the samples. *J Food Eng [Internet]. Elsevier Ltd; 2009 Apr [cited 2015 Apr 8]; 91(4): 560-5.*
3. 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 Sci Technol [Internet]. Elsevier Ltd; 2015; 60(2): 641-8.*
4. Castro-Giráldez M, Tylewicz U, Fito PJ, Dalla Rosa M, Fito P. Analysis of chemical and structural changes in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv Hayward) through the osmotic dehydration. *J Food Eng.* 2011; 105: 599-608.
5. Chiralt A, Talens P. Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues. *J Food Eng [Internet]. 2005 Mar [cited 2015 Apr 8]; 67(1-2): 167-77.*
6. Nuñez-Mancilla Y, Pérez-Won M, Uribe E, Vega-Gálvez A, Di Scala K. Osmotic dehydration under high hydrostatic pressure: Effects on antioxidant activity, total phenolics compounds, vitamin C and colour of strawberry (*Fragaria vesca*). *LWT - Food Sci Technol [Internet]. Elsevier Ltd; 2013 Jul [cited 2015 May 20]; 52(2): 151-6.*
7. Mayor L, Pissarra J, Sereno a. M. Microstructural changes during osmotic dehydration of parenchymatic pumpkin tissue. *J Food Eng.* 2008; 85(3): 326-39.
8. Abraão AS, Lemos AM, Vilela A, Sousa JM, Nunes FM. Influence of osmotic dehydration process parameters on the quality of candied pumpkins. *Food Bioprod Process [Internet]. Institution of Chemical Engineers; 2013; 91(4): 481-94.*
9. Aponte A a A, Cuartas CJG, Cock LS. Cinéticas de deshidratación osmótica de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Interciencia.* 2010;35(7):539-44.
10. Ferrari CC, Rodrigues LK, Tonon RV, Hubinger MD. Cinética de transferência de massa de melão desidratado osmoticamente em soluções de sacarose e maltose. *Ciência e Tecnol Aliment.* 2005; 25(19): 564-70.

11. Silva KS, Fernandes M a., Mauro M a. Effect of calcium on the osmotic dehydration kinetics and quality of pineapple. *J Food Eng* [Internet]. Elsevier Ltd; 2014; 134: 37-44.
12. Ferrari CC, Carmello-Guerreiro SM, Bolini HMA, Hubinger MD. Structural Changes, Mechanical Properties and Sensory Preference of Osmodehydrated Melon Pieces with Sucrose and Calcium Lactate Solutions. *Int J Food Prop* [Internet]. 2010 Jan [cited 2015 Apr 8]; 13(1): 112-30.
13. Torres JD, Talens P, Escriche I, Chiralt A. Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango. *J Food Eng*. 2006; 74(2): 240-6.
14. Talens P, Martinez N, Fito P, Chiralt A. Changes in optical and mechanical properties during osmodehydrofreezing of kiwi fruit. *Innov Food Sci Emerg Technol*. 2001; 3: 191-9.
15. Phisut N, Rattanawedee M, Aekkasak K. Effect of osmotic dehydration process on the physical, chemical and sensory properties of osmo-dried cantaloupe. *Int Food Res J*. 2013; 20(1): 189-96.
16. Rodrigues ACC, Cunha RL, Hubinger MD. Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. *J Food Eng*. 2003; 59(2-3): 129-35.
17. Campos CDM, Sato ACK, Tonon RV, Hubinger MD, Cunha RL Da. Effect of process variables on the osmotic dehydration of star-fruit slices. *Ciência e Tecnol Aliment*. 2012; 32(2): 357-65.

# EFECTO DE LA TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO SOBRE LA VIABILIDAD DEL *BIFIDOBACTERIUM ANIMALIS* MICROENCAPSULADO.

EFFECT OF STORAGE TEMPERATURE OVER THE VIABILITY OF *BIFIDOBACTERIUM ANIMALIS* MICROENCAPSULATED.

RODRÍGUEZ-RESTREPO Yeimy A<sup>1</sup>, ORREGO Carlos E<sup>2</sup>, RODRÍGUEZ-BARONA Sneyder<sup>3\*</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** La encapsulación de probióticos permite protegerlos de factores medio ambientales adversos que pueden disminuir su viabilidad y actividad metabólica. Existen varias tecnologías recomendadas para la encapsulación de los microorganismos, entre ellas el secado por aspersión presenta múltiples ventajas. El conocimiento de la temperatura óptima de almacenamiento tras el encapsulado podrá favorecer la estabilidad y viabilidad de los microorganismos durante su manipulación en tratamientos tecnológicos, almacenamiento y consumo. **Objetivo:** En el presente trabajo se estudió el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la viabilidad del *Bifidobacterium animalis* microencapsulado mediante secado por aspersión. **Métodos:** Se obtuvieron microcápsulas de *B. animalis* mediante secado por aspersión. Las condiciones de secado establecidas fueron: temperatura de entrada del aire 80°C, rendimiento de la bomba 0.05%, rendimiento del aspirador 75% y flujo de aire 700NL/h. Como materiales pared se emplearon goma arábica y leche entera en polvo en relación 1:1 p/p con un 20% p/v de sólidos. Las microcápsulas obtenidas fueron empacadas al vacío en bolsas metalizadas y almacenadas a 4±2°C y a 20±2°C. Se evaluó el porcentaje de viabilidad del microorganismo y los recuentos de células de expresaron en LogUFC/g. Se evaluaron antes y después del almacenamiento las propiedades físico-químicas (higroscopicidad, humedad, actividad de agua) y morfológicas mediante microscopía SEM. Se realizó una búsqueda sistemática de información en bases

de datos y se seleccionaron las referencias según pertinencia y actualidad. **Resultados:** La viabilidad *B. animalis* microencapsulado y almacenado a 4±2°C vario del 98.0% al 70.8% durante 20 semanas pasando de 9.4 a 6.7 logUFC/g, mientras que a 20±2°C pasó de 9.5 a 2.2 logUFC/g equivalente al 23.0% de la viabilidad. Los resultados obtenidos, no mostraron cambios significativos en los parámetros físicos evaluados. Las cápsulas almacenadas se observaron aglomeradas e hidratadas en su estructura. **Conclusiones:** Este estudio demostró que el almacenamiento a bajas temperaturas favorece la viabilidad de *B. animalis* encapsulados mediante secado por aspersión.

**Palabras clave:** probiótico, secado por aspersión, microencapsulación, viabilidad, *Bifidobacterium*.

## ABSTRACT

**Background:** The encapsulation of probiotics can protect them from adverse environmental factors that can decrease their viability and metabolic activity. Several technologies are recommended for encapsulation of microorganisms, including spray drying, which has many advantages. The knowledge of the optimum storage temperature after encapsulation can promote stability and viability of microorganisms during handling in technological treatments, storage and consumption. **Objective:** In this work was to study the effect of storage temperature on the viability of *Bifidobacterium animalis* microencapsulated by spray drying. **Methods:** *B. animalis* microcapsules were obtained by spray drying. The drying conditions were; inlet temperature 80°C, pump efficiency

<sup>1,3</sup> Grupo de Investigación en Bacterias Ácido Lácticas y sus Aplicaciones Biotecnológicas Industriales, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia – Manizales, Colombia.

<sup>2</sup> Grupo de Investigación en Alimentos Frutales, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Colombia – Manizales, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: snrodriguezba@unal.edu.co.

0.05%, yield aspirator 75% and airflow 700NL/h. The wall material were gum arabic and whole milk powder used in ratio 1:1 w/w (20% of total solids). The microcapsules obtained were sealed hermetically in opaque packaging and stored at  $4\pm 2^{\circ}\text{C}$  and  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Microorganism viability (LogCFU/g) was evaluated. The physicochemical properties (hygroscopicity, humidity and water activity) were evaluated before and after storage and the morphology of the microparticles was observed with a scanning electron microscope. A systematic search for information in databases was performed and references were selected according to relevance and timeliness. **Results:** The viability of encapsulated *B. animalis* stored at  $4\pm 2^{\circ}\text{C}$  remained at a percentage of 98.0-70.8% for 20 weeks, falling of 9.4 to 6.7 logUFC/g, while the viability of *B. animalis* stored at  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  falling of 9.5 to 2.2 logUFC/g equivalent to 23.0% of viability. The results showed no significant changes in physical parameters evaluated. The capsule were observed agglomerated and hydrated in its structure. **Conclusions:** This study demonstrated that stored at low temperatures is an effective protection in the viability of encapsulated *B. animalis* obtained by spray drying.

**Keywords:** Probiotic, spray drying, microencapsulation, viability, *Bifidobacterium*

## INTRODUCCIÓN

Los microorganismos probióticos son definidos como “microorganismos vivos que al ser suministrados en dosis adecuadas afectan beneficiosamente la salud del huésped” (1). En las últimas décadas, la industria de los alimentos funcionales probióticos y nutraceuticos ha crecido gracias al conocimiento que tienen tanto, científicos, industriales y los consumidores acerca de los beneficios de estos microorganismos (2). Sin embargo las condiciones medioambientales durante tratamientos tecnológicos y un inadecuado almacenamiento, pueden generar pérdida de viabilidad y de las características funcionales de estos probióticos. En este sentido las tecnologías de encapsulación mediante el recubrimiento de los microorganismos con una matriz protectora, generan una barrera que los aísla de factores adversos, y mediante un adecuado almacenamiento se podrá favorecer la estabilidad y viabilidad de los microorganismos (3).

En la presente investigación se evaluó el efecto de la temperatura de almacenamiento durante un periodo de veinte semanas, sobre la viabilidad de *Bifidobacterium animalis* microencapsulado mediante secado por aspersión.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materias primas

En la investigación se usó la cepa de *Bifidobacterium animalis* ATCC 25527 y el medio de cultivo MRS (marca Scharlau S.A). La cepa fue reactivada y conservada en crioviales a  $-4^{\circ}\text{C}$ . Los materiales pared empleados, goma arábica y leche entera en polvo fueron adquiridos del mercado local.

### Obtención de Biomasa de *B. animalis*

La biomasa viable fue obtenida de la siembra en caldo MRS suplementado con L-cisteína al 0.05% e incubado durante 24 horas a  $37^{\circ}\text{C}$ . Posteriormente recuperada por centrifugación a 5000 gravedades durante 15 minutos en una centrifuga modelo 04 Special (Indulab, Medellín) minutos previos a su uso.

### Preparación de dispersiones

Se prepararon dispersiones de leche entera deshidratada (LE) y goma arábica (GA) en relación 1:1 p/p con una concentración de sólidos al 20%p/v. Las dispersiones fueron homogeneizadas con un equipo ultraturrax Micra D-1 (ART Moderne Labortechnik, Germany) y posteriormente fueron inoculadas al 5% con biomasa fresca de *B. animalis*.

### Microencapsulación

Para la microencapsulación se empleó un secador por aspersión Miny Spray Dryer B-191 Büchi (Labortechnik AG, Switzerland), siguiendo la metodología descrita por Rodríguez-Barona y colaboradores (4).

### Almacenamiento

Las microcápsulas del *B. animalis* fueron empacadas a vacío en bolsas de barrera alta SIN IMP 20X30 FL (Tecnas, Colombia) y almacenadas a  $4\pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  durante 20 semanas.

### Recuento de células viables

Se siguió la metodología descrita Semyonov y colaboradores (5). Cada tratamiento se realizó por

triplicado, los resultados del recuento de células viables para cada temperatura de almacenamiento se expresaron como el logaritmo de las Unidades Formadoras de Colonia por gramo (UFC/g).

### Caracterización físico-química y morfológica

La higroscopicidad de las microcápsulas se determinó mediante el método descrito por Caparino y colaboradores (6); los resultados fueron expresados como gramos de humedad absorbida por 100 gramos de sólidos secos (g/100g), y calculados usando la ecuación descrita por Soukoulis y colaboradores (7). El porcentaje de humedad expresado en base seca (% bs), se determinó en una balanza-analizador de humedad por infrarrojo MOC-120H (Shimadzu, Japan) a 100°C. La actividad de agua ( $a_w$ ) fue medida en higrómetro de punto de rocío Thermoconstanter TH200 (Novasina, Switzerland). En todos los casos las determinaciones se realizaron por triplicado al inicio y final del almacenamiento.

El tamaño y la estructura de las microcápsulas de *B. animalis* se determinaron empleando un Microscopio Electrónico de Barrido SEM de alta resolución modelo QUANTA 250 (FEI, Czech Republic). El tamaño promedio de las partículas se expresó en micras y fue dado en función del diámetro.

### Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados empleando el software estadístico Origin Pro 8.1 utilizando un ANOVA con significancia estadística de  $p < 0.05$  al 95% de confianza.

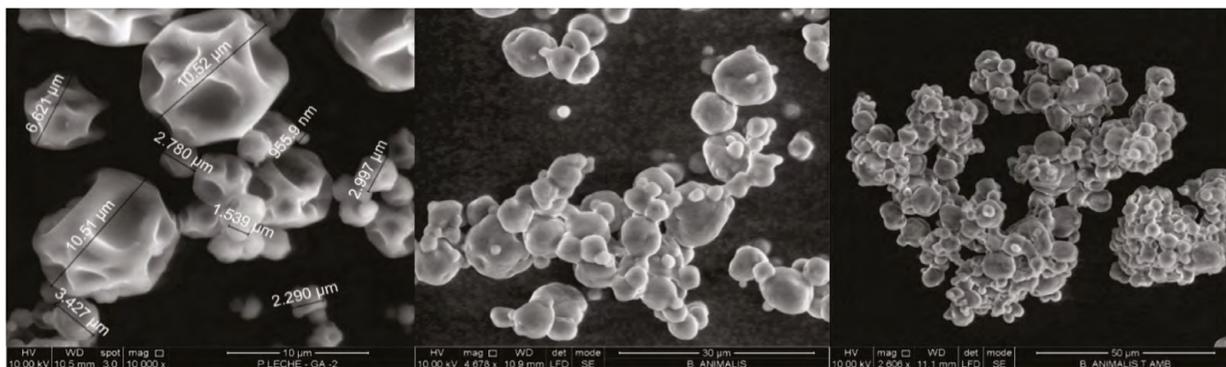
## RESULTADOS

La tabla 1 muestra los valores obtenidos para las propiedades físico-químicas de las microcápsulas y su diámetro promedio, al inicio y al final de la etapa de almacenamiento en ambos tratamientos.

**Tabla 1.** Propiedades físico-químicas para las microcápsulas de *B. animalis* al inicio y final de la etapa de almacenamiento.

Parámetro	Después del secado	Después del almacenamiento a:	
		4 ± 2°C	20 ± 2°C
Higroscopicidad (g humedad/100g sólido seco)	12.25 ± 0.98	9.07 ± 1.73	11.17 ± 1.08
Humedad (% bs)	5.84 %	5.92 %	7.59 %
$a_w$	0.30 ± 0.01	0.38 ± 0.02	0.63 ± 0.03
Diámetro promedio ( $\mu\text{m}$ ) <sup>*</sup>	4.96 ± 4	7.05 ± 4	6.55 ± 4.5

\* Diámetro promedio fue calculado para un n=20 cápsulas.



**Figura 1.** Micrografía SEM para cápsulas de *B. animalis* a) después del secado por aspersión, b) después del almacenamiento a 4 ± 2 °C, aumento 4678x, escala 30 c) después del almacenamiento a 20 ± 2 °C, aumento 2606x, escala 50

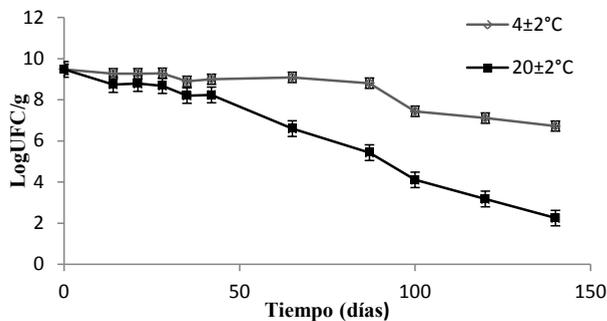
### Morfología de las microcápsulas

La morfología de las microcápsulas del *B. animalis* obtenidas luego del tratamiento de secado se presenta en la figura 1a. Se observaron micro-

cápsulas esféricas y con hendiduras, sin grietas ni fisuras superficiales. Las figuras 1b y 1c, muestran que durante el almacenamiento las microcápsulas se han hidratado, saturado y aglomerado.

## Viabilidad del *B. animalis* durante el almacenamiento

En la figura 2 se presenta la viabilidad de *B. animalis* durante los tratamientos. Se puede observar que las cápsulas almacenadas a  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  redujeron su viabilidad cerca de 7 unidades logarítmicas en 20 semanas de almacenamiento, al pasar de 9.48 a 2.24 LogUFC/g, con un porcentaje de viabilidad del 92% recién encapsulada y 23% luego del almacenamiento. Las cápsulas almacenadas a  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  redujeron cerca de 2.7 unidades logarítmicas durante el mismo periodo, pasando de 9.39 a 6.72 LogUFC/g y una viabilidad final del 70.8%.



**Figura 2.** Viabilidad del *B. animales* durante la etapa de almacenamiento

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos a temperatura de  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  no mostraron cambios significativos en los parámetros físicos evaluados. Estos parámetros podrían estar favoreciendo la estabilidad de las cápsulas y por tanto la viabilidad de los microorganismos, pues se tendrá menor agua disponible para reacciones bioquímicas, así mismo rangos bajos de humedad e higroscopicidad afectan positivamente la integridad (7). Por su parte las muestras almacenadas a  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  mostraron un incremento aunque no significativo en estas medidas.

La morfología observada (figura 1a) puede ser atribuida principalmente a los efectos del calor y la deshidratación, la ausencia de grietas y fisuras podría garantizar baja permeabilidad a los gases hacia el interior de la cápsula y estabilidad y protección a los microorganismos, asegurando su retención al interior de la misma (8). El ANOVA determinó que existe una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) de la media de Log UFC/ml entre una temperatura y otra, sobre la viabilidad de las microcápsulas de *B. animalis*. Los resultados presentados en la figura 2 son comparables con los reportados

por varios autores, quienes observaron que la viabilidad de los microorganismos encapsulados mediante secado por aspersión con diversos materiales pared, se vio favorecida durante el almacenamiento a  $4^\circ\text{C}$  por diversos periodos de tiempo (9).

## CONCLUSIONES

Bajas temperaturas durante el almacenamiento, favorecen la viabilidad de *Bifidobacterium animalis* microencapsulado mediante secado por aspersión, comparativamente con aquellos almacenados a  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ .

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Colciencias y a la Universidad Nacional por el apoyo económico a través del programa de Jóvenes Investigadores e Innovadores Convocatoria 617. Y a la Vicerrectoría de Investigación su apoyo a través de la convocatoria del Programa Nacional de Proyectos para el Fortalecimiento de la Investigación, la Creación y la Innovación en Posgrados de la Universidad Nacional de Colombia 2013-2015 proyecto código 19098.

## REFERENCIAS

- Fuller R. Probiotics in man and animals. *Journal of Applied Bacteriology*. 1989; 66: 365-378.
- Picard C, Fioramonti J, Francois A, Robinson T, Neant F, Matuchansky C. Review article: bifidobacteria as probiotic agents -- physiological effects and clinical benefits. *Aliment Pharmacol Ther*. 2005 Sep; 22(6): 495-512.
- Krasaekoopt W, Bhandari B, Deeth H. The influence of coating materials on some properties of alginate beads and survivability of microencapsulated probiotic bacteria. *Int Dairy J*. 2004 Aug; 14(8): 737-43.
- Rodríguez-Barona S, Montes LM, Ramírez D. Microencapsulación de Probióticos Mediante Secado por Aspersión en Presencia de Prebióticos. *Vitae*. 2012; 19: S186-S188.
- Semyonov D, Ramon O, Kaplun Z, Levin-Brener L, Gurevich N, Shimoni E. Microencapsulation of *Lactobacillus paracasei* by spray freeze drying. *Food Res Int*. 2010 Jan; 43(1): 193-202.
- Caparino OA, Tang J, Nindo CI, Sablani SS, Powers JR, Fellman JK. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine "Carabao" var.) powder. *J Food Eng*. 2012; 111(1): 135-48.
- Soukoulis C, Behboudi-jobbehdar S. Impact of Milk Protein Type on the Viability and Storage Stability of Microencapsulated *Lactobacillus acidophilus* NCIMB 701748 Using Spray Drying. *Food Bioprocess Technol*. 2014; 7: 1255-68.
- Rodríguez-Huezco ME, Durán-Lugo R, Prado-Barragán LA, Cruz-Sosa F, Lobato-Calleros C, Alvarez-Ramírez J, et al. Pre-selection of protective colloids for enhanced viability of *Bifidobacterium bifidum* following spray-drying and storage, and evaluation of aguamiel as thermoprotective prebiotic. *Food Res Int*. 2007 Dec; 40(10): 1299-306.
- Zhao R, Sun J, Torley P, Wang D, Niu S. Measurement of particle diameter of *Lactobacillus acidophilus* microcapsule by spray drying and analysis on its microstructure. *World J Microbiol Biotechnol*. 2007 Nov; 24(8): 1349-54.

# COMPORTAMIENTO FRENTE AL AGUA DE UNA MATRIZ BIODEGRADABLE DE HARINA DE YUCA RECUBIERTA CON COLOFONIA

BEHAVIOR RESPECT TO WATER OF A MATRIX OF CASSAVA FLOUR COATED WITH ROSIN

Alcy René CERÓN MOSQUERA M.Sc.<sup>1\*</sup>, Héctor Samuel VILLADA CASTILLO Ph.D.<sup>1</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** A partir de harina de yuca, combinada con fibra de fique, se pueden elaborar matrices compuestas biodegradables que pueden reemplazar materiales plásticos tradicionales en la fabricación de empaques. No obstante, la elevada tendencia hacia la absorción de agua que tiene el almidón, componente principal de las harinas, limita las aplicaciones de este tipo de matrices, problemas que pueden solucionarse con el desarrollo de recubrimientos que sirvan como barrera a la humedad. **Objetivo:** Evaluar el efecto de un recubrimiento natural elaborado a partir de colofonia sobre el comportamiento de una matriz de harina de yuca frente al agua. **Métodos:** Matrices moldeadas de harina de yuca con fibra de fique fueron recubiertas con colofonia, partiendo de soluciones alcohólicas de esta resina, evaluándose los cambios en la permeabilidad al vapor de agua, la absorción de agua y su comportamiento en isotermas de adsorción de agua de estas matrices, provocados por la incorporación del recubrimiento a la matriz. Adicionalmente se registraron micrografías por microscopía electrónica de barrido (SEM) de la superficie de la matriz recubierta y sin recubrimiento. **Resultados:** Se obtuvieron menores valores de permeabilidad al vapor de agua y de absorción de agua en las matrices recubiertas, sin embargo este efecto dependió de la concentración de las soluciones de colofonia utilizadas para la elaboración del recubrimiento y la morfología superficial de las muestras. Se observó en las isotermas de adsorción de la matriz que ocurre una mayor disminución en la adsorción de agua a valores de actividad de agua inferiores a 0,5.

**Conclusiones:** El recubrimiento elaborado a partir de colofonia logró una disminución significativa en los niveles de permeabilidad al vapor de agua y de absorción de agua en las matrices compuestas de harina de yuca y fibra de fique, igualmente se presentó una disminución en la capacidad adsorbente de agua de la matriz que depende de la actividad de agua del ambiente circundante.

**Palabras clave:** Biopolímeros, colofonia, recubrimiento, absorción de agua, isotermas de adsorción.

## ABSTRACT

**Background:** From cassava flour, combined with fique fiber, can be made composite matrices that can replace traditional plastics materials in the manufacture of packaging. However, the trend towards high water absorption of the starch, the main component of flour, limits the applications of such matrices, these problems can be overcome by the development of coatings that serve as moisture barrier. **Objective:** To evaluate the effect of a natural coating made from rosin on the behavior of a matrix of cassava flour to water. **Methods:** Molded matrices of cassava flour with fique fiber were coated with rosin, based on alcoholic solutions of this resin, evaluating changes in the permeability to water vapor, water absorption and its behavior of water adsorption isotherms of these matrices caused by incorporation of the coating on the matrix. Additionally micrographs were recorded by scanning electron microscopy (SEM) of the surface of the coated and uncoated matrix. **Results:** Lower values of water vapor permeability and absorption of water

<sup>1</sup> Grupo de Investigación CYTBIA, Departamento de Agroindustria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: [alcyeron@unicauca.edu.co](mailto:alcyeron@unicauca.edu.co)

to the coated matrices were obtained, but this effect was dependent on the concentration of solutions of rosin used to prepare the coating and the surface morphology of the samples. It was observed in the adsorption isotherms of the matrix that occurs a greater decrease in the adsorption of water activity at values below of 0,5. **Conclusions:** The coating made from rosin achieved a significant decrease in the levels of water vapor permeability and water absorption of the matrices composed of cassava flour and fique fiber, also occurs a decrease in the water adsorbing capacity of matrix that depends on the water activity of the surrounding environment.

**Keywords:** Biopolymers, rosin, coating, water absorption, adsorption isotherms.

## INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es una planta que se cultiva en más de 100 países de trópicos húmedos y sub-trópicos. Es una de las principales fuentes de almidón a nivel mundial, con bajo contenido de proteínas, carbohidratos solubles y grasas (1). A partir de la yuca se obtienen harinas mediante procesos de molienda y tamizado. Las raíces de la yuca son lavadas, se retira la cascarilla, y se trocean en una picadora. Los trozos secados, al sol o artificialmente, son molidos y tamizados para generar la harina (2).

Mediante la tecnología de moldeo por compresión, se pueden fabricar matrices biodegradables combinando la harina de yuca con fibras naturales, que sirven como alternativa para el reemplazo de los plásticos sintéticos en recipientes tales como bandejas, platos y vasos (3, 4). Un inconveniente que poseen estas matrices es que presentan una gran absorción de agua, que se debe esencialmente a la estructura y naturaleza química del almidón, componente principal de la harina, que le otorga propiedades hidrofílicas (5).

Para disminuir la hidrofiliidad de las matrices derivadas de almidón, se han empleado recubrimientos superficiales que actúan como capas protectoras frente al agua, obtenidos a partir de polímeros y resinas naturales (6, 7). La colofonia, resina natural extraída de los árboles de coníferas, empleada para la preparación de agentes de encolado para papel (8), posee potencial para elaborar tales recubrimientos.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de un recubrimiento natural elaborado con

colofonia aplicado sobre una matriz hecha de harina de yuca y fibra de fique y su comportamiento frente al agua.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales

Para la elaboración del recubrimiento se empleó colofonia de miera de pino adquirida a la empresa Químicos Popayán (Colombia), sebacato de dibutilo (pureza >98%) como plastificante y alcohol etílico (pureza 96%) como solvente. Para la fabricación de las matrices se utilizó harina de yuca (variedad HMC-1) con humedad del 12% y tamaño de partícula no superior a 250  $\mu\text{m}$ , fibra de fique (variedad Uña de Águila) con una longitud entre 250  $\mu\text{m}$  y 450  $\mu\text{m}$ , y glicerol grado comercial (pureza 99,7%).

### Elaboración de especímenes de la matriz moldeada

En una máquina mezcladora (Kitchen Aid) se combinó la harina de yuca, la fibra de fique y el glicerol en una relación 70:28:2, la mezcla obtenida se llevó a una máquina de moldeo por compresión (EDAF) en donde mediante aplicación de calentamiento (200 °C) y presión ( $6,8 \times 10^5$  Pa) se obtuvieron especímenes moldeados de la matriz de 2 mm de espesor.

### Preparación y aplicación del recubrimiento

Se prepararon tres soluciones de colofonia en alcohol etílico al 30% (C30), al 40% (C40) y al 50% (C50) (p/v), por cada 100 partes de colofonia se agregó una de sebacato de dibutilo. Las soluciones de colofonia fueron aplicadas mediante aspersión por spray sobre los especímenes de la matriz moldeada, sometiendo a calentamiento posterior a una temperatura de 40 °C por 10 horas, en una estufa de secado, para lograr la eliminación del solvente y obtener así una película delgada de colofonia plastificada sobre la superficie de la matriz.

### Análisis superficial de la matriz

Se registraron micrografías de la superficie de muestras de la matriz recubierta y sin recubrimiento, empleando un microscopio electrónico de barrido (JSM-6490, JEOL) con filamento de tungsteno operado a 20 kV con un nivel de magnificación de 150X.

### Evaluación del comportamiento frente al agua de la matriz

Se realizaron mediciones de permeabilidad al vapor de agua (ASTM E96/E96M-10), absorción de agua (ASTM D570-10) e isothermas de adsorción de agua de especímenes de la matriz sin recubrimiento y de la matriz recubierta. Las isothermas de adsorción de agua se determinaron a una temperatura de  $23 \pm 1$  °C, en un intervalo de actividad de agua ( $a_w$ ) de 0,13 a 0,95, siguiendo el método gravimétrico propuesto por Wolf, Spiess y Jung (9).

### Análisis estadístico

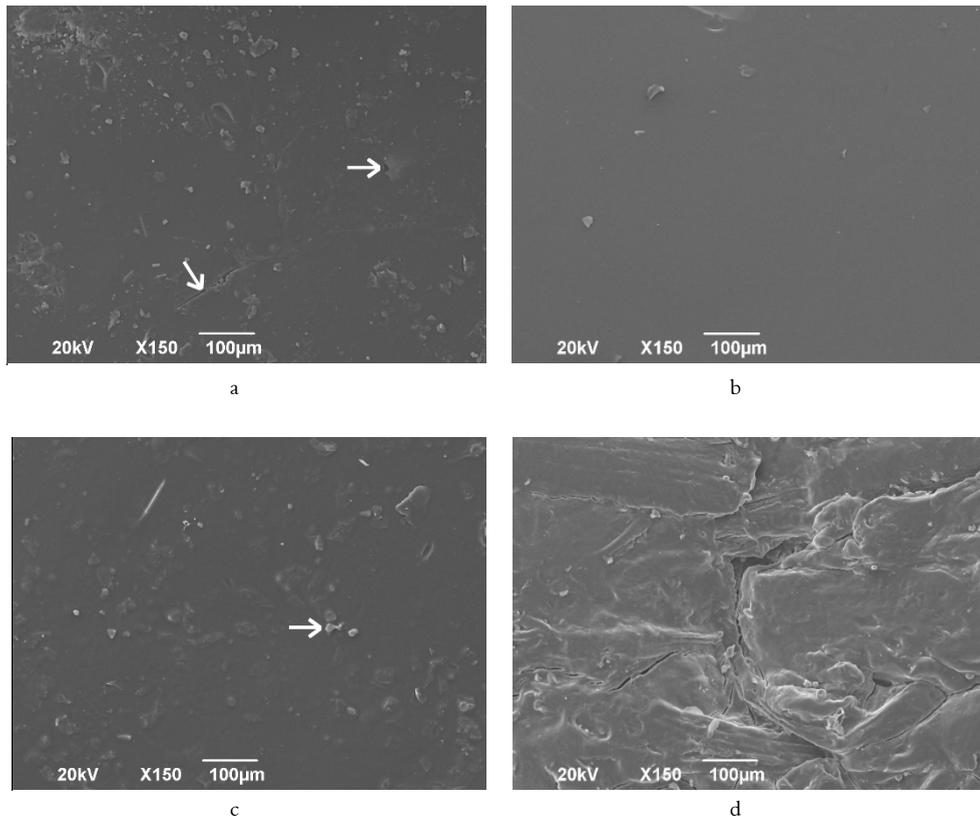
Se aplicaron análisis de varianza, seguidos por pruebas de Tukey, para evaluar las diferencias en

resultados entre los tratamientos, 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 realizados en el paquete estadístico IBM SPSS Statistics 19.

## RESULTADOS

### Análisis superficial de la matriz

En la figura 1 aparecen las micrografías obtenidas por microscopía electrónica de barrido (SEM) de la superficie de la matriz recubierta y sin recubrimiento.



**Figura 1.** Micrografías registradas por SEM de la superficie de la matriz. a) Matriz con C30, b) Matriz con C40, c) Matriz con C50, d) Matriz sin recubrimiento.

### Comportamiento frente al agua de la matriz recubierta

En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos de las mediciones de permeabilidad al vapor de

agua y de absorción de agua de la matriz recubierta y sin recubrimiento.

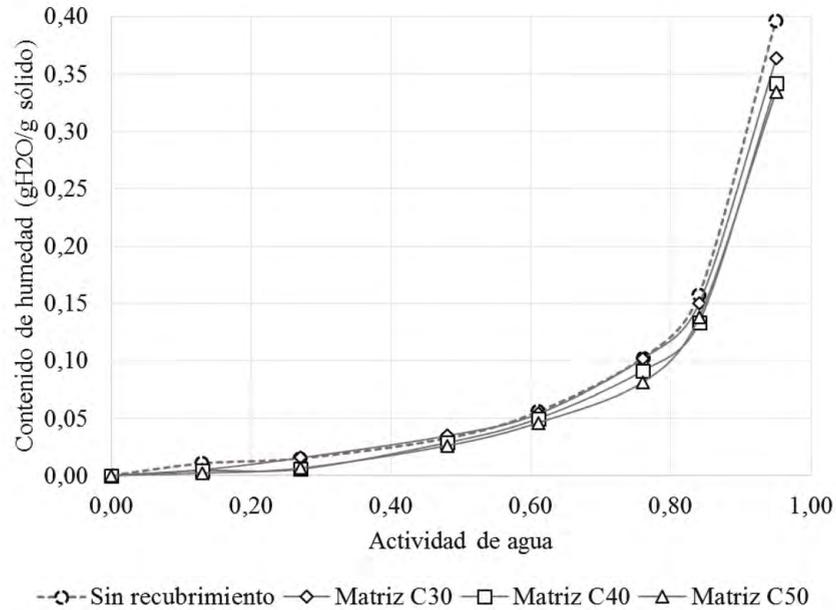
En la figura 2 se muestran las curvas de las isothermas de adsorción de agua obtenidas para las muestras analizadas.

**Tabla 1.** Permeabilidad al vapor de agua y absorción de agua de la matriz recubierta y sin recubrimiento.

Muestra	Permeabilidad al vapor de agua* (g/Pa*s*m)	Absorción de agua* (%)
Matriz recubierta con C30	$2,52 \times 10^{-8} \pm 1,11 \times 10^{-8} \text{ a}$	$210 \pm 12 \text{ a}$
Matriz recubierta con C40	$1,50 \times 10^{-8} \pm 1,76 \times 10^{-9} \text{ a}$	$143 \pm 15 \text{ b}$
Matriz recubierta con C50	$1,56 \times 10^{-8} \pm 4,40 \times 10^{-9} \text{ a}$	$48 \pm 14 \text{ c}$
Matriz sin recubrimiento	$1,37 \times 10^{-7} \pm 7,65 \times 10^{-9} \text{ b}$	$219 \pm 34 \text{ a}$

\* Se reporta valor promedio  $\pm$  desviación estándar.

<sup>a, b, c</sup> Superíndices diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

**Figura 2.** Isotermas de adsorción de agua de las muestras evaluadas.

## DISCUSIÓN

### Análisis superficial de la matriz

En las micrografías de la matriz recubierta se puede notar que aquella tratada con la solución C40 (figura 1b), fue la que presentó la superficie más homogénea y con menos defectos respecto a las muestras recubiertas con las otras soluciones. En la matriz con C30 (figura 1a) se observa la presencia de grietas y orificios sobre la superficie, las grietas son debidas a la fractura del recubrimiento, en tanto que los orificios son indicio de la falta de capacidad del recubrimiento de cubrir plenamente la superficie de la matriz. Para la matriz con C50 (figura 1c), se observa que hay formación de grumos provocados por un exceso en la cantidad del material aplicado debido a la mayor concentración de la solución, también es probable que haya ocurrido cristalización parcial de la colofonia, fenómeno inevitable cuando

se trabaja con productos derivados de la miera de árboles (10). En cuanto a la matriz sin recubrimiento (figura 1d), se nota que la superficie es irregular y aparecen grietas y fisuras sobre la misma, esto puede deberse a deficiencias en la plastificación de la matriz (3).

### Comportamiento frente al agua de la matriz

Las muestras de la matriz recubierta con colofonia mostraron una disminución en un orden de magnitud en la permeabilidad al vapor de agua respecto a la matriz sin recubrimiento (tabla 1), diferencia que fue estadísticamente significativa, en este sentido el recubrimiento de colofonia aumentó la barrera frente al agua de la matriz. Las características hidrófobas de algunos de los compuestos presentes en la colofonia son los que generan el efecto observado (11, 12). La absorción de agua fue menor en la matriz cuando esta fue recubierta con colofonia (tabla 1), la baja hidrofiliidad de la

colofonia y su capacidad de formar películas impermeabilizantes (13, 14), posiblemente promovieron tal disminución. La reducción en la absorción de agua se incrementó al aumentar la concentración de la colofonia en las soluciones utilizadas, alcanzado una reducción de un 77,3% en esta propiedad para la matriz recubierta con C50. Sin embargo, esta disminución no fue significativa para la matriz recubierta con C30 respecto a la matriz sin recubrimiento. Tal como se observó en los análisis superficiales de las muestras por SEM, el recubrimiento producido con la solución C30 presentó grietas y orificios, a través de los cuales fue posible el paso de líquido a la matriz y así se generó una absorción de agua en un nivel similar a la matriz sin recubrimiento.

La forma de las isotermas de adsorción (figura 2) muestra dos tipos de comportamiento, uno en el que se presentó una leve pendiente a valores de  $a_w$  entre 0,4 a 0,1 estableciendo una curva de tipo sigmoidea, como en el caso de la isoterma de la muestra sin recubrimiento, mientras que para el resto de las isotermas las curvas tienden a ser convexas al eje de la abscisa. La forma sigmoidea es común en biopolímeros hidrofílicos sensibles al vapor de agua como películas de almidón, gluten, celulosa en los que se presenta una pendiente leve a valores de  $a_w$  inferiores a 0,4 y un incremento exponencial a  $a_w$  mayores a 0,6 (15).

En las isotermas se encontró que el efecto del recubrimiento en la disminución de la adsorción de agua de la matriz fue importante por debajo de  $a_w = 0,5$ , a valores de actividad de agua por encima de 0,5 el contenido de agua adsorbida se incrementó. En estudios de absorción de agua realizados a películas fabricadas con colofonia modificada se encontró que se daba un incremento gradual en el contenido de agua capturada por la película al aumentar la actividad del agua, tal como se obtuvo en el presente estudio (16).

## CONCLUSIONES

El recubrimiento elaborado con colofonia logró una disminución significativa en los niveles de permeabilidad al vapor de agua y de absorción de agua de la matriz moldeada de harina de yuca con fibra de fique. Adicionalmente, el recubrimiento disminuyó la capacidad adsorbente del agua de la matriz, lo que dependió de la actividad de agua del medio.

La concentración de la colofonia en las soluciones empleadas afectó la morfología superficial del recubrimiento obtenido, se logró una superficie

más homogénea y con menos defectos cuando se utilizó la solución al 40% de colofonia.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue desarrollada en el marco del proyecto “Investigación y desarrollo de empaques biodegradables”, financiado por el Sistema General de Regalías y ejecutado por la Gobernación del Cauca, la Universidad del Cauca y la Corporación CLAYUCA.

## REFERENCIAS

1. Pace CM. Cassava: Farming, Uses, and Economic Impact. New York: Nova Science Publishers; 2012. 210 p.
2. Aristizábal J, Sánchez T. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; 2007. 139 p.
3. Bustamente L, Cerón Mosquera A, Villada Castillo H. Propiedades mecánicas de matrices hechas de harina pregelatinizada de yuca variedad Mbra 383 y fique. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. 2014; 67(2 Suppl 2): 526-8.
4. Manrique G, Villada Castillo H, Cajiao S. Evaluación funcional de una bandeja biodegradable obtenida a partir de harina de yuca y fibra de fique. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. 2014; 67(2 Suppl 2): 566-8.
5. Janssen LPBM, Moscicki Le. Thermoplastic Starch: A Green Material for Various Industries. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co; 2009. 242 p.
6. Zhou J, Tang X. Structure and physical properties of starch-polyvinyl alcohol-soy protein coated montmorillonite nanocomposite films. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association. 2015; 30(5):29-33, 40.
7. Kaur B, Ariffin F, Bhat R, Karin AA. Progress in starch modification in the last decade. Food Hydrocolloids. 2012; 26(2): 398-404.
8. Langenheim JH. Plant Resins: Chemistry, Evolution, Ecology, and Ethnobotany. Portland (U.S.A.): Timber Press; 2003. 586 p.
9. Wolf W, Spiess W, Jung G. Standardization of Isotherm Measurements. In: Simatos D, Multon JLe, editors. Properties of Water in Foods. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers; 1985. 661-79 p.
10. Fiebach K, Grimm D. Resins, Natural. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry Vol21. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH and Co.; 2012. p. 477-94.
11. Panda H. Handbook on Tall Oil Rosin Production, Processing and Utilization. Delhi: Asia Pacific Business Press Inc. 2013. 480 p.
12. Hagiopol C, Johnston JW. Chemistry of Modern Papermaking. Bosa Roca: Taylor & Francis; 2011. 431 p.
13. Yu J, Liu Y, Liu X, Wang C, Wang J, Chu F, et al. Integration of renewable cellulose and rosin towards sustainable copolymers by “grafting from” ATRP. Green Chemistry. 2014; 16(4): 1854-64.
14. Nirmala R, Woo-il B, Navamathavan R, Kim HY, Park S-J. Preparation and Characterizations of Rosin Based Thin Films and Fibers. Journal of Nanoscience and Nanotechnology. 2015; 15(6): 4653-9.
15. Chen C-H, Lai L-S. Mechanical and water vapor barrier properties of tapioca starch/decolorized hsian-tsoo leaf gum films in the presence of plasticizer. Food Hydrocolloids. 2008; 22(8): 1584-95.
16. Satturwar PM, Fulzele SV, Panyam J, Mandaogade PM, Mundhada DR, Gogte BB, et al. Evaluation of new rosin derivatives for pharmaceutical coating. International Journal of Pharmaceutics. 2004; 270(1-2): 27-36.

# EVALUACIÓN DE LA PERMEABILIDAD DE UN RECUBRIMIENTO ELABORADO A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA NATIVO Y MODIFICADO

## EVALUATION OF PERMEABILITY OF AN EDIBLE COATING MADE FROM NATURAL AND MODIFIED CASSAVA STARCH

Sandra P. PAZ PEÑA,<sup>1</sup> Silvio A. MOSQUERA SÁNCHEZ,<sup>2\*</sup> Héctor S. VILLADA CASTILLO<sup>3</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes:** Debido a los avances científicos sobre el uso de polímeros naturales en toda la industria y a los beneficios que presenta el almidón de yuca frente a los empaques derivados del petróleo, están surgiendo alternativas para direccionar el uso de materiales naturales en recubrimientos para frutas y hortalizas con el objeto de conservar las características pos cosecha y mantener la vida comercial por un mayor tiempo. **Objetivos:** Determinar el efecto de la velocidad y temperatura de agitación, variedad de yuca y tipo de almidón sobre la permeabilidad y propiedades de barrera de un recubrimiento elaborado a base de almidón nativo y almidón modificado de yuca. **Métodos:** Se establecieron los factores temperatura (67°C y 70°C), velocidad de agitación (700 rpm y 800 rpm) y variedad de almidón (SM 707-17 y Cumbre 3) para la elaboración del recubrimiento con almidón nativo y con almidón modificado para hacer la evaluación de la permeabilidad al vapor de agua y al oxígeno bajo la metodología contenida en las normas ASTM E 96-05 y ASTM D-1434. Los datos obtenidos fueron analizados empleando la prueba de Kruskal Wallis y matrices elaboradas en Microsoft Excel. **Resultados.** Se determinó que la permeabilidad no dependió de la velocidad ni de la temperatura de agitación y se obtuvieron valores de  $5,48 \times 10^{-12}$  y  $4,62 \times 10^{-10}$  (g/Pa·m·s) como máximo y mínimo para la permeabilidad al vapor de agua y de  $2,80 \times 10^{-16}$  mol/m<sup>2</sup>·s·Pa (variedad SM 707-17) y  $2,07 \times 10^{-16}$  mol/m<sup>2</sup>·s·Pa (variedad Cumbre 3) para la permeabilidad al oxígeno. **Conclusiones:** El almidón de yuca modificado enzimáticamente permitió

obtener películas con menos defectos y con mejor comportamiento que las elaboradas con almidón nativo, adicionalmente, se encontró que el espesor fue un factor influyente, por lo que se desarrollaron matrices para analizar su efecto, encontrando que la permeabilidad al vapor de agua disminuyó al incrementar el espesor entre 0,15 y 0,17 μm.

**Palabras clave:** Almidón de yuca, recubrimiento, polímero, permeabilidad al vapor de agua, permeabilidad al oxígeno.

### ABSTRACT

**Background:** There are scientific advances of the use of natural polymers in all industries and the benefits that cassava starch packaging presents in lieu of packaging derived from petroleum. There are alternatives emerging to address the use of natural materials in coatings for fruits and vegetables in order to preserve postharvest characteristics and maintain a longer shelf life. **Objectives:** To determine the effect of stirring speed and temperature, variety of cassava and starch type on the permeability and the barrier properties of a coating made from natural and modified cassava starch. **Methods:** The established factors were temperature (67°C and 70°C), stirring speed (700 rpm and 800 rpm) and starch variety (SM 707-17 and Cumbre 3). This is the preparation for the coating made with natural and modified starch, to evaluate the water vapor permeability and oxygen using the methodology contained in the rules ASTM E 96-05 and ASTM D-1434. The data obtained were analyzed using the Kruskal Wallis and matrices developed in Microsoft Excel. **Results:** It was determined that

<sup>1</sup> Ingeniera Agroindustrial, Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.

<sup>2</sup> Magíster en Ingeniería, profesor titular Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.

<sup>3</sup> Ph.D. en Ingeniería de Alimentos, profesor titular Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.

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

permeability is not dependent on the speed and temperature of stirring. The obtained values were  $5,48 \times 10^{-12}$  and  $4,62 \times 10^{-10}$  (g/Pa\*s) as maximum and minimum permeability for water vapor, and  $2,80 \times 10^{-16}$  mol/m\*s\*Pa (variety SM 707-17) and  $2,07 \times 10^{-16}$  mol/m\*s\*Pa (Cumbre 3 variety) for oxygen permeability. **Conclusions:** Cassava starch enzymatically modified allowed to obtain films with fewer defects and better performance than those made with natural starch. Additionally, thickness was found to be an influential factor, so matrices were developed to analyze its effect, finding that the water vapor permeability decreased by increasing the thickness between 0,15 and 0,17  $\mu\text{m}$ .

**Keywords:** Cassava starch, coating, polymer, water vapor permeability, oxygen permeability.

## INTRODUCCIÓN

La yuca es fuente de materia prima para la obtención de polímeros biodegradables y recubrimientos para frutas y hortalizas que minimizan la pérdida de propiedades fisicoquímicas y organolépticas y evitan la proliferación de microorganismos, manteniendo la integridad estructural y actuando como vehículo de aditivos alimentarios (1), empleados en productos como calabaza (2), manzana (3) y mango (4), alimentos fritos o pre cocidos (5), en el desarrollo de empaques activos (6), en mezclas con agentes antimicrobianos (7) para tomate (8), chontaduro (9), guayaba (10) y pimentón (11), con cera de carnauba (3) e incluso la aplicación en conjunto con almidones, lípidos o proteínas (12, 6).

## MATERIALES

### Materias primas y obtención de la película

Almidón nativo de yuca variedades Cumbre 3 y SMS 707-17, modificado enzimáticamente con BAN 480L provista por NOVOZYMES, entre 10 y 13% Dextrosa Equivalente. Glicerol usado como agente plastificante con 99% de pureza. Posteriormente, se mezcló el almidón de yuca modificado al 4% p/p con 2% (v/v) de glicerina, aforando hasta 350 mL con agua destilada (9) en el dispositivo HL (DWORKS, Colombia, 2013) enlazado al software National Instruments LabVIEW™ (Texas, Estados Unidos de Norteamérica, 2013) a 67°C y 70°C, con velocidades de agitación de 700 y 800 rpm; se enfrió hasta 55°C y se vertió sobre placas de acrílico y se llevó a secado a 40°C durante 12 horas en

un horno de conducción forzada BINDER Serie FD (Alemania), luego se llevaron las muestras a la cámara BINDER durante 48 horas a 23°C y humedad relativa del 50%; sobre dichas películas se efectuó el análisis de permeabilidad al vapor de agua y al oxígeno.

### Permeabilidad al vapor de agua

Según el método desecante de la norma ASTM E-96-05 (13), se pesaron las muestras en una Balanza analítica RADWAG XA 110/X (Polonia) y se llevaron a una cámara a 23°C y 50% de humedad relativa, registrando el peso cada hora durante 8 horas hasta obtener una correlación de  $0,9 \pm 0,05$ .

### Permeabilidad al oxígeno

Según el Teorema de Prueba del Analizador de Permeabilidad VAC-VBS bajo la norma ASTM D1434-82 (14) y el software VAC-VSB de Labthink Instruments Co. (China, 2013), para obtener la permeancia, que se multiplicó por el promedio del espesor.

### Diseño experimental

Se aplicó un diseño factorial  $2^3$  siendo los factores la variedad de almidón (SM 707-17 y Cumbre 3), la temperatura (67 y 70°C) y velocidad de agitación de la mezcla (700 y 800 rpm). El análisis de datos se realizó por medio del software SPSS V.20 para determinar la normalidad de los datos y establecer la influencia de los factores sobre la variable de respuesta. En hoja de cálculo se obtuvo la relación entre los datos de espesor y de la permeabilidad.

## RESULTADOS

El espesor como factor influyente: Durante la fase de análisis se encontró que el espesor de la película tenía un efecto sobre la permeabilidad al vapor de agua, y para evaluar su efecto se emplearon matrices de 54x54 (muestras) para formar grupos de espesores de modo que el análisis de permeabilidad tuviera todos los elementos controlados; de dichas matrices se extrajeron los grupos con mayor cantidad de datos y se analizó la tendencia y la relación entre el espesor y la permeabilidad.

### Permeabilidad al vapor de agua

La prueba de normalidad arrojó diferencias significativas para más del 80% de los datos, por lo que se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis que mos-

tró una significancia de 0,109 para la variedad de almidón, de 0,291 para la temperatura de agitación y de 0,166 para la velocidad de agitación, indicando que no fueron influyentes sobre la permeabilidad al vapor de agua de las películas.

### Permeabilidad al oxígeno

Se encontró que las mejores condiciones de elaboración fueron 70°C y 700 rpm, con valores de  $2,80E^{-16}$  mol/m<sup>3</sup>s\*Pa para la variedad SM 707-17 y de  $2,07E^{-16}$  mol/m<sup>3</sup>s\*Pa para la variedad Cumbre 3.

## DISCUSIÓN

### Permeabilidad al vapor de agua

No hubo incidencia de la temperatura porque el bajo rango usado (3°C) generó efecto similar sobre la gelatinización; la velocidad de agitación puede incidir sobre otras propiedades de la película debido a la nueva estructuración molecular en las cadenas y a la fuerza mecánica ejercida. Las características fisicoquímicas de las variedades de almidón no mostraron diferencias significativas entre sí, por lo que no ejercen influencia sobre las propiedades de barrera, comportamiento que se atribuye al volumen libre entre las moléculas de las películas, generado por acción de los plastificantes hidrofílicos que disminuyen las fuerzas intermoleculares de las cadenas del polímero, permitiendo la migración del agua (15). La humedad circundante debe ser controlada para evitar un diferencial de presión que interfiera en la medición e incremente la higroscopicidad en el film (16). Resultados similares fueron alcanzados por Dias *et al.*, (17), donde el almidón de yuca enriquecido con amilosa obtuvo valores permeabilidad de  $10^{-9}$  g/m<sup>3</sup>s\*Pa, se atribuyen a la acción del plastificante y la adición de amilosa, la temperatura, tiempo y velocidad de agitación.

Como resultado adicional, tras la fase experimental, se encontró que el efecto del espesor se vio reflejado en los datos obtenidos, los cuales fueron variables según el espesor por lo tanto, para el análisis de la información obtenida se recurrió a la elaboración de matrices de espesor, lo que permitió realizar el análisis de la permeabilidad cuyos parámetros pertenecen al mismo grupo y por lo tanto están bajo control.

### Permeabilidad al oxígeno

Pudo afectarse por la cristalinidad del polímero (18), la adición de plastificantes (19) y el contenido de amilosa, incidiendo sobre las propiedades de barrera por el empaquetamiento de la amilosa y la disminución de las fuerzas intermoleculares (18) ya que el glicerol ocupa los espacios vacíos de la matriz y reduce los poros y grietas en la superficie de las películas (3): concentraciones de glicerol mayores al 2% reducen la tasa de respiración en rebanadas de manzana con permeabilidad al oxígeno de  $2,22 \times 10^{-10}$  g/Pa\*s\*m, menor a la reportada por Pelisari *et al.*, (15) de  $6,87 \times 10^{-12}$  mol/Pa\*s\*m para películas obtenidas de almidón y quitosano por extrusión soplado.

## CONCLUSIONES

La temperatura, velocidad de agitación y la variedad de almidón no fueron influyentes sobre la permeabilidad al vapor de agua, sin embargo, por la baja permeabilidad de las muestras ( $10^{-12}$  a  $10^{-10}$  g/Pa\*s\*m), las mejores condiciones fueron 70°C y 700 rpm, con incidencia del espesor ya que la barrera generada hace más difícil la difusión molecular en la película con valores entre 0,15 y 0,17 μm. A pesar de las diferencias en las condiciones de elaboración de otras películas, se puede intuir que la obtenida en este estudio presenta mejores propiedades de barrera al oxígeno que al vapor de agua.

## AGRADECIMIENTOS

Al programa “Joven Investigador” de COLCIENCIAS para el desarrollo del proyecto - ID 3799 y a los integrantes de los grupos de investigación CYTBIA y ASUBAGROIN de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca.

## REFERENCIAS

1. Saavedra N, Algecira N. Evaluación de películas comestibles de almidón de yuca y proteína aislada de soya en la conservación de fresas. *Ciencias Biomédicas*. Julio – 2010 Dic; 8(14): 121-240.
2. Lago ES, Do Nascimento P, Fontes EAF, Mauro MA, Kimura M. Edible coatings from native and modified starches retain carotenoids in pumpkin during drying. *LWT - Food Science and Technology*. 2013 Mar; 50(2): 420-425.
3. Chiumarelli M, Hubinger M. Stability, solubility, mechanical and barrier properties of cassava starch - Carnauba wax edible coatings to preserve fresh-cut apples. *Food Hydrocolloids*. 2012 Jul; 28(1): 59-67.

4. Chiumarelli M, Ferrari C, Sarantópoulos C, Hubinger M. Fresh cut 'Tommy Atkins' mango pre-treated with citric acid and coated with cassava (*Manihot esculenta* Crantz) starch or sodium alginate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2011 Jul; 12(3): 381-387.
5. Varela P, Fiszman SM. Hydrocolloids in fried foods. A review. *Food Hydrocolloids*. 2011 Dic; 25(8): 1-12.
6. Falguera V, Quintero JP, Jimenez A, Muñoz JA, Ibarz A. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*. 2011 Jun; 22(6): 292-303.
7. Souza AC, Goto GEO, Mainardi JA, Coelho ACV, Tadini CC. Cassava starch composite films incorporated with cinnamon essential oil: Antimicrobial activity, microstructure, mechanical and barrier properties. *LWT-Food Science and Technology*. 2013 Dic; 54(2): 346-352.
8. Barco PL, Burbano AC, Mosquera SA, Villada HS, Navia DP. Efecto del recubrimiento a base de almidón de yuca modificado sobre la maduración del tomate. *Revista Lasallista De Investigación*. 2011 Jul-Dic; 8(2): 96 - 103.
9. Tosne ZL, Mosquera SA, Villada, HS. Efecto de recubrimiento de almidón de yuca y cera de abejas sobre el chontaduro. *Revista Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2014 Jul-Dic, 12(2): 30-39.
10. Achipiz SM, Castillo AE, Mosquera SA, Hoyos JL, Navia DP. Efecto de recubrimiento a base de almidón sobre la maduración de la guayaba (*Psidium guayaba*). *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*. 2006 Jun; 2: 92-100.
11. Zuñiga D, Ordoñez DY, Mosquera SA, Hoyos JL, Mosquera LP. Efecto de recubrimiento de almidón de yuca modificado y aceite de tomillo aplicado al pimiento (*Capsicum annuum*). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2014 Dic; 5(6): 115-123.
12. Adeodato MG, Da Silva M, Oliveira L, Masumi M. Natural-based plasticizers and biopolymer films. A review. *European Polymer Journal*. 2011 Mar; 47(3): 254 -263.
13. ASTM. Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials: ASTM E96 / E96M – 05. [norma]. Philadelphia (USA): ASTM: 2005.
14. ASTM. Standard Test Method for Determining Gas Permeability Characteristics of Plastic Film and Sheeting: ASTM D1434-82. Philadelphia (USA): ASTM: 2009.
15. Pelissari F, Yamashita F, García M, Martino M, Zaritzky N, et al. Constrained mixture design applied to the development of cassava starch-chitosan blown films. *Journal of Food Engineering*. 2012 Ene; 108(2): 262-267.
16. Müller C, Yamashita F, Borges J. Evaluation of the effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. *Carbohydrate Polymers*. 2008 Abr; 72(1): 82-87.
17. Dias V, Mali S, Beléia A, Grossmann MV. Effect of glycerol and amylose enrichment on cassava starch film properties. *Journal of Food Engineering*. 2007 Feb; 78(3): 941-946.
18. Shen X, Min J, Chen Y, Zhao G. Antimicrobial and physical properties of sweet potato starch films incorporated with potassium sorbate or chitosan. *Food Hydrocolloids*. 2010 Jun; 24(4): 285-290.
19. Famá L, Rojas AM, Goyanes S, Gerschenson L. Mechanical properties of tapioca-starch edible films containing sorbates. *LWT - Food Science and Technology*. 2005 Sep; 38(6): 631-639.

# CONTENIDO DE GRASA TOTAL, PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS Y TRIGLICÉRIDOS PROVENIENTE DE CACAOS FINOS DE AROMA: COLOMBIA, ECUADOR, PERÚ, VENEZUELA

TOTAL FAT, PROFILE OF FATTY ACIDS AND TRIGLYCERIDES FROM FINE COCOA AROMA: COLOMBIA, ECUADOR, PERÚ, VENEZUELA

RIAÑO H.NM<sup>1\*</sup>, CHICA M.MJ<sup>2</sup>, ECHEVERRI G.LF<sup>3</sup>, AGUIRRE M.JL<sup>4</sup> ORTIZ. A<sup>5</sup>, Rocío Del Pilar PINEDA S.R<sup>6</sup>, OLARTE N.HH<sup>7</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** La manteca de cacao es considerada como el producto más importante obtenido de la transformación industrial de los granos de cacao y es la responsable de su textura, características físico - químicas y organolépticas (1). **Objetivos:** El objetivo de este trabajo fue caracterizar la manteca de cacao de Colombia y compararla con países productores de cacao fino y de aroma en el mundo. **Métodos:** El estudio fue realizado en el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé) en convenio con Casa Luker S.A. donde se determinó el contenido de grasa total, la composición de ácidos grasos y triacilgliceridos (TGAs). **Resultados:** Colombia presentó diferencias estadísticamente significativas con los demás orígenes, alcanzando el mayor contenido de grasa total. Se evidenció que el origen tiene un efecto altamente significativo sobre el perfil de ácidos grasos, destacándose el C16:0 y el C18:2 como diferenciadores de origen al igual que el SOS para los TGAs. En los cuatro orígenes estudiados, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los TGAs di-insaturados (POO, SOO). **Conclusiones:** Colombia presentó el mayor contenido de grasa total en licor de cacao (56%) diferenciándose entre los demás países evaluados. Los licores de cacao procedentes de Colombia y Venezuela, muestran un perfil de ácidos grasos más

saludables por su menor relación de saturados/insaturados. El TGA SOS y los ácidos palmítico C16:0 y linoleico (C18:2) pueden considerarse marcadores de origen entre los países estudiados.

**Palabras clave:** Manteca de cacao, triglicéridos, ácidos grasos, fino aroma, grasa total, GC -MS, GC- FID.

## ABSTRACT

**Background:** Cocoa butter is considered as the most important product of the industrial processing of cocoa beans and is responsible for its texture, physico - chemical and organoleptic (1). **Objectives:** The aim of this work is to characterize the cocoa butter of Colombia and compare it with fine cocoa producing countries and scent in the world. **Methods:** The study was conducted at the National Coffee Research Center - Cenicafé in agreement with Casa Luker SA where the total fat content was determined, the composition of fatty acids and triacylglycerols (TGAs). **Results:** Colombia showed statistically significant differences with other origins, reaching the highest content of total fat. It was evident that the source has a highly significant effect on fatty acid profile, highlighting the C16:0 and C18:2 and differentiators of origin as well as the SOS for TGAs. In the four studied

<sup>1</sup> Ph.D Ciencias Químicas, Asesor Principal Científico, Gestión Ambiental y Servicios Agropecuarios GASA. Manizales, Caldas.

<sup>2</sup> Esp. Formulación y evaluación de proyectos agropecuarios, Profesional Investigación y Desarrollo,. Casa Luker S.A. Bogotá, D.C.

<sup>3</sup> Química Industrial. Asistente de investigación, Disciplina de Calidad, Cenicafé. Chinchiná, Caldas.

<sup>4</sup> Ingeniera de Alimentos, Asistente de investigación, Disciplina de Fisiología Vegetal, Cenicafé. Chinchiná, Caldas.

<sup>5</sup> M.Sc.Ciencias químicas, Investigador I, Disciplina de Calidad, Cenicafé. Chinchiná, Caldas.

<sup>6</sup> Estudiante de Maestría en Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de Colombia .Palmira, Valle del Cauca.

<sup>7</sup> Esp.Alimentos. Director de Proyectos Especiales. Casa Luker S.A. Bogotá, D.C.

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

origins, no statistically significant differences in TGAs di-unsaturated (POO, SOO) were found. **Conclusions:** Colombia had the highest total fat content in cocoa liquor (56%) differing from the other countries surveyed cocoa liquors from Colombia and Venezuela, show a profile of fatty acids for healthier younger relation of saturated / unsaturated . SOS TGA and palmitic C16:0 and linoleic (C18:2) can be considered markers of origin among the countries studied.

**Keywords:** Cocoa butter, triglycerides, fatty acids, fine aroma, total fat, GC-MS, GC-FID.

## INTRODUCCIÓN

El cacao se deriva de las semillas obtenidas del fruto de la planta *Theobroma cacao* L. (2). Se conocen tres variedades el forastero, criollo y finalmente el trinitario, del cual provienen los cacaos finos y de aromas, caracterizados por sus aromas y sabores frutales, florales, de nueces y de malta, estos representan tan sólo el 8 % de la producción de cacao en el mundo y el 76% se produce en Colombia, Ecuador, Venezuela y Perú (3).

La manteca de cacao es ampliamente utilizada en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria; se obtiene a partir de la transformación de los granos de cacao en chocolate (4); y es la responsable de las características tan apreciadas, como la dureza, la rápida y completa fusión en la boca, el brillo y la vida útil (5) gracias a la combinación de sus ácidos palmítico, esteárico y oleico.

Teniendo en cuenta la poca información reportada sobre la composición química de la manteca de cacao proveniente del cacao Colombiano y la gran oportunidad que este tiene en la incursión de los más exigentes mercados internacionales por su calidad fino de aroma, se llevó a cabo el presente estudio con el fin de caracterizarla y compararla con los demás países productores de caco fino y de aroma en el mundo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales

Se caracterizaron 97 muestras de granos de *T. cacao*, fermentados y secos procedentes de diferentes orígenes geográficos: Ecuador (18 muestras), Venezuela (24 muestras), Perú (14 muestras) y Colombia (41 muestras de las tres principales zonas

productoras). Las muestras fueron obtenidas por el servicio técnico de Casa Luker en cada una de los países evaluados y enviadas al laboratorio de Investigación y Desarrollo de Casa Luker - Bogotá donde se obtuvo el licor de cacao; los análisis de extracción y caracterización de la manteca de cacao fueron realizados por triplicado en Cenicafé.

### Determinación del contenido de grasa total

El contenido de grasa total se determinó de acuerdo a la norma AOAC 963.15 (6). La manteca de cacao fue extraída del licor de cacao con éter de petróleo (40-60°C) por Soxhlet durante 16 horas, después el solvente fue rotaevaporador a presión reducida marca Büchi y la manteca obtenida fue almacenada a 4°C.

### Preparación e identificación de metilésteres de ácidos grasos

Los ácidos grasos presentes en la manteca de cacao fueron esterificados a sus respectivos metilésteres (FAME), con trifluoruro de boro al 20% en metanol, y extraídos con 2 mL de hexano en dos extracciones sucesivas de 1 mL cada una. El análisis se realizó en un cromatógrafo de gases (GC) HP-6890 acoplado a un detector selectivo de masas (MSD) HP5973. La temperatura del inyector fue de 250°C, la separación cromatográfica fue realizada en una columna capilar de sílice fundida HP-5MS (5% phenylmethylsiloxane 30 m x 0.25 mm, I.D., 0,25  $\mu\text{m}$  de espesor de película, Agilent Technologies, USA). El volumen de muestra inyectada fue de 1  $\mu\text{L}$  FAME/Hexano, en modo Split (70:1), se utilizó como gas portador Helio a 1.2 mL/min, se empleó un programa de rampa de temperatura de 20 °C/min de 90°C a 260°C y la temperatura del detector MSD fue de 300°C. Los espectros se adquirieron por monitoreo de iones total (modo SCAN). La identificación de los compuestos se llevó a cabo por comparación con los espectros de patrones de las librerías Wiley 275 y NIST 98, mediante la interpretación de las fragmentaciones másicas obtenidas para cada pico cromatográfico.

### Preparación e identificación de triglicéridos

Las mantecas de cacao provenientes de los diferentes orígenes fueron previamente disueltas en cloroformo, luego analizadas en el cromatógrafo de gases HP-6890 acoplado a un detector de ionización de llama (GC-FID). La separación cromatográfica se realizó en una columna Wall Coated

Open Tubular (WCOT, 30 x 0.2 m, I.D 0.1  $\mu\text{m}$  de espesor de película), empleando una programación de temperatura de 25°C/min de 280 °C a 360°C, la temperatura del detector FID fue de 370 °C, el flujo de Hidrógeno a 40 mL/min, de aire a 400 mL/min, el gas auxiliar fue Nitrógeno a 5 mL/min y la temperatura del inyector a 360°C. Se empleó un volumen de inyección de 0.2  $\mu\text{L}$ , en modo split (25:1) y como gas de arrastre Helio a 1,3 mL/min (7).

### Análisis estadístico

Un factor de ANOVA fue usado para estudiar el efecto del origen del cacao sobre el contenido de grasa y el perfil de ácidos grasos y triacilgliceridos. La significancia de diferencias entre valores fue establecida usando la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Todos los análisis fueron realizados utilizando el software SAS 9.3 (SAS Institute 2010).

## RESULTADOS

**Tabla 1.** Composición química de la manteca de cacao

		Origen			
		Colombia	Ecuador	Peru	Venezuela
Grasa Total (%)		55,92 $\pm$ 1,56a	49,89 $\pm$ 2,02c	53,76 $\pm$ 0,70b	53,56 $\pm$ 2,10b
Ácidos Grasos (%)	C16:0	28,56 $\pm$ 1,17b	27,17 $\pm$ 1,03c	30,23 $\pm$ 1,48a	26,32 $\pm$ 0,35d
	C18:0	30,59 $\pm$ 1,90b	33,58 $\pm$ 0,76a	32,78 $\pm$ 1,04a	32,88 $\pm$ 2,16a
	C18:1	32,97 $\pm$ 2,39ab	33,22 $\pm$ 0,92ab	32,16 $\pm$ 1,81b	33,94 $\pm$ 1,37a
	C18:2	4,64 $\pm$ 1,14a	2,95 $\pm$ 0,79c	1,51 $\pm$ 1,23d	3,84 $\pm$ 1,13b
	S/U*	1,59 $\pm$ 0,18b	1,68 $\pm$ 0,09b	1,88 $\pm$ 0,15a	1,58 $\pm$ 0,17b
TGAs (%)	POP	20,27 $\pm$ 0,94a	18,10 $\pm$ 1,62b	21,71 $\pm$ 2,02a	20,37 $\pm$ 0,41a
	POS	40,99 $\pm$ 1,36b	41,11 $\pm$ 0,55b	42,21 $\pm$ 1,90ab	42,44 $\pm$ 0,53a
	SOS	22,88 $\pm$ 1,30c	25,75 $\pm$ 1,74a	20,89 $\pm$ 1,10d	23,96 $\pm$ 0,78b
	POO	2,77 $\pm$ 1,22a	2,46 $\pm$ 0,57a	1,92 $\pm$ 1,70a	2,18 $\pm$ 0,54a
	SOO	3,56 $\pm$ 1,32a	3,35 $\pm$ 0,75a	3,30 $\pm$ 2,54ab	2,63 $\pm$ 0,54b

Valores con letra diferentes, son estadísticamente diferente según la prueba Tukey ( $p \leq 0, 05$ ). \* S/U: relación de ácidos grasos Saturado/insaturados.

## DISCUSIÓN

### Contenido de grasa total

El contenido promedio de grasa total varió entre 50 y 56 % para los diferentes orígenes. Como se muestra en la tabla 1 el contenido de grasa evidenció una gran diferencia entre las muestras evaluadas. Colombia fue estadísticamente superior (55,92 $\pm$ 1,56) y el más bajo fue para Ecuador

(49,89 $\pm$ 2,02), por su parte Perú y Venezuela presentaron contenidos muy similares sin diferencias significativas entre ellos.

Los valores de grasa obtenidos en este estudio son similares con los reportados por Bertazzo *et al* (8), quienes cuantificaron la grasa proveniente de las principales variedades de cacao cultivadas en Perú (53.6  $\pm$  2.7), Venezuela (50.7  $\pm$  2.0) y Ecuador (52.0  $\pm$  4.8). A sí mismo, el contenido de grasa del cacao de Ecuador, es cercano al valor reportado por Sukha *et al* (9) para un cacao ecuatoriano fino y de aroma (49.11%).

Los valores reportados para el cacao procedente de Venezuela han presentado variabilidad que según los autores se debe a factores genéticos y ambientales que han tenido influencia decisiva en el contenido de grasa (10). Sin embargo, no han sido los únicos en inferir sobre las posibles causas de la variación en los valores porcentuales del contenido de grasa; M torres *et al* (11) adjudicaron las diferencias encontradas entre el contenido de grasa de un producto de cacao procedente de Ecuador y Ghana, al origen.

### Composición de ácidos grasos

Los ácidos grasos presentes en las mantecas de cacao evaluadas son palmítico (C16:0) 26 - 31%, esteárico (C18:0) 29 - 34%, oleico (C18:1) 31 - 35% y linoleico (C18:2) 0.8 - 5%, resultados que son similares con los límites reportados en la literatura (12-14) y que varían en función del país de origen, que para el estudio realizado, se muestran en la Tabla 1.

Los resultados obtenidos muestran que el origen tiene un efecto altamente significativo sobre el perfil de ácidos grasos C16:0 ( $F = 71.32$ ,  $p \leq .0001$ ), C18:0 ( $F = 24.83$ ,  $p \leq .0001$ ), C18:1 ( $F = 24.23$ ,  $p \leq .0001$ ) y C18:2 ( $F = 29.23$ ,  $p \leq .0001$ ), se destacan el C16:0 y el C18:2 como diferenciadores de origen en cada una de las zonas evaluadas por ser estadísticamente diferentes (Tabla 1).

La relación de ácidos grasos saturados/insaturados (S/U) fueron altamente significativas en los diferentes orígenes evaluados ( $F = 14.23$ ,  $p < .0001$ ). Colombia y Venezuela presentaron la menor relación de S/U con un valor de 1.6, seguido por Ecuador con 1.7 y finalmente Perú con un valor de 1.9, indicando un perfil más saludable para los licores de cacaos procedentes de Colombia y Venezuela debido a que contienen más ácidos grasos insaturados y menos saturados que los licores de cacao de Perú.

La prevalencia de ácidos grasos saturados sobre los insaturados es considerado negativo desde el punto de vista nutricional al estar asociado con enfermedades cardiovasculares, sin embargo, estudios clínicos han demostrado que el C18:0 es un ácido graso neutral que no tiene efectos aterogénicos o colesterogénicos, debido a que es rápidamente desaturado en el cuerpo y transformado en ácido oleico (15-17).

### Composición de triglicéridos

Los triacilgliceridos (TGAs) mayoritarios encontrados en la mantecas de cacao evaluadas se encuentran en un rango entre 84 – 87 % y corresponden a POP (>18%), POS (>42%) y SOS (>20%), valores similares fueron reportados por varios autores (18, 19). El análisis estadístico evidenció que se presentan diferencias altamente significativas entre los tres TGAs mayoritarios: POP ( $F=13.59$   $p \leq .0001$ ), POS ( $F=26.12$   $p \leq .0001$ ), SOS ( $F=41.67$   $p \leq .0001$ ), destacándose el SOS como un marcador de origen en las muestras evaluadas por ser estadísticamente diferentes entre ellas, de acuerdo a la prueba de Tukey,  $p \leq 0.05$  (Tabla 1). Ésta composición particular de triglicéridos, le confieren a la manteca de cacao unas características especiales como textura suave, brillantez, compuestos volátiles, entre otros, que son valoradas por la industria y el consumidor, por ser una manteca de origen natural, un cambio en la composición de éstos TGAs, es considerado como un parámetro de adulteración (20-22).

En este estudio los valores de POO se encuentran entre 1.92 – 2.77%, mientras que SOO están entre 2.63 – 3.57%, Es reconocido que mantecas de cacao con altos contenidos de triglicéridos di-insaturados (POO, SOO) tienden a ser menos duras (19, 23).

Chaiseri et al. (23) reportaron valores de la sumatoria de POO y SOO en mantecas de cacao suramericanas menores al 5.2%, clasificadas como mantecas duras excepto para Perú y Brasil, que presentaron valores promedio de 8 y 15% respectivamente considerándolas como mantecas blandas. Para los cuatro orígenes evaluados, el valor promedio de la sumatoria de POO y SOO fue de 5.5%, que según el estudio anteriormente referenciado, permite clasificarlas como mantecas duras. Para cada uno de los orígenes evaluados se encontraron valores promedios de la sumatoria de estos TGAs de  $4.81 \pm 1.06$  (Venezuela),  $5.81 \pm 1.31$  (Ecuador),  $5.21 \pm 4.23$  (Perú) y  $6.33 \pm 2.53$  (Colombia).

## CONCLUSIONES

Colombia presentó el mayor contenido de grasa total en licor de cacao (56%) diferenciándose entre los demás países evaluados. El efecto del origen geográfico sobre el perfil de ácidos grasos fue evidenciado, C16:0 y C18:2 como diferenciadores. Los licores de cacao procedentes de Colombia y Venezuela, muestran un perfil de ácidos grasos más saludables por su menor relación de saturados/insaturados. Los TGAs mayoritarios de la manteca de cacao fueron para POP, POS y SOS, destacándose el SOS como un marcador de origen, en cuanto al contenido de TGAs di-insaturados, relacionados con la dureza de la manteca (POO + SOO), su valor promedio permitió clasificarlas como mantecas duras.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por CASA LUKER en convenio con la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia FNC-CENICAFÉ. Los autores agradecen a las instituciones mencionadas y al Ingeniero Agrónomo. MSc. Carlos Andrés Unigarro por el apoyo en el tratamiento y análisis estadístico de los datos.

## REFERENCIAS

1. UNCTAD. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo 2010 [cited 2015 10/04]. Available from: [http://unctad.org/es/docs/cocoa10d3\\_sp.pdf](http://unctad.org/es/docs/cocoa10d3_sp.pdf).
2. Ergönül PG, Ergönül B, Seçkin AK. Cholesterol content and fatty acid profile of chocolates mostly consumed in Turkey. Contenido de colesterol y perfil de ácidos grasos de los chocolates más consumidos en Turquía. *CyTA - Journal of Food*. 2010;8(1):73-8.
3. Luker C. Cacao Fino de Aroma 2012 [cited 2015 16/03]. Available from: <http://www.lukeringredients.com/es/home>.
4. Peru M. perfil del mercado y competitividad exportadora de cacao. 2015 [cited 2015 16/03]. Available from: [http://www2.minceur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio\\_exterior/plan\\_exportador/publicaciones/Cacao.pdf](http://www2.minceur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/plan_exportador/publicaciones/Cacao.pdf).
5. Codini, M.; Vélez, F; Ghirardi, M.; Villavicencio, I. Obtención y utilización de la manteca de cacao: Invenio; 2004 [cited 2015 16/03]. Available from: <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=87701213>.
6. Horwitz W, Chemists AoOA. Official methods of analysis of the AOAC. Association of Official Analytical Chemists. 2000.
7. Buchgraber, M.; Ulberth, F.; Anklam, E. Capillary GLC: a robust method to characterise the triglyceride profile of cocoa butter — results of an intercomparison study. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2003;105(12):754-60.
8. Bertazzo, A.; Comai, S.; Brunato, I.; Zancato, M. Costa CVL. The content of protein and non-protein (free and protein-bound) tryptophan in Theobroma cacao beans. *Food Chemistry*. 2011;124(1):93-6.
9. Sukha, D.; Butler, D.; Amores, F.; Giménez, J.; Gómez, A.; Zambrano, A.; et al. The cfc/icco/iniap cocoa project “to establish the

- physical, chemical and organoleptic parameters to differentiate between fine and bulk cocoa” – some highlights from the organoleptic component 2005 31/03/2015.
10. Lares, M., Gutiérrez, R.; Pérez, E.; Álvarez, Cm. Efecto del tostado sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas, composición proximal y perfil de ácidos grasos de la manteca de granos de cacao del estado Miranda, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*. 2012; 12(2):439-46.
  11. Torres, M.; Torrescasana, E.; Salas, J. Blanch C. Nutritional composition and fatty acids profile in cocoa beans and chocolates with different geographical origin and processing conditions. *Food Chem*. 2015; 166:125-32.
  12. Asep, EK.; Jinap, S.; Tan, TJ.; Russly, AR.; Harcharan, S. y Nazimah, SAH. The effects of particle size, fermentation and roasting of cocoa nibs on supercritical fluid extraction of cocoa butter. *Journal of Food Engineering*. 2008; 85(3):450-8.
  13. Bracco, U. Effect of triglyceride structure on fat absorption. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1994; 60 (6):1002S-9S.
  14. Beckett, ST. *Industrial Chocolate Manufacture and Use* 4th Edition: Wiley-Blackwell; 2009.
  15. Kris, E.; Pearson, T.; Wan, Y.; Hargrove, R.; Moriarty, K.; Fishell, V; et al. High-monounsaturated fatty acid diets lower both plasma cholesterol and triacylglycerol concentrations. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1999; 70(6):1009-15.
  16. Thijssen, MA.; Mensink, RP. Small differences in the effects of stearic acid, oleic acid, and linoleic acid on the serum lipoprotein profile of humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2005; 82(3):510-6.
  17. Bonanome, A. y Grundy SM. Effect of Dietary Stearic Acid on Plasma Cholesterol and Lipoprotein Levels. *New England Journal of Medicine*. 1988;318(19):1244-8.
  18. Foubert, I. *Modelling isothermal cocoa butter crystallization: Influence of temperature and chemical composition*: Universiteit Gent; 2003.
  19. Schlichter, A.; Sarig, S. y Garti N. Reconsideration of polymorphic transformations in cocoa butter using the DSC. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1988; 65(7):1140-3.
  20. Jahurul, MHA.; Zaidul, ISM.; Norulaini, NAN.; Sahena, F.; Jinap, S.; Azmir, J.; et al. Cocoa butter fats and possibilities of substitution in food products concerning cocoa varieties, alternative sources, extraction methods, composition, and characteristics. *Journal of Food Engineering*. 2013; 117(4):467-76.
  21. TUcci, ML.; Figueira, A.; Bovi, ML.; Turatti, JM.; Gutierrez, LE. y Saes, LA. Evaluation of genotypes for cocoa butter production in the 'Vale do Ribeira', São Paulo, Brazil. *Brazilian Journal of Food Technology*. 2002; 5:1-9.
  22. Azadmard, D. y Torbati, M. Adulterations in Some Edible Oils and Fats and Their Detection Methods. *Journal of Food Quality and Hazards Control*. 2015; 2 (2):38-44.
  23. Chaiseri, S. y Dimick, PS. Lipid and hardness characteristics of cocoa butters from different geographic regions. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1988; 66(12):1771-6.

# DESHIDRATACIÓN DE AFRECHO DE YUCA POR MÉTODOS COMBINADOS

## CASSAVA BAGASSE DEHYDRATION BY COMBINED METHODS

Karen CONTRERAS LOZANO<sup>1\*</sup>, Plácido ARRIETA BOLAÑO<sup>2</sup>,  
Jairo SALCEDO MENDOZA<sup>3</sup>, Manuel CERVERA RICARDO<sup>4</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes:** La implementación de operaciones de deshidratación para subproductos derivados de la agroindustria del almidón de yuca, es una alternativa para prevenir su posible efecto contaminante, además de aportar valor para su aplicación posterior y proporcionar una línea de producción para la industria de almidones. Los métodos de deshidratación mecánicos pueden ser convenientes para complementar los procesos térmicos y alcanzar condiciones óptimas de secado disminuyendo gastos energéticos. **Objetivo:** Se evaluó el efecto de dos métodos de deshidratación combinados, el método mecánico de filtración-prensado combinado con secado por convección forzada, en la pérdida de humedad y el tiempo de secado convectivo del afrecho de yuca proveniente de un proceso industrial de extracción de almidón nativo. **Métodos:** Se evaluaron seis tratamientos de presión entre 3,45 y 17,24 Mpa durante 10 min para la deshidratación mecánica y posteriormente se secaron las muestras por convección forzada de aire a 60°C y velocidad de 2 m/s. **Resultados:** Los resultados indican que el aumento de la presión reduce significativamente ( $p > 0,05$ ) el contenido de humedad del material y el tiempo de secado convectivo. Con la mayor presión aplicada (17,24 Mpa) durante el prensado se logró una remoción de humedad de 22,07 % hasta que el contenido de agua del material fue de 66,33 %. Las condiciones requeridas de humedad del afrecho de yuca al final del secado convectivo

(10%) se alcanzaron en 3,8 horas, aplicando el mismo tratamiento. Los coeficientes de difusividad efectiva para el afrecho presentaron valores entre  $1,1381 \times 10^{-10}$  y  $2,6467 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ , observándose un aumento en la variable a menor humedad alcanzada con el prensado. **Conclusiones:** Se evidencia que una mayor presión aplicada durante el proceso de filtración-prensado permite disminuir el tiempo de secado convectivo del afrecho de yuca hasta una humedad adecuada para su conservación, lo que podría reflejarse en la economía del tratamiento aplicado a este subproducto.

**Palabras clave:** Secado, almidón, prensado, humedad, difusividad.

### ABSTRACT

**Antecedents:** Implementing dehydration operations for products derived from the extraction process of cassava starch is an alternative to prevent their possible contaminating effect, as well as providing value for subsequent application and provide a production line for the starch industry. The methods of mechanical dehydration may be desirable to supplement thermal processes and achieve optimum drying conditions reducing energy costs. **Objective:** The effect of both methods of dehydration combined, mechanical filtration-pressing method combined with drying by forced convection, in moisture loss and convective drying time of cassava bagasse from an industrial process of extraction of native starch, was evaluated.

<sup>1</sup> Candidata a Magíster en Ingeniería Agroindustrial, Grupo de Investigación en Procesos Agroindustriales y Desarrollo Sostenible (PADES), Universidad de Sucre. Sincelejo, Colombia.

<sup>2</sup> Biólogo. Universidad de Sucre. Grupo de Investigación en Procesos Agroindustriales y Desarrollo Sostenible (PADES). Sincelejo, Colombia.

<sup>3</sup> PhD. en Ingeniería Química, Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Sucre. Sincelejo, Colombia.

<sup>4</sup> Ingeniero Agroindustrial, Grupo de Investigación en Procesos Agroindustriales y Desarrollo Sostenible (PADES), Universidad de Sucre. Sincelejo, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia. E-mail: kcontrerasl@gmail.com.

**Methods:** Six treatments pressure between 3.45 and 17.24 MPa for 10 min were evaluated for mechanical dehydration and subsequent samples at 60 °C and air velocity of 2 m/s were dried. **Results:** The results indicate that the increased pressure significantly reduced ( $p > 0.05$ ) the moisture content of the material and convective drying time. With higher applied pressure (17.24 MPa) during pressing, one moisture removal of 22.07% was achieved until the water content of the material was 66.33%. The conditions required moisture cassava bagasse at the end of convective drying (10%) were reached at 3.8 hours, applying the same treatment. Effective diffusivity coefficients for bagasse were between 1.1381 and  $2,6467 \times 10^{-10} \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ , with an increase in the variable lower humidity reached with the press. **Conclusions:** It is evident that greater pressure applied during the filtration-pressing process reduces the time convective drying of cassava bagasse until adequate moisture for preservation, which can be reflected in lower energy costs for the treatment of this by-product.

**Keywords:** Drying, starch, pressing, moisture diffusivity.

## INTRODUCCIÓN

El afrecho de yuca es un material semisólido fibroso con un contenido de humedad superior al 85%, derivado el proceso de extracción de almidón de yuca (1). Las cantidades generadas y su alto contenido de humedad lo convierten en un potencial agente contaminante, siendo necesaria una disposición adecuada que permita atenuar el impacto y utilizarlo en el proceso productivo (2). Se pueden combinar métodos de separación mecánicos y operaciones de secado convectivo para deshidratar el producto y hasta alcanzar porcentajes óptimos de humedad que permitan su conservación (3).

La filtración por prensado es la operación que se utiliza para separar mezcla de fluidos-sólidos (4), usando fuerzas físico-mecánicas (gravedad, centrifuga, presión), las cuales actúan sobre mezclas de partículas estableciendo una diferencia de presión que hace que el fluido pase a través de un medio filtrante (5). Se ha determinado que el rendimiento de este proceso depende de variables como el contenido de humedad, tamaño de partícula, temperatura, tiempo y presión (6). El secado es un método ampliamente utilizado para preservar o prolongar la vida útil de algunos productos

biológicos y alimentarios (7, 8). Es una operación unitaria en la que se da el transporte simultáneo de calor y masa (9, 10). La difusividad es un mecanismo de transporte importante debido al movimiento aleatorio de la moléculas que permiten el transporte de la humedad (11).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la combinación de dos métodos deshidratación, filtración-prensado y secado por convección forzada, en la pérdida de humedad y en el tiempo de secado convectivo del afrecho de yuca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Deshidratación mecánica del afrecho de yuca

El prensado de las muestras de afrecho húmedo, derivado de un proceso industrial de obtención de almidón de yuca, se realizó en una prensa hidráulica a escala de laboratorio hecho en acero inoxidable AISI 304, con una capacidad de 3000 g. Las muestras de afrecho fueron pesadas (1000 g) y depositadas en una cámara de prensado de acero con orificios de 5mm de diámetro, cubiertas con un tamiz de tela para la retención de los sólidos. Para cada experimento se estableció un tiempo de prensado de 10 minutos a las diferentes condiciones de presión definidas en el diseño experimental. La humedad inicial y final de la muestra se determinó mediante el método de la AOAC (12).

### Cinética de secado y difusividad efectiva

Se aplicó secado por convección forzada de aire en un secador de bandejas a escala de laboratorio de acero inoxidable AISI 304, con una capacidad de carga máxima de 3500g. Se establecieron las condiciones de secado en el equipo, temperatura de bulbo seco de 60 °C y velocidad del aire de secado de 2.0 m/s, y se introdujeron las muestras de afrecho parcialmente seco proveniente del prensado, que fueron previamente depositadas con un espesor uniforme de 0,7 cm en dos bandejas. Se determinó la pérdida de peso de las muestras a intervalos de tiempo entre 5 y 15 minutos.

La construcción de las curvas de secado se realizó mediante el método descrito por Geankoplis (3). La humedad de equilibrio fue calculada con el modelo matemático de GAB (13). Entonces el contenido de humedad libre X (Kg agua/ Kg masa seca) fue calculado para cada tiempo (t) de secado y luego se obtuvieron las curvas de velocidad de secado R

(Kg agua/h\*m2) en función de la humedad libre en base seca (X). A continuación se estableció la razón de humedad (MR) (Ec. (1)) que relaciona el gradiente de la humedad libre (X) de la muestra en función del tiempo (t) con la humedad inicial (X<sub>0</sub>) y la humedad de equilibrio (Xe) (14,15). Finalmente se calculó el coeficiente de difusividad efectiva a partir de la pendiente de la línea recta obtenida de graficar el Ln (MR) en función del tiempo para cada tratamiento, aplicando la ecuación integrada de la segunda ley de Fick (3) (Ec. 1), donde D<sub>f</sub> es la difusividad efectiva (m<sup>2</sup>/s), t es el tiempo (h) y l es el espesor de la muestra (m).

$$MR = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \text{Exp} \left( \frac{-D_f \pi^2 t}{4l^2} \right) \quad \text{Ec. 1}$$

**Diseño experimental y análisis estadístico**

El proceso de deshidratación combinado fue evaluado por medio de un diseño experimental completamente al azar, donde el único factor es la presión aplicada con seis niveles (3,45; 6,21; 8,96; 11,72; 14,48; 17,24 Mpa), con 4 repeticiones por tratamiento, para un total de 24 unidades experimentales. Las variables estudiadas fueron pérdida

de humedad, humedad final luego del prensado y tiempo de secado convectivo. Los resultados fueron evaluados mediante un análisis de varianza ANOVA y una prueba de comparación de rangos múltiples de Tukey a un nivel de significancia α=0,05.

**RESULTADOS**

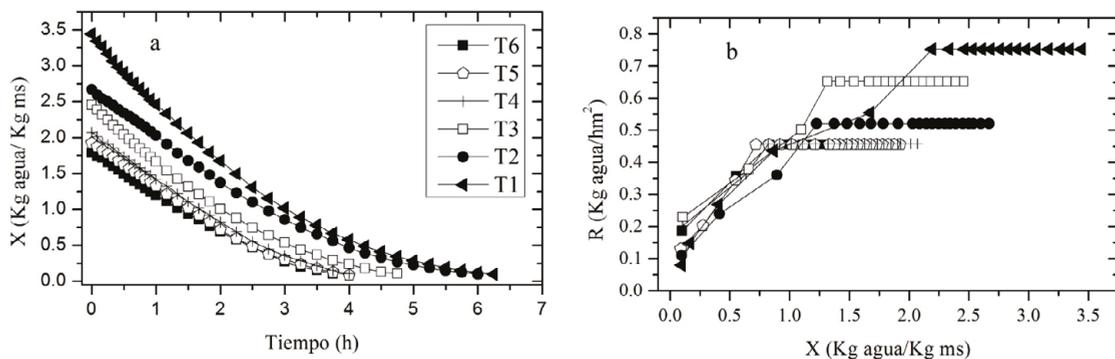
En la tabla 1 se muestra los resultados del proceso de deshidratación mecánica. La presión aplicada mostró un efecto significativo en el porcentaje de agua extraída y humedad final del afrecho de yuca (p<0,05). El porcentaje de pérdida de humedad aumentó con el incremento de la presión aplicada, lográndose reducir hasta un 22,07% con 17,24Mpa. Con el mismo tratamiento se alcanzó una humedad mínima de 66,33%, evidenciándose una reducción de la humedad final a mayor presión aplicada.

La figura 1a describe la pérdida de humedad libre en función del tiempo de secado por convección forzada de las muestras de afrecho provenientes del proceso de deshidratación mecánica. Se observó una reducción significativa en el tiempo de secado convectivo (P>0,05) al aumentar los niveles de presión establecidos para la deshidratación mecánica, hasta alcanzar la humedad requerida (≤10%) (Tabla 1).

**Tabla 1.** Resultados del proceso de deshidratación del afrecho por métodos combinados

T	P(Mpa)	Deshidratación mecánica			Secado convectivo		
		HI (%)	HF (%)	RH (%)	HI (%)	HF (%)	t(h)
T1	3,45	85,10 ± 0,71a	78,05 ± 0,48a	8,29 ± 0,69a	78,05 ± 0,48a	9,70	6,3 ± 0,1a
T2	6,21	84,71 ± 0,37a	74,43 ± 0,23b	12,13 ± 0,65bc	74,43 ± 0,23b	9,60	6,0 ± 0,1b
T3	8,96	84,62 ± 0,40a	72,88 ± 0,59c	13,87 ± 0,62cb	72,88 ± 0,59c	10,30	4,8 ± 0,1c
T4	11,72	84,91 ± 0,49a	69,95 ± 1,23de	17,63 ± 1,02de	69,95 ± 1,23de	10,40	4,0 ± 0,1d,e
T5	14,48	85,16 ± 0,85a	68,55 ± 0,41ed	19,50 ± 0,87ed	68,55 ± 0,41ed	8,70	4,0 ± 0,1e,d
T6	17,24	85,13 ± 1,02a	66,33 ± 0,61f	22,07 ± 1,28f	66,49 ± 0,61f	10,00	3,8 ± 0,1f

T: Tratamiento, HI: Humedad inicial, RH: Reducción de humedad, HF: Humedad final, t: Tiempo. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos (Método: 95,0 % Tukey HSD).



**Figura 1.** Curvas de secado de afrecho de yuca

En la figura 1b se observa la velocidad de secado para las variables y condiciones implementadas. De las que se diferencian dos fases una de velocidad constante y otra de velocidad decreciente para todos los tratamientos. Los tratamientos T4, T5 y T6 presentaron la velocidad de secado más bajas (0,458; 0,456 y 0,454 Kg agua/h·m<sup>2</sup>) posiblemente por la menor cantidad de agua presente en el afrecho de yuca (16).

La difusividad efectiva se interpreta como la facilidad con que el agua es removida del material en el proceso de secado (17). Los coeficientes de difusividad efectiva para el afrecho presentaron valores entre  $1,1381 \times 10^{-10}$  y  $2,6467 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s.

## DISCUSIÓN

En el proceso de separación mecánica se observó que el porcentaje de pérdida de humedad incrementa notablemente a medida que se aumenta la presión aplicada, lo que es posible debido a que esta operación permite eliminar una fracción del agua libre presente en el sólido dependiendo de la presión ejercida sobre el material. La fuerza aplicada permitió compactar y vencer la resistencia del material, generando una diferencia de presión para lograr la liberación de agua a través del tamiz (5,18).

El tiempo de secado convectivo se redujo a mayor presión ejercida durante el prensado debido a que se alcanzó un menor contenido de humedad en las muestras de afrecho lo que conduce a una mayor velocidad de difusión del agua hasta alcanzar la humedad de equilibrio a las condiciones establecidas (19). Este comportamiento coincide con los resultados obtenidos por Corzo et al. (20) y por Faustino et al. (21) en el secado de productos agroalimentarios, quienes señalan que la humedad inicial del producto incide sobre la difusividad y el tiempo de secado. Esta variable también afecta la velocidad de secado (16), encontrándose que los tratamientos con menor humedad inicial presentaron una velocidad de secado más baja durante el periodo constante.

Los valores calculados para la difusividad efectiva se encuentran en el rango encontrado por Salcedo-Mendoza et al. (22) para yuca fresca. La tendencia observada indica que se logra mayor difusividad en el afrecho a menor contenido de humedad inicial, lo que muestra una disminución de las resistencias internas del sólido facilitando la remoción del agua en el material. Una explicación

a este fenómeno consiste en el incremento de la porosidad y consecuentemente una mayor área de transferencia de masa en el producto (23).

Los resultados establecen un precedente en la deshidratación de subproductos del procesamiento de yuca por dos métodos combinados, ya que los estudios realizados sobre afrecho de yuca son escasos. Una limitación encontrada en el estudio fue la presión lograda con el equipo de deshidratación mecánica, siendo pertinente ampliar el límite superior de presión aplicada y observar el comportamiento de la pérdida de humedad a mayores presiones.

## CONCLUSIONES

La aplicación de los procesos de prensado y secado convectivo permite una reducción significativa para el tiempo de deshidratación de las muestras de afrecho evaluadas, logrando que el material alcanzara una humedad del 10% al transcurrir 3,8 h de secado. A menor contenido de humedad al final del prensado aumentan los coeficientes de difusividad lográndose remover más rápido el agua presente en el afrecho y disminuir el tiempo de secado, lo que podría reflejarse en la economía del tratamiento aplicado a este subproducto.

## REFERENCIAS

- Ospina B, Ceballos H. La yuca en el tercer Milenio: Sistemas Modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Cali, Colombia: CIAT; 2002. 586 p.
- Marmolejo L, Pérez A, Torres P, Cajigas A, Cruz C. Aprovechamiento de los residuos sólidos generados en pequeñas industrias de almidón agro de yuca. *Livest Res Rural Dev*. 2008; 20(7): 17.
- Geankoplis CJ. Secado de materiales de proceso. En: *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 3a ed. Mexico: Compañía editorial continental, S.A.; 2008. p. 579–649.
- Perry RH, Green DW. *Perry's chemical engineers' handbook*. 7th ed. New York, USA: McGraw-Hill Companies, Inc.; 1997. 2400p.
- Geankoplis CJ. *Procesos de separación fisicomecánicos*. En: *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 3rd ed. Mexico: Compañía editorial continental, S.A.; 2008. p. 884–928.
- Khan LM, Hannah M. Expression of soy bean oil. *Trans ASAE*. 1984; 27(1): 190-4.
- Defraeye T. Advanced computational modelling for drying processes – A review. *Appl Energy*. 2014 Oct 15; 131: 323-44.
- Kumar C, Karim A, Saha SC, Joardder MUH, Brown RJ, Biswas D. Multiphysics modelling of convective drying of food materials. *Proceedings of the Global Engineering, Science and Technology Conference*. Global Institute of Science and Technology; 2012.
- Fito P, Andrés A, Barat J, Albors A. *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Valencia, España: Editorial U.P.V.; 2001. 220p.
- Mujumdar A. *Handbook of Industrial Drying*. 3a ed. Boca Raton FL, USA: CRC Press; 2006. 1312p.

11. Vasic M, Grbavcic Z, Radojevic Z. Determination of the moisture diffusivity coefficient and mathematical modeling of drying. Chem Eng Process. 2014 Feb; 76: 33-44.
12. AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. 19th ed. Latimer G, Horwitz W, editors. Gaithersburg Md, USA:AOAC International.; 2012.
13. Van den Berg C, Bruin S. Water activity, influence on food quality. New York, USA: Academic Press; 1981. 45 p.
14. Park K, Vohnikova Z, Reischbro F. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa L.*). J Food Eng. 2002 Ene; 51: 193-9.
15. Babalis SJ, Belessiotis VG. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. J Food Eng. 2004 Dic; 65 (3): 449-58.
16. Torregroza A, Montes E, Ávila A, Remolina J. Modelado de las cinéticas de secado de tres variedades de yuca industrial. DYNA. 2014 Jul; 81(186): 184-92.
17. Giraldo A, Arévalo A, Silva A, Silva P, Valdera J, De Menezes M. Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) en rodajas. Ciência e Tecnol Aliment. 2010 Ene; 30(1): 179-82.
18. McCabe W, Smith J, Harriott P. Operaciones unitarias en ingeniería química. 4th ed. Madrid, España: McGraw-Hill Interamericana de España; 1991. 1112p.
19. Derossi A, Severini C, Cassi D. Advances topics in mass transfer. 1st ed. Rijeka, Croatia: InTech; 2011. 638p.
20. Corzo O, Bracho N, Pereira A, Vásquez A. Weibull distribution for modeling air drying of coroba slices. Food Sci Technol. 2008; 41(10): 2023-8.
21. Faustino J, Barroca M, Guiné R. Study of the drying kinetics of green bell pepper and chemical characterization. Food Bioprod Process. 2007; 85(3): 163-70.
22. Salcedo J, Mercado J, Fernández A, Vertel ML, Ruiz LE. Cinética de secado de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*) variedad CORPOICA M-tai en función de la temperatura y de la velocidad de aire. Rev Ion. 2014 Jul; 27 (2): 29-42.
23. Montes E, Torres R, Andrade R, Pérez O, Marimon J, Meza I. Modelado de la cinética de secado de ñame (*Dioscorea Rotundata*) en capa delgada. Rev Ing e Investig. 2008; 28(2): 45-52.

# EVALUACIÓN DEL SECADO DE MELÓN (*Cucumis melo L.*) MEDIANTE SECADO CONVECTIVO Y BOMBA DE CALOR

ASSESSMENT OF DRIED MELON (*Cucumis melo L.*) BY CONVECTIVE AND HEAT PUMP DRYING

ESPINOSA-SANDOVAL L.A.<sup>1\*</sup>; ORMAZA A.M.Z.<sup>2</sup>; AYALA-APONTE A.A.<sup>3</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** El melón (*Cucumis melo L.*) es una fruta climatérica altamente perecedera por su alto contenido de humedad, por el cual es importante encontrar alternativas para su conservación. El secado convectivo (SC) y el secado con bomba de calor (SBC) plantean diferencias operacionales en cuanto a la eficiencia energética y principios operativos pero ambos convergen en que estabilizan los alimentos susceptibles al deterioro fisicoquímico y microbiológico; sin embargo el SBC por emplear en el aire humedad relativa más baja presenta mayores ventajas en el tiempo de secado y en la calidad del alimento. **Objetivos:** El objetivo de este trabajo es comparar el efecto de la velocidad del aire sobre las cinéticas de secado, el coeficiente de difusión ( $D_c$ ) y la actividad de agua ( $a_w$ ) de muestras de melón deshidratado por los métodos de SC y SBC. **Métodos:** Se cortaron rodajas de melón con dimensiones de 20mm de diámetro y 3mm de espesor. Las muestras se secaron a 50°C empleando las técnicas de SC Y SBC con dos velocidades del aire secante (0.5 y 1 m/s). Como variables de respuesta, se evaluaron las cinéticas de secado, el coeficiente de difusividad efectiva y la actividad de agua. Para determinar el mejor ajuste de los valores experimentales, se emplearon cuatro modelos matemáticos de capa delgada (Newton, Page, Wang-Singh y Midilli). **Resultados:** Las muestras secadas a 1 y 0,5m/s por SBC presentaron rápidas cinéticas de secado, alcanzando valores de humedad finales de SBC a 1 y 0,5m/s presentaron altos  $D_c$  y SBC a 1m/s la más baja  $a_w$ . El modelo de Midilli ajustó óptimamente todas las cinéticas de secado evaluadas con altos valores de  $R^2$  (0,9991-0,9997) y bajos valores de  $x^2$ ,

SEE% y RMSE. **Conclusiones:** La combinación de SBC y altas velocidades de aire mejoraron las cinéticas de secado,  $D_c$  y  $a_w$  de las rodajas de melón deshidratadas. El modelo de Midilli presentó el mejor ajuste de los datos experimentales de las cinéticas de secado evaluadas.

**Palabras clave:** Bomba de calor, fruta, secado, modelación.

## ABSTRACT

**Background:** Melon (*Cucumis melo L.*) is a highly perishable climacteric fruit due to its high content of moisture; therefore, it is important to find alternatives for its preservation. Convective drying (CD) and heat pump assisted drying (HPD) pose operational differences in energy efficiency and operating principles but both converge in stabilizing the food susceptible to physicochemical and microbiological spoilage; however, because HPD employs lower relative humidity air, it presents major advantages in drying time and food quality. **Objectives:** The aim of this study was to compare the effect of air velocity on drying kinetics, diffusion coefficient ( $D_{eff}$ ) and water activity ( $W_a$ ) of melon samples dehydrated by the methods of CD and HPD. **Methods:** Slices of melon with dimensions of 20 mm in diameter and 3 mm thick were cut. The samples were dried through CD and HPD at 50°C and two drying air speeds (0.5 and 1 m/s). As response variables, the kinetics of drying, the effective diffusion coefficient and the water activity were evaluated. To determine the best fit of the experimental values, four thin film mathematical models (Newton, Page, Wang-Singh and Midilli) were used. **Results:** The dried samples at 1

<sup>1</sup> Estudiante de doctorado en Ingeniería. Universidad del Valle, Cali-Colombia. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Alimentos.

<sup>2</sup> Ingeniera de Alimentos Universidad de Caldas. Profesora auxiliar. Universidad de Caldas. Facultad de ingeniería. Departamento de Ingeniería.

<sup>3</sup> Profesor asociado. Ph.D. en Ciencia y tecnología de los alimentos. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Alimentos.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: luz.a.espinosa@correounivalle.edu.co

and 0.5m/s by HPD presented rapid drying kinetics, HPD at 1 and 0.5m/s showed high  $D_{eff}$  and HPD at 1m/s had the lowest  $w_a$ . Midilli model optimally adjusted all drying kinetics evaluated with high values of  $R^2$  (0.9991 to 0.9997) and low values of  $\chi^2$ , SEE% and RMSE. **Conclusions:** The combination of HPD and high air velocities improved drying kinetics,  $D_{eff}$  and  $w_a$  of dehydrated melon slices. Midilli model provided the best fit of experimental data of the drying kinetics assessed.

**Keywords:** Heat pump, fruit, drying, modeling.

## INTRODUCCIÓN

El melón (*Cucumis melo L.*) es una fruta climática altamente perecedera por su alto contenido de humedad, por lo cual es importante encontrar alternativas para su conservación y/o procesamiento (1). El secado es una alternativa para prolongar la vida útil de frutas y vegetales con perfiles de calidad diversos, debido a las diferentes técnicas de secado empleadas (2). El SBC es una técnica utilizada en materiales alimentarios y no alimentarios, cuya principal ventaja es su alta eficiencia energética y una calidad sobresaliente de los productos deshidratados, además controla de forma independiente los parámetros de operación y su facilidad para ajustar el proceso a productos termosensibles (3). Otros aspectos del SBC incluyen la amplia gama de condiciones de secado (20-100°C) y contribuye a preservar el medio ambiente debido a los bajos requerimientos de energía para su operación y por la ausencia de emisiones de gases y vapores liberados al ambiente (4). En los últimos años se ha incrementado la aplicación de esta técnica con mayores cinéticas de secado y mejores resultados de calidad respecto a técnicas convencionales como el SC (5). El objetivo de este trabajo es comparar el efecto de la velocidad del aire sobre las cinéticas de secado y la  $a_w$  de muestras de melón deshidratado por SC y SBC.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se cortaron rodajas de melón (*Cucumis melo L.*) con dimensiones de 20mm de diámetro y 3mm de espesor. Las muestras se secaron a 50°C empleando las técnicas de SC Y SBC con dos velocidades del aire secante (0.5 y 1 m/s). Se empleó un SC de bandejas a escala de laboratorio (Armfield, modelo UOP8, USA) y un SBC diseñado en la Universidad del Valle que consiste en un circuito de refrigeración

conformado por un condensador de 2,7kW, un evaporador de 3,9kW, un compresor recíprocante de pistón de 0,2kW y una válvula de expansión de 220- 30psi. En el SBC se fijó la humedad relativa (HR) del 10% y para SC una HR del 15%. Las variables de respuesta fueron la medida del contenido de humedad (CH) para construir las cinéticas de secado y la  $a_w$ . El CH se midió a diferentes tiempos de secado hasta 8 h, empleando el método AOAC 20.013 (6). La  $a_w$  se midió con un Decagón (CX-1, USA) a 25°C. Como variable de respuesta indirecta se determinó el coeficiente de difusividad efectiva del agua ( $D_e$ ), que se calculó con la segunda ley de Fick (Ecuación 1). Adicionalmente, los valores experimentales de humedad del SC y del SBC se ajustaron a 4 modelos matemáticos de capa delgada ampliamente usados en alimentos (Tabla 1). Para evaluar los modelos de mejor ajuste se determinaron el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el error estándar del estimado (SEE%) y chi-cuadrado ( $\chi^2$ ) (Ecuaciones 2-4) con el software Matlab R2009a.

$$MR = \frac{(M_t - M_e)}{(M_0 - M_e)} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[ - \left( n + \frac{1}{2} \right)^2 \pi^2 F_o \right] \quad \text{(Ecuación 1)}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sigma_f^2}{\sigma^2} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

$$(\%)SEE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_e - X_p}{X_e} \right| \quad \text{(Ecuación 3)}$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Donde,  $\sigma^2$  es la varianza de la variable dependiente y  $\sigma_f^2$  es la varianza residual,  $X_e$  es valor experimental;  $X_p$  es valor predicho de cada modelo; y n es el número de observaciones. En la ecuación 4, N es el número de observaciones, z es el número de parámetros del modelo,  $MR_{exp}$  es la razón de humedad experimental y  $MR_{pre}$  es la razón de humedad predicha.

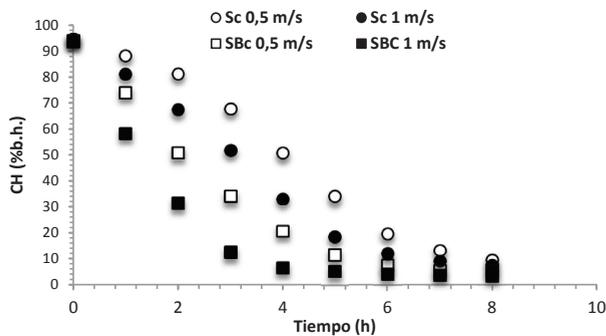
**Tabla 1.** Modelos seleccionados para el SC y SBC de muestras de melón

Modelo	Ecuación
Newton	$MR = \exp(-kt)$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$
Wang y Singh	$MR = 1 + At + Bt^2$
Midilli	$MR = A \cdot \exp(-Kt^n) + Bt$

Los parámetros A, B, k y n son constantes asociados a los modelos y MR corresponde a la relación adimensional de humedad.

## RESULTADOS

La figura 1 representa las cinéticas comparativas de secado de rodajas de melón deshidratadas por SC y SBC. El CH inicial de las muestras de melón fue de  $93.4 \pm 0.5\%$  b.h. Las muestras tratadas con SBC presentaron significativamente ( $p < 0.05$ ) cinéticas de secado más rápidas respecto al SC, así mismo fueron más rápidas con mayor velocidad del aire ( $p < 0,05$ ). El tratamiento SBC 1 m/s tardó aproximadamente 3.6 h para alcanzar un CH de 10%(b.h), mientras que su correspondiente en el SC (1 m/s) tardó 6.5 h.

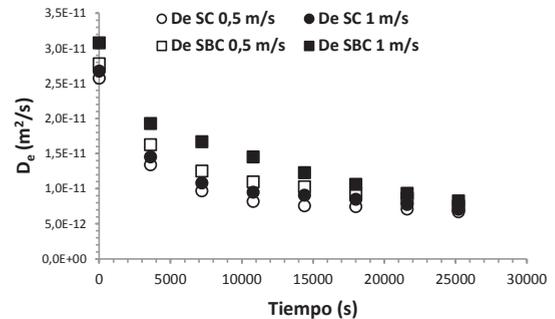


**Figura 1.** Cinéticas de secado de rodajas de melón mediante SC y BC.

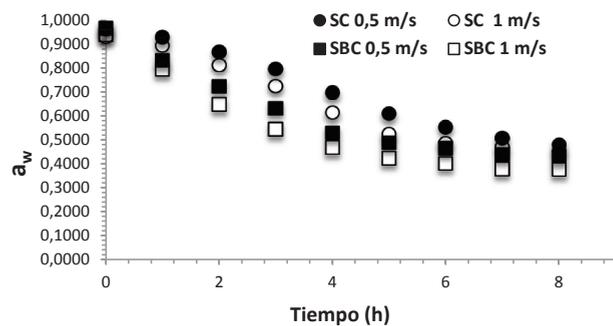
La figura 2 muestra el  $D_e$  de los tratamientos de melón durante el secado con SC y SBC. Al inicio del proceso de secado el  $D_e$  alcanza su máximo valor y posteriormente desciende gradualmente hasta el final del secado. Las muestras tratadas con SBC presentaron significativamente ( $p < 0.05$ ) mayores  $D_e$  respecto a las tratadas con SC ( $p < 0,05$ ), así mismo fueron mayores con mayor velocidad del aire para ambos métodos de secado ( $p < 0,05$ ).

En la figura 3 se presenta la evolución de la  $a_w$  de los tratamientos evaluados. En todos los tratamientos la  $a_w$  disminuyó significativamente ( $p < 0,05$ ) con el tiempo de secado, alcanzando valores finales entre

0.3769 y 0.4798. Puede notarse que la  $a_w$  presenta el mismo comportamiento indicado en la cinética de secado (Figura 1), con valores inferiores en los tratamientos SBC y a mayor velocidad de secado.



**Figura 2.** Coeficiente de difusividad efectiva del agua de rodajas de melón mediante SC y BC.

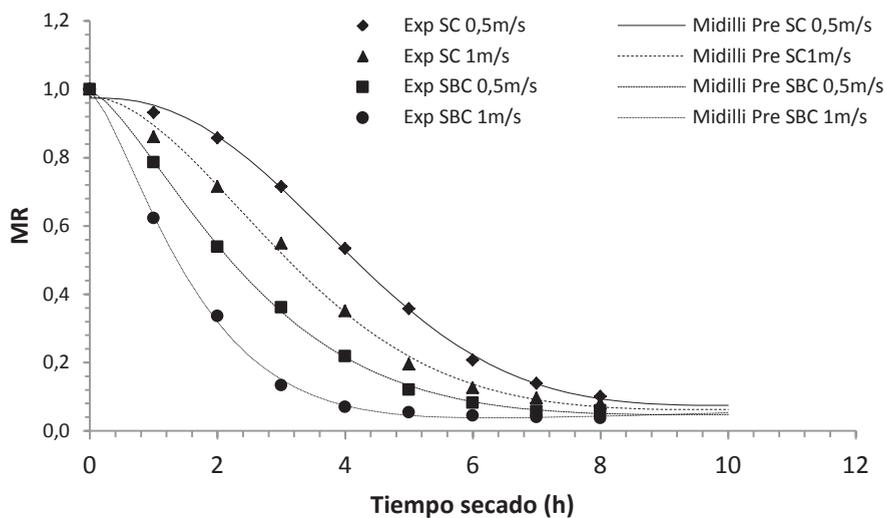


**Figura 3.** Cinéticas de  $a_w$  de muestras de melón mediante SC y BC.

Los parámetros de ajuste de los cuatro modelos matemáticos se muestran en la tabla 2. El modelo de Midilli presentó el mejor ajuste en todos los tratamientos, por presentar los mayores valores de  $R^2$  (0,9991-0,9997) y bajos valores de  $x^2$ , SEE% y RMSE. La figura 3 presenta las curvas de secado predichas por modelo de Midilli y las experimentales por SC y SBC.

**Tabla 2.** Parámetros de ajuste y estadísticos de los modelos matemáticos en el secado de melón.

Modelo	Constantes	SC		SBC	
		50°C – 0,5 m/s	50°C – 1,0 m/s	50°C – 0,5 m/s	50°C – 1,0 m/s
Newton	K	0,1910	0,2599	0,3520	0,5630
	R2	0,9701	0,9491	0,9848	0,9912
	SEE (%)	0,1179	0,0506	0,0146	0,0081
	RMSE	0,1271	0,0795	0,0427	0,0318
	x2	0,0000	0,0005	0,0003	0,0007
Page	K	0,0380	0,1168	0,2519	0,4853
	N	2,0350	1,5742	1,2830	1,1980
	R2	0,9965	0,9953	0,9983	0,9951
	SEE (%)	0,0026	0,0466	0,0016	0,0045
	RMSE	0,0221	0,0258	0,0152	0,0254
	x2	0,0000	0,0002	0,0001	0,0005
Wang y Singh	K	0,0627	-0,0217	-0,0962	-0,1859
	N	-0,0184	-0,0076	0,0020	0,0140
	R2	0,9466	0,9227	0,9693	0,9169
	SEE (%)	0,2942	0,2757	0,2216	0,1692
	RMSE	0,2241	0,1981	0,1779	0,1555
	x2	0,0002	0,0000	0,0003	0,0007
Midilli	A	0,9739	0,9787	0,9979	0,9988
	K	0,0280	0,0957	0,2401	0,4695
	N	2,2870	1,7680	1,3782	1,3240
	B	0,0070	0,0059	0,0044	0,0052
	R2	0,9991	0,9997	0,9995	0,9992
	SEE (%)	0,0015	0,0032	0,0004	0,0007
	RMSE	0,0193	0,0255	0,0095	0,0122
	x2	0,0030	0,0006	0,0005	0,0000



**Figura 4.** Ajuste del modelo de Midilli en las cinéticas de secado de melón mediante SC y SBC.

## DISCUSIÓN

De acuerdo a la figura 1, las cinéticas con el SBC fueron más rápidas por presentar menor HR (10%) del aire de secado respecto a la del SC (HR=15%), lográndose mayor eficiencia en las condiciones evaluadas durante el secado de melón. En el SBC el aire tiene menor humedad (aire seco), por tanto se presenta un mayor diferencial de presión de vapor entre el agua del alimento y la humedad del ambiente (7). Las mayores cinéticas de secado por el incremento de la velocidad del aire se debe a que se potencia la transferencia de calor por convección (8). Resultados similares fueron reportados en secado de zanahoria por SC y SBC por Gómez-Daza y Ochoa-Martínez (9). La importancia del estudio de las variables de la humedad relativa y de la velocidad del aire en el secado de alimentos fue investigada por algunos autores (10).

El descenso gradual de la  $D_c$  durante el secado está asociado a la menor cantidad y dificultad de salida del agua en el alimento (11). Los tratamientos SBC y los secados con mayor velocidad del aire presentaron los mayores valores de  $D_c$  (Figura 2); resultado asociado a las mayores cinéticas de secado observados en la figura 1, ya que  $D_c$  significa mayor facilidad de extracción del agua del material. Este mismo comportamiento coincide con el reportado por algunos autores (12).

La  $a_w$  al final del secado alcanzó valores inferiores a 0.4, lo que indica la alta estabilidad del melón deshidratados contra ataque de microorganismos y reacciones fisicoquímicas adversas durante su almacenamiento (13). Los tratamientos SBC presentaron menores valores de  $a_w$  a un tiempo determinado, debido a su menor contenido de agua por la rápida cinética de secado. Resultados similares fueron reportados en otros vegetales (9-10).

En la figura 3 se observa el buen ajuste del modelo de Midilli con los experimentales, lo que indica que este modelo es adecuado para predecir el CH a un tiempo determinado. Este modelo ha representado con buen ajuste cinéticas de secado en manzana (14) y pimiento rojo (15). El parámetro K (Tabla 2) calculado en los modelos cinéticos en general está asociado a la transferencia del agua; un valor alto significa mayor transferencia de agua. En este estudio se evidencia que K es mayor en los tratamientos secados con SBC y con mayor velocidad del aire.

## CONCLUSIONES

La Combinación de SBC y altas velocidades de aire de secado incrementaron las cinéticas de secado, De y  $a_w$  de rodajas de melón. El modelo de Midilli es el más adecuado para predecir las cinéticas de secado en muestras de melón por los métodos de SC y SBC.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a COLCIENCIAS, al Programa Jóvenes Investigadores e Innovadores “Virginia Gutiérrez de Pineda” por la financiación de esta investigación y a la escuela de Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle.

## REFERENCIAS

1. Ayala-Aponte AA, Cadena MI. The influence of osmotic pretreatments on melon (*Cucumis melo L.*) quality during frozen storage. DYNA. 2014 Ago; 81(186): 81-86.
2. Liu L, Kakihara F, Kato M. Characterization of six varieties of *Cucumis melo L.* based on morphological and physiological characters, including shelf-life of fruit. Euphytica. 2004 Jun-Oct; 135: 305-313.
3. Hii CL, Law CL, Suzannah S. Drying kinetics of the individual layer of cocoa beans during heat pump drying. J Food Eng 2012 Jun-Aug;108(2):276-82.
4. Patel KK, Kar A. Heat pump assisted drying of agricultural produce – an overview. J Food Sci Technol. 2012 Jan-May; 49(2):142-60.
5. Minca V. Review Drying heat pumps e Part II: Agro-food, biological and wood products. Inter J Refrige. 2013 Oct-Nov; 36: 659-673
6. AOAC. Official Methods of Analysis. Moisture determination. Method 20.013. 13th ed. Washington DC: 1980. 361-362 p.
7. Krokida MK, Karathanos VT, Maroulis ZB, Marinou-Kouris D. 2003. Drying kinetics of some vegetables. J Food Eng. 2003 Jul-Dec; 59: 391-403.
8. Karim MDA, Hawlader MNA. Drying characteristics of banana: theoretical modelling and experimental validation. J Food Eng. 2005 Jan-Aug; 70: 35-45
9. Gómez-Daza JC, Ochoa-Martínez. Kinetic Comparison of a Heat Pump Dryer and a Full Recirculation Convective Dryer. Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín. 2014 Mar-Jun; 67(2):384-486
10. Aversa M, Curcio S, Calabró V, Iorio G. An analysis of the transport phenomena occurring during food drying process. J Food Eng. 2007 Jul-Jan; 78: 922-932.
11. Thuwapanichayanan R, Prachayawarakorn S, Kunwisawa J, Soponronnarit S. Determination of effective moisture diffusivity and assessment of quality attributes of banana slices during drying. Food Sci Technol-LEB. 2011 Dec-Jan; 44: 1502-1510.
12. Torres R, Montes EJ, Andrade RD, Pérez OA, Toscano H. Drying kinetics of two yam (*Dioscorea alata*) Varieties. Dyna. 2012 Feb-Mar; 171: 175-182
13. Marques LG, Ferreira MC, Freire JT. Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra L.*). Chem. Eng. Process. 2007 Mar-Apr; 46:451-457.
14. Togrul H. Simple modeling of infrared drying of fresh apple slices. J Food Eng. 2005 Dec-May; 71(3): 311-323.
15. Schössler K, Jäger H, Knorr D. Effect of continuous and intermittent ultrasound on drying time and effective diffusivity during convective drying of apple and red bell pepper. J Food Eng.2012 May-Jul; 108(1):103-110.

# SECADO CONVECTIVO CON AIRE CALIENTE EN MUESTRAS DE MELÓN (*Cucumis melo L.*)". ASPECTOS FÍSICOS DE CALIDAD

CONVECTIVE DRYING WITH HOT AIR IN SAMPLES OF MELON (*Cucumis melo L.*)". PHYSICAL ASPECTS OF QUALITY

ESPINOSA-SANDOVAL L.A.<sup>1\*</sup>, ORMAZA A.M.Z.<sup>2</sup>, AYALA-APONTE A.A.<sup>3</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** El melón (*Cucumis melo L.*) posee una corta vida útil por su alto contenido de agua y su naturaleza climática. En este sentido, las técnicas de secado pueden contribuir a subsanar las pérdidas poscosecha de este fruto, además de ofrecer alternativas de procesamiento y conservación. El secado convectivo (SC) es un proceso ampliamente utilizado en la industria alimentaria para reducir el contenido de humedad en las frutas con el fin de evitar la proliferación de microorganismos y prolongar su tiempo de vida útil. **Objetivo:** En el presente estudio se investigó el efecto de la temperatura sobre las cinéticas de secado, la actividad de agua ( $a_w$ ), el volumen, la luminosidad ( $L^*$ ) y el porcentaje de rehidratación en rodajas de melón variedad "Cantaloupe". **Métodos:** Se aplicó el proceso de SC con aire caliente a una velocidad del aire de 0,5m/s en rodajas de melón de 3mm de espesor y 20mm de diámetro. Se emplearon tres temperaturas de secado; 50, 60 y 70°C. **Resultados:** Se observó que a mayor temperatura se incrementaron la pérdida de agua y la pérdida de volumen. En cuanto al color, el parámetro  $L^*$  se vio favorecido (aumento de claridad) con el aumento de la temperatura, mientras que la capacidad de rehidratación (%) de las muestras de melón disminuyó. La  $a_w$  de todas las muestras fue inferior a 0,42; lo que permite garantizar la estabilidad del producto durante el almacenamiento, disminuyendo las reacciones de pardeamiento, oxidación hidrolítica, auto-oxidación y actividad enzimática. **Conclusiones:** Con el incremento de la temperatura durante el SC, se redujo el CH, la  $a_w$  y el volumen. El mayor porcentaje de rehidratación

se alcanzó a la menor temperatura de secado (50°C). La luminosidad de las muestras aumentó con el incremento de la temperatura de secado. Teniendo en cuenta lo anterior, se concluyó que la temperatura de secado influyó significativamente en las cinéticas de secado, tiempo de deshidratación y propiedades físicas relacionadas con la calidad del melón. De acuerdo al ANOVA, la mejor temperatura para secar melón con aire caliente fue 70°C.

**Palabras clave:** Secado convectivo, aire caliente, melón "Cantaloupe".

## ABSTRACT

**Background:** Melon (*Cucumis melo L.*) has a short shelf life due to its high water content and climacteric nature. In this regard, drying techniques can help overcome post-harvest losses of the fruit, while providing processing alternatives and conservation. Convective drying (CD) is a process widely used in the food industry to reduce moisture content in fruits in order to avoid the proliferation of microorganisms and prolong lifetime. **Objectives:** In the present study, the effect of temperature on drying kinetics, water activity ( $w_a$ ), volume, brightness ( $L^*$ ) and rehydration percentage for melon slices by convective drying (CD) was investigated. **Methods:** Hot air CD process with an air velocity of 0.5m / s on melon slices of 3 mm thick and 20 mm diameter was applied. Three drying temperatures, 50, 60 and 70°C, were used. **Results:** It was observed that higher temperature increased water loss and volume loss. The  $L^*$  was favored (increase of lightness) by increasing temperature, while rehydration (%) decreased.  $W_a$  of all samples

<sup>1</sup> Estudiante de doctorado en Ingeniería. Universidad del Valle, Cali-Colombia. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Alimentos.

<sup>2</sup> Ingeniera de Alimentos Universidad de Caldas. Profesora auxiliar. Universidad de Caldas. Facultad de ingeniería. Departamento de Ingeniería.

<sup>3</sup> Profesor asociado. Ph.D. en Ciencia y tecnología de los alimentos. Universidad del Valle, Cali-Colombia. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Alimentos.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: luz.a.espinosa@correounivalle.edu.co

was less than 0.42, ensuring the stability of the product during storage, by the reduction of browning reactions, hydrolytic oxidation, self-oxidation and enzymatic activity. **Conclusions:** With increasing temperature during CD, moisture content,  $w_a$  and volume were reduced. Highest percentage of rehydration was reached at lower drying temperature (50°C). The brightness of the samples increased with increasing drying temperature. According to the ANOVA, 70°C was best temperature to dry melon by CD.

**Keywords:** Convective drying, hot air, “cantaloupe” melon.

## INTRODUCCIÓN

El melón (*Cucumis melo* L.) posee una corta vida útil por su alto contenido de agua y su naturaleza climática (1). En este sentido, las técnicas de secado pueden contribuir a subsanar las pérdidas poscosecha de este fruto, además de ofrecer alternativas de procesamiento y conservación. Por otro lado, es posible el control de la  $a_w$  de la fruta deshidratada para garantizar estabilidad microbiológica durante el almacenamiento (2). La temperatura de secado es una variable que debe controlarse para evitar daños irreversibles en alimentos. De acuerdo a algunos investigadores (3-4), argumentan que los vegetales durante el secado pueden tener cambios fisicoquímicos indeseables por su termosensibilidad. En la literatura científica se evidencian escasos estudios de SC en muestras melón “Cantaloupe”, por consiguiente el propósito de este trabajo fue evaluar el efecto de la temperatura sobre las cinéticas de secado,  $a_w$ , volumen, color ( $L^*$ ) y porcentaje de rehidratación durante el SC de rodajas de melón.

## MATERIALES Y MÉTODOS

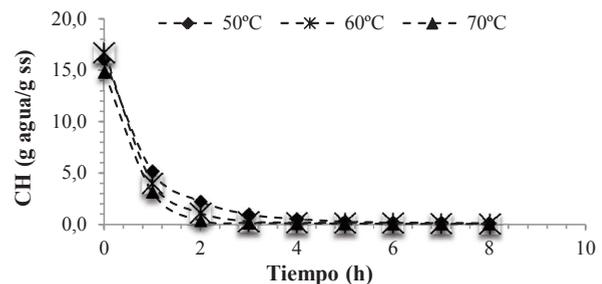
Se emplearon melones (*Cucumis melo* L) de la variedad Cantaloupe y se cortaron muestras de 20 mm de diámetro y 3mm de espesor. El SC se realizó a 50, 60 y 70°C, con una velocidad del aire de 0,5 m/s, para ello se empleó un secador de bandejas (Armfield, USA). Para la medida del peso de las muestras se empleó una balanza analítica (Mettler Toledo AE200, Switzerland). El contenido de humedad (CH) se calculó mediante el método 20.013 (5). La  $a_w$  se obtuvo mediante un equipo Aqualab (4TEV, USA). La luminosidad ( $L^*$ ) se determinó a través del espectro reflexión entre 400-780nm, con un espectrocolorímetro (Hunter Lab, USA). El

volumen de las muestras se midió al inicio y al final del secado, se usó un calibrador digital (Bull Tols, USA) y se expresó en cm<sup>3</sup> aplicando la ecuación 1. La rehidratación se determinó en muestras de melón deshidratadas a pesos y humedades conocidos. Las muestras fueron inmersas en agua destilada con una relación de 3:1 a 28°C, a diferentes tiempos de rehidratación (0, 15, 30, 60 y 120 min); posteriormente se le retiró el exceso de agua superficial con toallas de papel y se pesaron para determinar el agua ganada (6). Los experimentos se realizaron por triplicado. Los resultados obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA), usando el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI, con una significancia entre promedios a un nivel de confianza del 95% ( $p < 0.05$ ).

$$V = \pi r^2 h \quad (\text{Ecuación 1})$$

## RESULTADOS

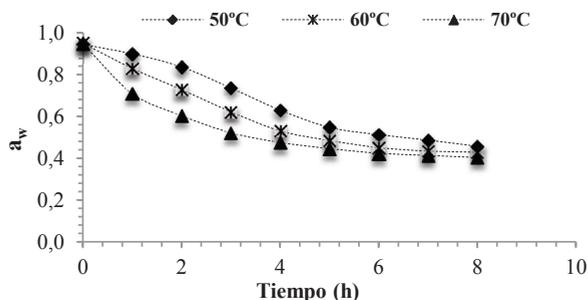
En la figura 1, se observan las cinéticas de secado de muestras de melón a 50, 60 y 70°C. El CH inicial de las muestras de melón fue de  $16.33 \pm 0.3$  g agua/g ss o el equivalente a base humedad de  $0.9423 \pm 0.3$  g agua/g m. Se observa que a mayor temperatura de secado mayor es la pérdida de humedad. Para alcanzar un CH de 0.109 g agua/g s.s (10 % b.s) las muestras secadas a 70°C alcanzaron 4 h de proceso, mientras que las secadas a 60 y 50 °C alcanzaron respectivamente 6.82 y 7.93 h. De acuerdo al ANOVA, se obtuvo un p-valor de 0,0013 ( $p < 0,05$ ), indicando que si hay diferencias significativas entre las temperaturas.



**Figura 1.** Cinéticas de secado de muestras de melón durante el SC a 50, 60 y 70°C.

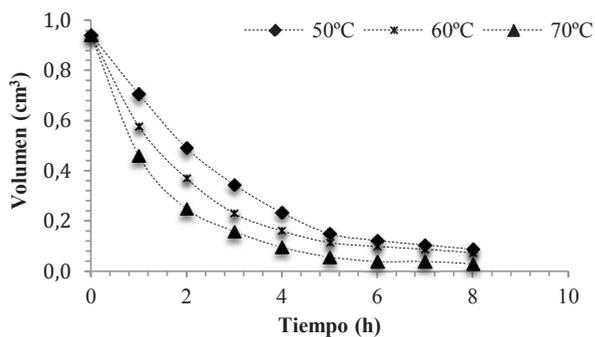
La figura 2 muestra los perfiles de  $a_w$  obtenidos durante el proceso de secado convectivo con aire caliente de muestras de melón. Se evidencia un comportamiento similar al de las cinéticas de secado, ya que con el incremento del tiempo de secado la  $a_w$

disminuye. De acuerdo al ANOVA, la temperatura tiene un efecto significativo sobre los valores de  $a_w$  registrados con un p-valor  $<0.0001$  ( $p<0,05$ ). Al final del secado las muestras alcanzaron valores de  $a_w$  inferiores a 0.42.



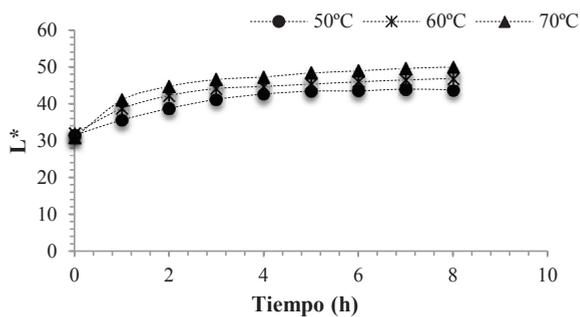
**Figura 2.** Perfiles de  $a_w$  de muestras de melón durante el SC a 50, 60 y 70°C.

La figura 3 muestra el cambio de volumen de las muestras de melón durante el secado. El volumen de las muestras disminuye con el tiempo de proceso alcanzando pérdidas al final del secado entre el 92 y 96 %. El ANOVA indicó un efecto significativo de la temperatura y del tiempo de secado sobre esta variable de respuesta, p-valor  $<0.0001$  ( $p<0,05$ ).



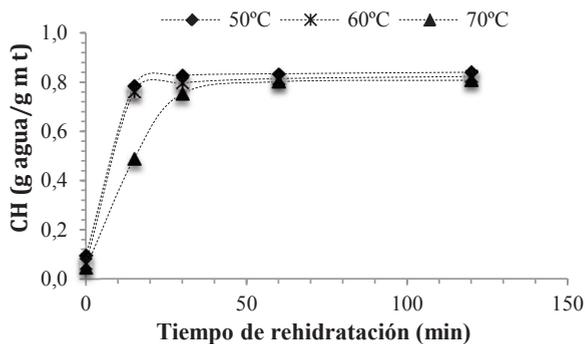
**Figura 3.** Cambio de volumen de muestras de melón durante el SC a 50, 60 y 70°C.

El comportamiento de la luminosidad ( $L^*$ ) por efecto del secado se indica en la figura 4. Se evidencia un aumento progresivo de la claridad de las muestras con el tiempo de proceso y con el incremento de temperatura de secado. El ANOVA indicó un efecto significativo de la temperatura sobre  $L^*$ , p-valor 0.0014 ( $p<0,05$ ).



**Figura 4.** Cambio de color de muestras de melón durante el SC a 50, 60 y 70°C.

En la figura 5, se presentan las curvas típicas de rehidratación de melón deshidratado. El CH absorbido aumenta progresivamente con el tiempo de rehidratación, principalmente entre 15 y 30 min, alcanzando valores entre 73 y 79 % de rehidratación, al final del secado se obtienen valores entre 80.77 y 82.31 %. Con respecto a la temperatura se observa que la rehidratación disminuye con el incremento de la temperatura. El ANOVA evidenció diferencias significativas de la rehidratación entre las temperaturas, p-valor 0.0394 ( $p<0,05$ ).



**Figura 5.** Curva de rehidratación de muestras de melón durante el SC.

## DISCUSIÓN

El descenso pronunciado del CH conforme aumenta la temperatura de secado (Figura 1) puede ser explicado por el aumento de la energía cinética de las moléculas del agua causado por el gradiente de temperatura alcanzado durante el proceso; dicho gradiente actúa como fuerza impulsora de la transferencia de calor (3). Similar comportamiento fue observado en el SC de acerola roja y amarilla (4).

Los valores de  $a_w$  (Figura 2) alcanzados al final del proceso son inferiores a 0.42, lo que garantiza la estabilidad del producto durante el almacenamiento, disminuyendo las reacciones de pardeamiento, oxidación hidrolítica, auto-oxidación y actividad enzimática (7). Estos resultados coinciden con los reportados en el secado de mango y zapallo (8-9).

La pérdida de volumen con el incremento de la temperatura de secado, puede estar asociado a las tensiones o estrés en la matriz celular del fruto por efecto de la pérdida de agua durante el secado. Este cambio de volumen es un indicador de daño estructural en la matriz celular, producto del colapso del material por la salida abrupta del agua por aumento de la fuerza impulsora (10). Además es posible que la movilidad del agua durante el secado sea en dirección axial (espesor), donde la distancia neta recorrida del agua es menor (diámetro mayor con respecto al espesor), agilizando la movilidad del agua y describiendo la difusión de la humedad unidireccionalmente (11).

Con respecto al color en términos de  $L^*$ , el comportamiento observado en la figura 4 se debe principalmente por la temperatura que puede ocasionar degradación de los pigmentos. Se ha reportado la variación de los valores de  $L^*$  por efecto de la temperatura de secado causante de la degradación de los pigmentos vegetales (12), como en el caso de uvas por SC (13).

La disminución de la capacidad de rehidratación (Figura 5) con el incremento de temperatura puede ser atribuido posiblemente al alto encogimiento de la matriz celular por efecto de la alta temperatura, ocasionando menos espacios para que el agua penetre en el tejido durante el proceso de rehidratación (14). Por otro lado, una baja rehidratación está asociada a mayores daños estructurales irreversibles por efecto del tratamiento térmico aplicado. Un comportamiento similar fue reportado por algunos investigadores (14).

## CONCLUSIONES

La temperatura de secado influyó significativamente en las cinéticas de secado y en propiedades físicas relacionadas con la calidad del melón. Con

el incremento de temperatura se obtiene un secado a menor tiempo de proceso, baja  $a_w$ , bajo volumen y mayor claridad de muestra, sin embargo su rehidratación disminuye.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a COLCIENCIAS, al Programa Jóvenes Investigadores e Innovadores “Virginia Gutiérrez de Pineda” por la financiación de esta investigación y a la escuela de Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle.

## REFERENCIAS

1. Liu L, Kakihara F, Kato M. Characterization of six varieties of Cucumis melo L. based on morphological and physiological characters, including shelf-life of fruit. *Euphytica*. 2004 Jun-Oct; 135: 305-313.
2. Sagar V, Kumar P. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: A review. *J Food Sci Technol*. 2010 Feb-Jun; 47(1): 15-26.
3. Koyuncu T, Tosun I, Pinar Y. Drying characteristics and heat energy requirement of cornelian cherry fruits (*Cornus mas L.*). *J Food Eng*. 2007 Aug-Dec; 78(2): 735-739.
4. Koyuncu T, Fuat YP. Convective drying characteristics of azarole red (*Crataegus monogyna Jacq.*) and yellow (*Crataegus aronia Bosc.*) fruits. *J Food Eng*. 2007 Aug-Feb; 78(4): 1471-1475.
5. AOAC. Official Methods of Analysis. Moisture determination. Method 20.013. 13th ed. Washington DC: 1980. 361-362 p.
6. Marques LG, Ferreira MC, Freire JT. Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra L.*). *Chem. Eng. Process*. 2007 Mar-Apr; 46: 451-457.
7. Singh RP, Heldman DR. Introduction to Food Engineering, 2nd ed., San Diego: Academic Press, Inc. 1993. 139-141 p.
8. Ochoa-Martínez CI, Quintero PT, Ayala AA, Ortiz MJ. Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique. *J Food Eng*. 2012 Sep-Oct; 109(1): 69-75.
9. Jiménez MF, Cárdenas JD, Ayala-Aponte AA, Restrepo J. (2014). Alternative drying of roselle (*Hibiscus sabdariffa L.*) through refractance window™ and convective air. *Rev.Fac.Nal.Agr. Medellín*. 2014 Mar-Jun; 67(2): 40-42.
10. Sturman B, Nunez A, Hofacker W. 2014. Influence of process control strategies on drying kinetics, colour and shrinkage of air dried apples. *Appl Therm Eng*. 2014 May-Sep; 62(2): 455-460
11. Thuwapanichayanan R, Prachayawarakorn S, Kunwisawa J, Soponronnarit S. Determination of effective moisture diffusivity and assessment of quality attributes of banana slices during drying. *Food Sci Technol-LEB*. 2011 Dec-Jan; 44: 1502-1510.
12. Edoun M, Kuitche A, Francois G. Effect of Thermal Process and Drying Principle on Color Loss of Pineapple Slices. *American J Food Sci Technol*. 2014 Jan-Apr; 2(1):17-20.
13. Adiletta G, Russo P, Senadeera W, Di Matteo M. Drying characteristics and quality of grape under physical pretreatment. *J Food Eng*. 2016 Oct-Jun; 172: 9-18
14. Krokida MK, Philippopoulos C. Rehydration of dehydrated foods. *Dry Technol*. 2005 Sep-Apr; 23(4): 799-830

# DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS (CATEQUINAS, CAFEÍNA, ÁCIDOS ORGÁNICOS) EN TÉ VERDE (*Camellia sinensis*) USANDO CROMATOLOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA RESOLUCIÓN

DETERMINATION OF PHENOLIC COMPOUNDS (CATECHINS, CAFFEINE, ORGANIC ACID) OF GREEN TEA (*camellia sinensis*) USING HIGH PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY RESOLUTION

RAMIRÉZ-ARISTIZABAI L.S.<sup>1\*</sup>,<sup>2</sup> ORTIZ A.<sup>3,4</sup> OSPINA-OCAMPO L.F.<sup>2,5</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** La búsqueda de compuestos antioxidantes es un área que cada día adquiere más relevancia por el aumento de enfermedades y factores ambientales que contribuyen a la generación de radicales libres, se hace necesaria la búsqueda de fuentes de compuestos que generen equilibrio para contrarrestar estos radicales, una de estas fuentes naturales es el Té verde, que ha comenzado a hacer parte de la dieta de los colombianos para mejorar la salud de forma natural. **Objetivos:** Determinar las condiciones para la extracción de catequinas, cafeína y algunos ácidos fenólicos presentes en el té e implementar un método cromatográfico que permita separar, identificar y cuantificar dichos compuestos; comparar la calidad química de diferentes marcas de Té comercializadas en Colombia. **MÉTODOS:** Se usó diferentes marcas de té: Oriental, Hindú, Liptón y Jaibel, los extractos se obtuvieron mediante reflujo con agua acidulada. El método cromatográfico se desarrolló en fase reversa empleando una columna Ultra AQ C-18, y elución en gradiente (Ácido acético, acetato de etilo y Acetonitrilo). **Resultados:** Se cuantificaron 10 compuestos presentes en el extracto de Té, los mayoritarios fueron Epigallocatequingalato (EGCG), cafeína y ácido Gálico. **Conclusión:** El método cromatográfico permitió cuantificar 10 compuestos presentes en el extracto acuoso del Té. La actividad antioxidante previamente establecida en estas muestras permitió

concluir que el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides especialmente la EGCG se relaciona con dicha actividad.

**Palabras clave:** Antioxidantes, *Camellia sinensis*, cromatografía líquida, fase reversa flavonoides, nutraceuticos, Té verde,

## ABSTRACT

**Background:** The determination of antioxidant compounds is a research field that everyday becomes more relevant because of the increase of diseases and environmental factors contributing to the generation of free radicals, therefore, the location of antioxidants sources are necessary to create a balance that off sets the radical damage. Green tea is considere done of these natural sources which has begun to be part of the diet of Colombians seeking to improve their health naturally. **Objectives:** Determine the optimal conditions for the simultaneous extraction of catechins, caffeine and some phenolic acids present in green tea and implement a chromatographic method to separate, identify and quantify these compounds responsible for antioxidant activity; Also compare the chemical quality of different brands of tea sold in Colombia. **Methods:** Different brands of green tea obtained directly from the chain stores are used, these are: Oriental, Hindú, Lipton and Jaibel, the extracts were obtained by refluxing with acidulated water. The chromatographic method was developed using

<sup>1</sup> Ph.D. Bioquímica. Profesor asociado

<sup>2</sup> Facultad de Tecnología, Departamento de Química, Universidad Tecnológica de Pereira.

<sup>3</sup> M.Sc. Ciencias Químicas. Investigador I. Disciplina de Calidad, Universidad Tecnológica de Pereira.

<sup>4</sup> Centro Nacional de investigación del café. CENICAFE

<sup>5</sup> Profesor Catedrático, Química Industrial. Universidad Tecnológica de Pereira.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: luramire@utp.edu.co

a reversed phase column C AQ-18 Ultra and gradient elution composed of acetic acid, ethylacetate and acetonitrile. Samples and standards were analyzed in triplicate. **Results:** Ten compounds in Green tea extracts were separated, identified and quantified, epigallocatechingallate (EGCG), caffeine and gallic acid were the major compounds. **Conclusions:** The chromatographic method allowed to quantify 10 compounds present in the aqueous extract of green tea. The antioxidant activity previously established on the sesamples showed that this content of flavonoids and phenolic compounds EGCG especially relates to such activity.

**Keywords:** Antioxidants, *camellia sinensis*, liquid chromatography, flavonoids, reverse phase, nutraceuticals, green tea.

## INTRODUCCIÓN

Se considera que los alimentos nutraceuticos tienen efectos terapeuticos y su consumo ha ido aumentando por la poblacion en general. El te en su forma pura se considera una de las bebidas naturales mas beneficas para la salud. Los fitoquimicos son compuestos bioactivos que se generan en las plantas e incluyen metabolitos secundarios que surgen como mecanismo de defensa y adaptacion al estrés del medio ambiente. En el Té se han reportado alrededor de 4000 compuestos bioactivos, de los cuales la tercera parte son compuestos fenolicos principalmente flavonoides, conocidos como catequinas, estos compuestos son responsables de la actividad antioxidante mediante la neutralización de radicales libres generados en los procesos metabolicos(1). La mayoría de las catequinas que se encuentran en los extractos de té verde son conocidas como (+)-catequina (C), (-)-epicatequina (EC), (+)-galocatequina (GC), (-)-epicatequingalato (ECG), (-) epigallocatequina (EGC), y (-)- epigallocatequingalato (EGCG), además de la cafeína quien tiene un efecto estimulante, (2)1.8\03bcm. Sus contenidos pueden variar según las características del Té. Para obtener el té verde las hojas son tratadas con vapor a altas temperaturas y secadas para desactivar la polifenoloxidasas y prevenir la oxidación catequinas y la degradación enzimática de vitaminas. (3). También puede variar con el tiempo, edad de las hojas, clima, y post cosecha.(4), por ejemplo la variedad *assamica* generalmente no es usada para la producción de té verde porque el contenido de flavonoides lo hace ser una bebida más amarga que los de variedad

*sinensis* (5). La calidad del té se relaciona con la composición de sus constituyentes, por lo tanto es importante desarrollar un método analítico que permita evaluar la naturaleza y la capacidad biológica de catequinas en muestras como cosméticos bebidas, suplementos dietarios, u otros alimentos a base de té (2)1.8\03bcm. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un método para, separar, identificar y cuantificar Cafeína (CAF), ácido gálico (AG), Acido Clorogenico (AC), Acido ferrulico (AF) trigonelina (T), Catequina (C), Galocatequina (GC), Epicatequingalato (ECG) Epigallocatequina (EGC), Epicatequina (EC), Epigallocatequingalato (EGCG) en cuatro muestras de té verde comercializadas en Colombia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras se seleccionaron de los almacenes de cadena, las marcas fueron: Oriental, Hindú, Liptón y Jaibel, cada muestra de té fue analizada por triplicado.

### Extracción y análisis cromatografico

Se tomó 0,2 gramos de cada muestra de Té, con 10 mL de ácido acético 0,1% y se sometió a un proceso de reflujo durante 30 minutos, se dejó enfriar y se centrifugo a 7500 rpm por 15 minutos. El sobrenadante se llevó a 15 mL, se alicuotó y se guardó a 4 °C. Los extractos fueron analizados en un cromatógrafo líquido, Jasco 2000 con detector de arreglo de Diodos Jasco MD- 2015 Plus, Automuestreador Jasco AS-2059 Plus y horno Jasco CO-2065 Plus. La separación se realizó en una columna en fase reversa (Ultra AQ C-18 150 x 3,2 mm id, 3 μm de partícula), la temperatura fue de a 35°C, el software EZChromElit, la fase móvil fue ácido acético 0,5%, solvente A, y una mezcla de Acetonitrilo: Acetato de Etilo: ácido acético 0,1% en proporción (10:2:88) como solvente B. El gradiente de elución es presentado en la tabla 1. Las señales cromatográficas fueron identificadas por comparación de los tiempos de retención de las muestras con los estándares.

## CURVAS DE CALIBRACIÓN

La cuantificación se realizó por el método de estándar externo. Se prepararon soluciones Stock de T, AG, AC, CAF y EC a 5000 mg/L, EGC, C, AF y ECG a 1000 mg/L y EGCG a 2000 mg/L. preparadas en Metanol: ácido acético 0,1% (50:50 v/v).

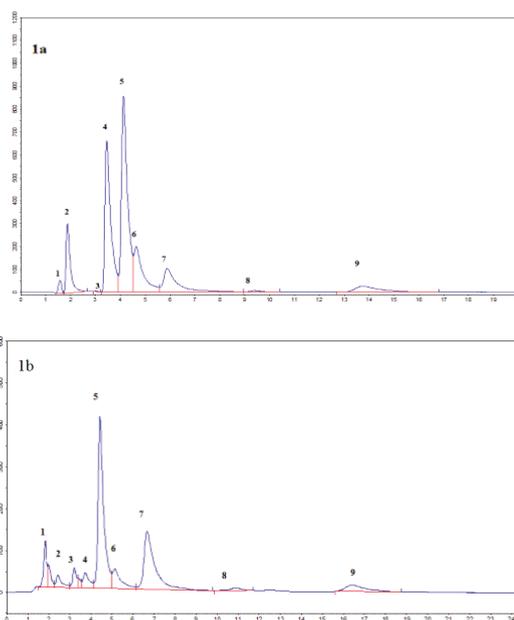
**Tabla 1.** Condiciones del Gradiente de Elución

FASE A (%)	FASE B (%)	Tiempo (min)	Flujo (mL/min)
10	90	0	0,5
40	60	15	0,5
50	50	17	0,7
60	40	20	0,7
40	60	25	0,7
20	80	30	0,7
10	90	35	0,5

Se prepararon las curvas de calibración con las concentraciones de trabajo: Trigonelina (1,25-20 mg/L), Catequina (1-10mg/L), Epigalocatequina (50-300 mg/L), Acido gálico (5-80 mg/L), Cafeína (25-400 mg/L), Acido ferrúlico (0,5 -5 mg/L), ácido Clorogénico (50-1200 mg/L), epicatequina (30-250 mg/L), Epicatequina (5-80 mg/L). EGC (50-600 mg/L). Cada curva de calibración se corrió por triplicado.

## RESULTADOS

Se analizaron los estándares individualmente y se compararon los tiempos de retención con la mezcla de estándares, los resultados se observan en la tabla 2, en la figura 1a se muestra el perfil cromatográfico de una mezcla de estándares, se logró la separación de 9 compuestos. Con estas condiciones cromatográficas se analizaron las muestras de los extractos de té. En la figura 1b se observa el perfil cromatográfico de una muestra de té (Liptón), que al ser comparada con el perfil de una mezcla de estándares (figura 1a) permitió separar e identificar 9 compuestos fenólicos, siendo la cafeína y la EGCG los más abundantes, los compuestos se relacionan en la tabla 2.



**Figura 1.** Perfil Cromatográfico a) Mezcla de estándares. b) Muestra de té verde (Liptón)

Las concentraciones, se determinaron con las curvas de calibración de cada estándar y se resumen en la tabla 3 con su respectiva ecuación. Todas las curvas de calibración presentaron un rango lineal (0,951-0,997). Los valores de límite de detección (LD) y límite de cuantificación (LC) se calcularon determinando la relación señal-ruído de los estándares más diluidos. Se presentaron errores relativamente bajos en la gran mayoría <5, exceptuando la Catequina.

**Tabla 2.** Tiempo de retención de los estándares, LD y LC

Estándares	pico #	tiempo de retención (min)	Señal (mV)	S/R	LD(mg/L)	LC (mg/L)
Trigonelina	1	1,58	19,44	486	0,02	0,05
Ácido Gálico	2	2	28,23	705,78	0,04	0,14
Catequina	3	3,28	1,04	25,9	0,23	0,77
Ácido Clorogénico	4	3,37	1,6	40	7,5	25
cafeína	5	4,24	47,38	1184,5	0,13	0,42
Epicatequina	6	4,38	111,45	2786,25	0,06	0,22
EGCG	7	4,37	27,47	686,83	0,44	1,46
Ácido ferrúlico	8	7,05	13,43	335,65	0,01	0,03
epicatequina	9	11,66	1,76	43,98	0,68	2,27

**Tabla 3.** Concentración de Cafeína, Catequinas y ácido orgánicos en extractos de té verde determinados por HPLC-DAD (mg/L± Error); N=3

Estándares	Ecuación Curva	R <sup>2</sup>	Oriental	Hindú	Liptón	Jaibel
			( mg/L)	( mg/L)	( mg/L)	( mg/L)
Trigonelina	$y = 24414x + 17088$	0,989	77,6 ± 3,0	68,6 ± 1,1	80,6±0,9	56,9±0,7
Ácido Gálico	$y = 86560x + 1675,4$	0,993	20,3 ± 0,8	6,8 ± 0,2	11,2±0,3	6,6±3,2
Epigalocatequina	$y = 8133,7x - 131117$	0,997	74,4 ± 3,4	51,4 ± 2,5	161,9±0,8	144,0±1,3
Catequina	$y = 3399,6x + 10527$	0,951	349,8 ± 12,4	705,7±11,3	113,9±0,6	66,6±4,7
Ácido Cloro génico	$y = 27359x - 801055$	0,995	119,5 ± 7,6	52,6±1,2	93,5±3,6	46,5±0,01
cafeína	$y = 77523x - 426137$	0,991	167,4 ± 5,9	150,8±0,6	190,1±4,2	233,0±0,01
Epicatequina	$y = 43747x - 628730$	0,995	77,1 ± 2,8	58,7±1,6	79,2±0,7	
EGCG	$y = 25520x - 1E+06$	0,981	320,5 ± 10,4	345,9±3,3	439,3±5,2	351,7±0,3
Ácido ferrúlico	$y = 62677x - 30571$	0,974	7,5 ± 0,6	12,9±0,1	9,7±0,6	6,2±0,5
epicatequingalato	$y = 41232x - 116878$	0,996	40,0 ± 3,5	44,6±1,3	59,8±0,7	33,1±1,7

## DISCUSIÓN

La extracción de la cafeína, trigonelina, ácidos e isómeros de la Catequina presentes en el té verde se realizó por reflujo, algunos autores (6)(7) establecen el tiempo de extracción entre 0,5 a 3 horas a 80 °C, aunque al realizar la comparación de los métodos de extracción Myoung-GunChoung (7), establece que la galocatequina se extrae totalmente mediante reflujo mientras que el ácido gálico, Catequina y epigalocatequingalato incrementan gradualmente por encima de las tres horas de calentamiento. Otros autores sugieren que el contenido de catequinas incrementa del 30-40% cuando se extrae por un periodo de 10 minutos, las hojas viejas contienen menos cafeína pero más EGCG (8). Generalmente los niveles de cafeína en infusiones se encuentra entre 141-338 mg/L (8), de todas las marcas quien contiene una gran cantidad de cafeína es Jaibel (233 mg/L) lo que podría sugerir que sus hojas son más jóvenes que las de las demás marcas. Al comparar los resultados obtenidos en ocho variedades de té cosechados en Korea(7), se observó similitud en cuanto a los contenidos de cafeína y catequinas, la muestra de Liptón tuvo una concentración de EGCG igual (32,9 mg/g) comparada con la obtenida por dicho estudio (32,8 mg/g); donde las muestras son extractos de Té de ocho variedades exóticas japonesas, lo que indica que el método de extracción durante 30 minutos fue el apropiado para este tipo de matriz, pues una falta de control estricto en la temperatura podría provocar rompimientos en el grupo galato(7). Comparando

los resultados obtenidos en el presente estudio con otro realizado por Zielinski AAF(9) cuyo objetivo fue determinar un metodo para la optimización de la extracción los compuestos fenólicos del té, se puede afirmar que las cuatro marcas comercializadas en colombia tienen alto contenido de ácido clorogénico y EGCG, estos resultados son consistentes con reportes previos (10) que indica que la EGCG es la más abundante de las catequinas del Té. Algunos autores reportan que el contenido de EGCG en infusiones de té comercial se encuentran entre 22-53 mg/g (3), estos datos se relacionan con los obtenidos por el presente estudio pues las cuatro marcas se encuentran dentro del rango, sin embargo lipton es quien presenta diferencia por su alto contenido (Tabla 4). La actividad antioxidante de los flavonoides depende en parte de el numero y la posicion de los grupos hidroxilo en la molecula y la EGCG es el compuesto con mayor numero de grupos hidroxilo, esta característica estructural la hace una molecula responsable de las actividades biologicas del Té. Todas las muestras de te verde mostraron una composicion homogenea de Catequinas, cafeina y acidos organicos siendo este un método adecuado para la separacion, identificacion y cuantificacion de sus compuestos fenolicos.

Este trabajo contribuyo a la caracterización química de las infusiones de te verde comercializadas en Colombia, los resultados sugieren que hay diferencias en cuanto a la composicion de las marcas analizadas y por lo tanto es necesario realizar otros estudios que determinen las posibles causas de ello.

## CONCLUSIÓN

Se desarrolló un método para cuantificar catequinas, cafeína y ácidos orgánicos presentes en extractos de Té comercializado en Colombia, siendo apropiado para el control de calidad de la mayoría de los productos elaborados a base de té que podrían ser importantes para la industria farmacéutica o alimentaria. La identificación química de las muestras sugiere que las marcas de mayor calidad son Oriental y Liptón.

Teniendo en cuenta la actividad antioxidante de las muestras del té se concluye que hubo correlación entre los compuestos fenólicos y dicha actividad evaluada por el método ORAC. Uno de

los compuestos mayoritarios en todas las muestras fue EGCG, cafeína y Catequina a quienes se les debe posiblemente la actividad antioxidante, Liptón fue una de las marcas que presentó concentraciones altas de los compuestos individuales, la acción conjunta de cada uno de ellos puede ser el responsable de los resultados positivos encontrados en la evaluación antioxidante.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica de Pereira por el financiamiento del proyecto 9-15-2

**Tabla 4.** Resumen de composición química del Té verde

Análitos de interés	extractos de té verde (concentración mg/l)				extractos de té verde (mg/g muestra seca)				a ref. (8)	b ref(9)	c ref. (5)	D Ref. (10)
	Oriental	Liptón	Hindú	Jaibel	Oriental	Liptón	Hindú	Jaibel	mg/g	mg/l	ug/ml	mg/g
Trigonelina	77,6	80,6	68,6	56,9	5,8	6	5,1	4,3				
Acido Ácido Galico	20,3	11,2	6,8	6,6	1,5	0,8	0,5	0,5		152,16	6,49-20,09	0,59-1,16
Epigalocatequina	74,4	161,9	51,4	144	5,6	12,1	3,9	10,8	10,06-20,12	239,35		7,13-11,68
Catequina	349,8	113,9	705,7	66,6	26,2	8,5	52,9	5				1,43-2,83
Acido Clorogenico	119,5	93,5	52,6	46,5	9	7	3,9	3,5		2,3	1,17-6,84	
cafeína	167,4	180,3	145,9	233	12,6	13,5	10,9	17,5	9,26-13,11	4164		15,66-23,50
Epicatequina	77,1	79,2	58,7	0	5,8	5,9	4,4	0	2,89-6,69	130,37		3,34-6,64
EGCG	320,5	439,3	345,9	351,7	24	32,9	25,9	26,4	23,51-32,84	297,67		53,14-126,20
Acidoferrulico	7,5	9,7	12,9	6,2	0,6	0,7	1	0,5			0,009-0,032	
epicatequingalato	40	59,8	44,6	33,1	3	4,5	3,3	2,5	3,39-7,76	81,53		18,75-27,80

## REFERENCIA

- Anand J, Upadhyaya B, Rawat P, Rai N. Biochemical characterization and pharmacognostic evaluation of purified catechins in green tea (*Camellia sinensis*) cultivars of India. 3 Biotech [Internet]. Springer Berlin Heidelberg; 2014; 285-94.
- Naldi M, Fiori J, Gotti R, Périat A, Veuthey J-L, Guillaume D, et al. UHPLC determination of catechins for the quality control of green tea. J Pharm Biomed Anal. Elsevier B.V.; 2014 Jan [cited 2015 Sep 19]; 88:307-14. 3.
- Namal Senanayake SPJ. Green tea extract: Chemistry, antioxidant properties and food applications A review. J Funct Foods [Internet]. Elsevier Ltd; 2013 Oct [cited 2015 Jul 11];5 (4):152941
- Jeszka-Skowron M, Zgoła-Grzeskowiak A. Analysis of Antioxidant Activity, Chlorogenic Acid, and Rutin Content of *Camellia sinensis* Infusions Using Response Surface Methodology Optimization. Food Anal Methods;7(10):2033-41.
- Saito ST, Fröhlich PE, Gosmann G, Bergold A. M. Full Validation of a Simple Method for Determination of Catechins and Caffeine in Brazilian Green Tea (*Camellia sinensis* var. *assamica*) Using HPLC. Chromatographia;65(9-10):607-10.
- Liang H, Liang Y, Dong J, Lu J, Xu H, Wang H. Food Chemistry Decaffeination of fresh green tea leaf (*Camellia sinensis*) by hot water treatment. Food Chem. 2007;101:1451-6.
- Choung M-G, Lee M-S. Optimal extraction conditions for simultaneous determination of catechins and caffeine in green tea leaves. Food Sci Biotechnol 2011;20(2):327-33.
- Reto M, Figueira ME, Filipe HM, Almeida CMM. Chemical composition of green tea (*Camellia sinensis*) infusions commercialized in Portugal. Plant Foods Hum Nutr 2007;62(4):139-44.
- Zielinski AAF, Granato D, Alberti A, Nogueira A, Demiate IM, Haminiuk CWI. Modelling the extraction of phenolic compounds and in vitro antioxidant activity of mixtures of green, white and black teas (*Camellia sinensis* L. Kuntze). J. Food Sci. Technol. 2015;52(11):6966-6977
- Liu M, Tian H, Wu J-H, Cang R-R, Wang R-X, Qi X-H, et al. Relationship between gene expression and the accumulation of catechin during spring and autumn in tea plants (*Camellia sinensis* L.). Horticulture Res. 2015;1(2):15011.

# UTILIZACION DE AFRECHO DE YUCA EN GALLETAS

## USE OF CASSAVA IN COOKIES BRAN

Maribel GARCÍA<sup>1\*</sup>, Jairo SALCEDO<sup>2</sup>, Elvis HERNANDEZ<sup>3</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes:** El afrecho de yuca es una importante fuente de fibra y se ha demostrado los beneficios que genera su ingesta en la salud del consumidor. La incorporación del afrecho en productos de panadería tal como la galleta ayuda a darle valor agregado, incrementar el contenido de fibra y beneficio nutracéutico. **Objetivo:** El objetivo de este estudio fue aprovechar el afrecho de yuca húmedo y deshidratado como sustituto de harina de trigo en la formulación de la masa para elaboración de galletas. **Métodos:** Se utilizó afrecho húmedo y deshidratado para la elaboración de las galletas, en donde la harina de trigo se sustituyó parcialmente por el afrecho de yuca húmedo y deshidratado en niveles de inclusión de 10% y 20%. Se aplicó un análisis sensorial mediante una prueba de ordenamiento simple con 160 consumidores para seleccionar dos tipos de galleta teniendo en cuenta la formulación con y sin masa madre, posteriormente se realizó un análisis de preferencia pareada simple para escoger la muestra de mayor preferencia entre las dos anteriores. Se caracterizó la formulación de mayor preferencia mediante análisis proximal, color y textura. **Resultados:** Las formulaciones de mayor preferencia por los consumidores fue la formulación sin masa madre con afrecho húmedo 10% y con masa madre con afrecho deshidratado 10%, mediante la prueba de preferencia pareada se obtuvo la formulación de mayor preferencia de las dos anteriores donde la formulación con masa madre con afrecho deshidratado 10% fue la de mayor preferencia por los consumidores, con relación al

espacio Cielab\* la luminosidad en las galletas elaborada con harina compuesta con 10% de afrecho deshidratado fue de 70,975, y los parámetros a\* y b\* fueron de 27,785 y 6,155, ubicándose en las tonalidades rojiza y amarilla respectivamente, la textura muestra que la galleta tuvo una firmeza de 67,922 N. **Conclusión:** El afrecho de yuca puede ser utilizado en las sustituciones de harina de trigo para formulación de la masa para elaboración de galletas.

**Palabras clave:** Yuca, fibra, galletas, alimentación, panificación

### ABSTRACT

**Background:** Cassava bran is an important source of fiber and has demonstrated the benefits generated by its intake on the consumer health. The addition of bran in bakery products such as cookie helps add value, increase the fiber content and nutraceutical benefits. **Objective:** The aim of this study was to exploit the wet and dried cassava bran as a substitute for wheat flour in the dough formulation to elaborate cookies. **Methods:** wet and dried cassava bran were used to prepare cookies by partially replaced of 10% and 20% on flour wheat. A sensory analysis was applied by a test single system with 160 consumers to select two types of biscuit considering the formulation without sourdough later analysis preferably single paired was performed to choose the sample most preferred between the two above. Most preferred formulation was characterized by proximate analysis, color and texture. **Results:** Formulations most preferred by consumers was the formulation without sourdough with wet bran 10%,

<sup>1</sup> Ingeniera de Alimentos, Grupo de investigación en Procesos Agroindustriales y Desarrollo Sostenible (PADES), Universidad de Sucre. Sincelejo, Sucre, Colombia.

<sup>2</sup> PhD en Ingeniería Química, Departamento Ingeniería Agroindustrial, Grupo de investigación en Procesos Agroindustriales y Desarrollo Sostenible (PADES), Universidad de Sucre. Sincelejo, Sucre, Colombia.

<sup>3</sup> PhD en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Departamento Ingeniería Agroindustrial, Grupo de investigación en Procesos Agroindustriales y Desarrollo Sostenible (PADES), Universidad de Sucre. Sincelejo, Sucre, Colombia.

\* Autor a quien debe dirigirse la correspondencia: mary.garciap1@gmail.com

sourdough with dried bran 10%, using the paired preference test was the formulation of preference of the two where the formulation with sourdough with bran dehydrated 10% was the most preferred by consumers, in relation to the Cielab\* space the brightness in cookies made with flour made with 10% bran dehydrated was 70,975, and parameters to \* and b \* were 27,785 and 6,155, with falling in the colours red and yellow respectively, texture shows that the cookie has a firmness of 67,922 N. **Conclusions:** The cassava bran can be used in wheat flour substitutions for formulation of development of cookie dough.

**Keywords:** Cassava, fiber, Cookies, alimentation, bakery

## INTRODUCCION

La yuca es un cultivo importante en regiones tropicales y su producción en 2013 fue de 2.172.870ton en Colombia, 1.192.875 ton en la Costa Atlántica y de 305.195ton en Córdoba (1). Tanto la raíz como las hojas pueden ser consumidas por humanos y menos del 10% se procesa con destino a la alimentación animal o para obtener productos industriales como almidones y pasabocas. La principal característica de las raíces de yuca es su capacidad de almacenamiento de almidones, razón por la cual es el órgano de la planta que hasta el momento ha tenido un mayor valor económico (2).

En el proceso de obtención del almidón se separa como subproducto el afrecho húmedo que generalmente ha sido utilizado en la alimentación animal o vertido al medio ambiente (3), como materia prima para la producción de etanol y otros procesos de fermentación (4-6); sin embargo, en gran parte es descarta simplemente como un desperdicio (6).

El afrecho de yuca es una importante fuente de fibra insoluble (86%) y su uso como ingrediente en las dietas tiene sus efectos positivos en la fisiología ayudan al alivio del estreñimiento (7) y la prevención de muchos tipos de enfermedades crónicas como el cáncer, enfermedades cardiovasculares (8- 11)

La incorporación del afrecho de yuca en productos de panadería tal como la galleta ayuda a incrementar su contenido de fibra acorde al grado de sustitución en la elaboración de la masa, contribuyendo con las propiedades mecánicas, químicas y sensoriales del producto obtenido (12). Otras materias primas usadas como sustitutos están los

salvados de trigo, arroz y avena (13) algas (14,15) y semillas (16). Este trabajo se desarrolló para aprovechar el afrecho de yuca como sustituto de harina de trigo en la elaboración de galletas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Elaboración de galletas:** El afrecho húmedo y deshidratado fue suministrado por la empresa almidones de Sucre S.A.S ubicada en la vía Sincelejo-Corozal, Departamento de Sucre –Colombia. Se obtuvieron cuatro mezclas compuestas por harina de trigo Marca Nevada en niveles de inclusión de 10% y 20% tanto con afrecho de yuca húmedo como deshidratado. La preparación de masa madre se realizó una mezcla de los ingredientes: harina (100%), levadura (3-4%), agua (40-50%), azúcar (1%), se deja en reposo durante 2 horas. Para la elaboración de las galletas se formularon con base a 100% de harina compuesta los ingredientes 59% margarina, 67% de azúcar pulverizada, 2% esencia de vainilla negra, 1% de canela molida, 13% de yema de huevo, 1% de bicarbonato, 1% de sal. Inicialmente se obtuvo una crema mezclando la margarina, esencia de vainilla, canela molida, azúcar pulverizada y yema de huevo, posterior se mezcló la harina compuesta, sal, bicarbonato y la masa madre en caso que es necesario, hasta obtener la masa, se moldearon las galletas con un molde redondo, se hornearon a una temperatura 170°C por 40 minutos.

### Caracterización química

El afrecho deshidratado y la galleta escogida por el panel sensorial se caracterizaron de acuerdo a los procedimientos estándares de la AOAC, para determinación de humedad (AOAC 1994), grasa (AOAC 991.36), pH (IAL, 1985), Acidez (IAL, 1985), fibra (AOAC 1994), cenizas (AOAC, 1994), proteínas (AOAC 991.20) (17)

### Evaluación sensorial

Para seleccionar dos tipos de galleta teniendo en cuenta la formulación con y sin masa madre, se aplicó una prueba de ordenamiento simple con una valoración de uno a cinco, siendo uno la más preferida y cinco la de menor preferencia, haciendo uso de un panel de 160 jueces consumidores. Posteriormente se realizó una prueba pareada simple para escoger la muestra de mayor preferencia entre las dos seleccionadas previamente, con un panel de 80 consumidores. Las muestras de galletas se

colocaron en platos de plásticos codificados con tres dígitos al azar.

A la galleta seleccionada se le midió el color por reflectancia utilizando un espectrocolorímetro Colorflex EZ 45 (HunterLab), se determinaron las coordenadas de color del espacio CIELAB ( $L^*$ : luminosidad o claridad;  $a^*$ : coordenada rojo-verde y  $b^*$ : coordenada amarillo-azul) y la firmeza en un texturómetro Stable Micro Systems TA.TX. PLUS, utilizando el accesorio Three point Bend rigs, la longitud utilizada fue de 2cm.

### Diseño Experimental

Para la elaboración de las galletas se utilizó un diseño experimental con un arreglo factorial  $2 \times 2 \times 2$ ,

correspondientes a la masa de madre con dos niveles 0%- 25% masa madre (MM), tipo de afrecho con dos niveles deshidratado (AD) y húmedo (AH), proporción de afrecho con dos niveles (10% y 20%) y un control (C) con 100% harina de trigo.

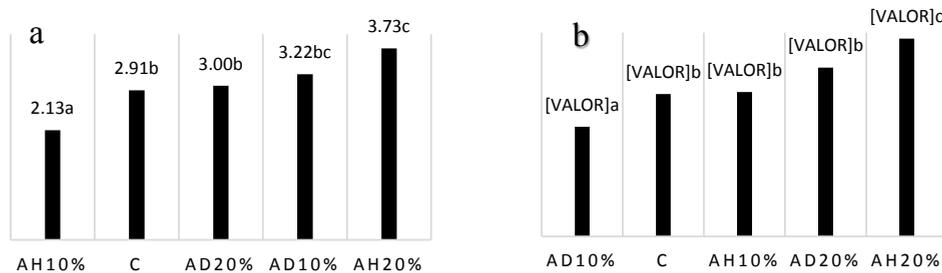
## RESULTADOS

### Caracterización proximal del afrecho deshidratado

En la tabla 2 se muestra la composición proximal del afrecho deshidratado de yuca y su comparación con otros estudios.

**Tabla 2.** Composición proximal del afrecho deshidratado

Composición Proximal (%)	Afrecho Deshidratado	Stertz (18)	Vandenberghe et al. (19)	Woiciechowski et al. (20)	Versino y Garcia (21)
Humedad	14.56 $\pm$ 0.65	10.70	11.20	8.50	10,56 $\pm$ 1,58
Ceniza	2.63 $\pm$ 0.02	1.50	1.44	1.50	0,86 $\pm$ 0,04
Proteína	0.12 $\pm$ 0.02	1.60	1.61	1.52	1,25 $\pm$ 0,01
Fibra bruta	58.19 $\pm$ 0.14	22.20	21.10	21.10	-
Grasa	3.70 $\pm$ 0.19	0.53	0.54	0.53	0,17 $\pm$ 0,015
Fibra dietaria	-	-	-	-	4,2 $\pm$ 2,8



**Figura 1.** Prueba de ordenamiento simple de galletas a: sin masa madre b: con masa madre

### Análisis sensorial de las galletas

La evaluación general de preferencia de las galletas indica que existe diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) entre las medianas de las formulaciones cuando se aplicó el test de ordenamiento de Friedman (Figura 1).

### Caracterización de la galleta

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos de la composición química de la galleta seleccionada de mayor preferencia. El contenido de humedad de la galleta en este estudio, el pH y el

contenido de proteína cumplen con los requisitos fisicoquímicos establecidos en la NTC 1421. (22)

**Tabla 3.** Caracterización fisicoquímica de la galleta

Componente	Galleta con afrecho (%)
Humedad	5.33 $\pm$ 0.05
Proteína	6.33 $\pm$ 0.02
Cenizas	1.37 $\pm$ 0.04
Grasa	14.5 $\pm$ 0.03
Fibra Bruta	4.33 $\pm$ 0.5
Acidez	0.95
pH	7.30

En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos del análisis de color y textura de la galleta seleccionada de mayor preferencia.

**Tabla 4.** Parámetros de color y textura

Color			Textura
L	a*	b*	Firmeza
70,975	27,785	6,155	67,922 N

## DISCUSION

La composición proximal del afrecho de yuca depende de las variedades y edades de la materia prima utilizadas para el proceso de extracción de almidón y del tipo de proceso utilizado, se destaca que el afrecho deshidratado utilizado en esta investigación tiene el mayor contenido de fibra bruta y grasa con respecto con otros estudios (Tabla 2).

La mayor preferencia de los consumidores fue por la galleta elaborada sin masa madre - afrecho húmedo 10% y con masa madre - afrecho deshidratado 10% y las de menor preferencia fueron las formulaciones con afrecho húmedo 20%. La masa con niveles altos de incorporación de fibra tienen limitaciones tecnológicas en las características reológicas haciendo que tengan un impacto sobre la percepción del consumidor.

Con respecto al análisis sensorial de ordenamiento simple, donde se escogieron las formulaciones de mayor preferencia en relación al factor de mezcla de masa madre con dos niveles (con 25% masa madre y sin masa madre), se realizó una prueba de preferencia pareada para obtener la formulación de mayor preferencia de todo el estudio, donde la formulación con masa madre con afrecho deshidratado 10% fue la de mayor preferencia por los consumidores. La Luminosidad en la galleta elaborada con harina compuesta con 10% de afrecho deshidratado fue de 70,975 similar al valor reportado en el estudio de galletas enriquecidas con fibra de Psyllium en una proporción de 10%, en donde encontraron que a medida que aumentaban el contenido del material fibroso se daba una disminución significativa de L, Además el afrecho de yuca, el Psyllium, y otras fibras, son más oscuros que la harina de trigo (16), corroborándose en los estudios de Romero et al. (23) donde sustituyeron 30% de harina de trigo blanca por algún subproducto de la molienda del trigo para ser usados como fuente de fibra, dando valores menores de L, evidenciando

que al aumentar el contenido del material fibroso disminuye la luminosidad, y el estudio de Sudha et al (13) donde este efecto pueden resultar de un pardeamiento no enzimático más pronunciadas cuando la harina de trigo se reemplaza por la fibra con composición diferente azúcar. Con respecto al valor del parámetro b\* fue de 6,155 ubicándose en el intervalo de la tonalidad amarillo, en tanto a los valores del parámetro a\* fue de 27,785 el cual tuvo una tendencia a la coloración rojiza para las galletas en estudio, los datos fueron similares a los resultados obtenidos por otros autores (13, 23, 24).

La galleta con incorporación de afrecho deshidratado del 10% tiene una firmeza de 67,922 N, dando valores más elevados en comparación con las galletas enriquecidas con fibra de Psyllium cuya firmeza fue de 20N (16). Los niveles de incorporación hacen que sea difícil de dar forma al producto y tener un cambio sustancial en la textura, con un impacto negativo en la evaluación sensorial (16), demostrando la baja preferencia en las galletas con adición del 20% de afrecho. Según los resultados obtenidos por Raymundo et al. (16) una baja incorporación de fibra tiene un efecto positivo en el fortalecimiento de la red del gluten. Por el contrario, a concentraciones más altas, la formación de redes es afectada negativamente. Con esto se puede evidenciar que la textura está influenciada por el tipo de material fibroso (polisacárido) y los niveles de incorporación de este, de manera negativa en la formación de la red. Saha et al (25) y Fustier et al (26) observaron que el incremento del contenido de harina de trigo y el aumento del nivel de la proteína ayudan al aumento de la firmeza de las galletas.

## CONCLUSIONES

El afrecho de yuca es una materia prima rica en fibra que se puede utilizar en las sustituciones de harina de trigo para formulación de la masa para elaboración de galletas; una galleta con características aceptadas por el consumidor se obtuvo utilizando afrecho de yuca deshidratado en un porcentaje de adición no mayor al 10% y fue necesario utilizar masa madre durante su procesamiento.

## REFERENCIAS

1. Agronet. Sistemas de estadísticas Agropecuarias –SEA, Estadísticas Agroforestales MADR\_DANE\_GREMIOS\_1987-2013 - Consolidado Nacional (2013).
2. Velásquez J, Bravo A. “Comercialización de almidón de yuca, para abastecer el mercado de Colombia, a través de la implementación

- de una planta procesadora ubicada en la parroquia canuo del canton Chone". [Tesis ingeniero en comercio exterior y negocios internacionales] [Manta, Ecuador]: Universidad laica Eloy Alfaro de Manabi: 2011.
3. Ferreira G, Oliveira R, Cardoso E, Magalhães A y Brito E. Valor nutritivo de co-productos da mandioca. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*. 2007; 8: 364–374.
  4. Kosugi A, Kondo A, Ueda M, Murata Y, Vaithanomsat P, Thanapase W, Arai T, Mori Y. Production of ethanol from cassava pulp via fermentation with a surface-engineered yeast strain displaying glucoamylase. *Renew. Energy*. 2009; 34:1354–1358.
  5. Iyer S, Mattinson D, Fellman J. Study of the early events leading to cassava root postharvest deterioration. *Trop. Plant Biol.* 2010; 3:151–165.
  6. Panichnumsin P, Nopharatana A, Ahring B, Chaiprasert P. Production of methane by co-digestion of cassava pulp with various concentrations of pig manure. *Biomass Bioenergy*. 2010; 34:1117–1124.
  7. Bussolo C, Roeselers G, Troost F, Jonkers D. Prebiotic effects of cassava bagasse in TNO's in vitro model of the colon in lean versus. *Journal of functional foods*. 2014; 11: 210–220.
  8. Figuerola F, Hurtado M, Estevez A, Chifelle I, y Asenjo F. Fiber concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fiber sources for food enrichment. *Food Chemistry*. 2005; 91(1): 395–401
  9. Lairon D, Arnault N, Bertrais S, Planells R, Clero E, Hercberg S. Dietary fiber intake and risk factors for cardiovascular disease in French adults. *American Journal of Clinical Nutrition*. 2005; 82: 1185–1194.
  10. Nawirsk A y Kwasniewska M. Dietary fiber fractions from fruit and vegetable processing waste. *Food Chemistry*. 2005; 91(1): 221–225.
  11. Rosell C.M, Santos E y Collar C. Physico-chemical properties of comercial fibers from different sources: A comparative approach. *Food Research International*. 2009; 42(1): 176–184.
  12. Cheng Z, Blackford J, Wang Q y Yu L. Acid treatment to improve Psyllium functionality. *Journal of Functional Foods*. 2009; 1:44–49.
  13. Sudha ML, Vetrimani R y Leclavathi K. Influence of fiber from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chemistry*. 2007; 100 (4):1365–1370.
  14. Gouveia L, Batista AP, Miranda A, Empis J y Raymundo A. *Chlorella vulgaris* biomass used as colouring source in traditional butter biscuits. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2007; 8(3): 433–436.
  15. Gouveia L, Coutinho C, Mendonça E, Batista A.P, Sousa I, Bandarra N.M, et al. Functional biscuits with PUFA- $\omega$ 3 from *Isochrysis galbana*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2008; 88(5): 891–896.
  16. Raymundo A, Fradinho P, Nunes MC. Effect of Psyllium fibre content on the textural and rheological characteristics of biscuit and biscuit dough. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 2014; 3:96 – 105
  17. AOAC. Official methods of analysis. Washington D.C: Association of Analytical Chemists; 1998.
  18. Stertz S.C, Bioconversão da Farinha de Mandioca Crua (Manihot Esculenta, Crantz) por Fungos do Gênero *Rhizopus* em Fermentação no Estado Sólido. [Tese Mestrado] [Curitiba]: Universidade Federal do Parana: 1997
  19. Vandenberghe L.P.S, Soccol C.R, Lebeault J.M, Krieger N. Cassava wastes hydrolysate an alternative carbon source for citric acid production by *Candida lipolytica*. Paper presented in Internat. Congr. Biotech'98, Portugal. 1998
  20. Woiciechowski A.L, Nitsche S, Pandey A, Soccol C.R. Acid and Enzymatic Hydrolysis to recover reducing sugar from Cassava Bagasse: an Economic study. 2002; 45(3): 393–400.
  21. Versino F y Garcia M. Cassava (*Manihot esculenta*) starch films reinforced with natural fibrous filler. *Industrial Crops and Products*. 2014; 58:305–314
  22. Norma Técnica Colombiana 1241 [internet] Disponible en [http://www.slideshare.net/jamesdays/ntc1241galletas?redirected\\_from=save\\_on\\_embed](http://www.slideshare.net/jamesdays/ntc1241galletas?redirected_from=save_on_embed)
  23. Romero A, Salazar M, Reyes F, García A. Galletas enriquecidas con fibra a partir de subproductos de la molienda del trigo: caracterización química, física y sensorial. *Ciencia, tecnología y salud*. Universidad Sonora. 2011.
  24. Pareyt B, Goovaerts M, Brocjaert W, Delcour J. Arabinoxylan oligosaccharides (AXOS) as a potential sucrose replacer in sugar-snap cookies. *LWT - Food Science and Technology*. 2011; 44: 725–728.
  25. Saha S, Gupta A, Singh S, Bharti N, Singh K, Mahajan V. Compositional and varietal influence of finger millet flour on rheological properties of dough and quality of biscuit. *LWT – Food Science and Technology*. 2011; 44: 616–621.
  26. Fustier P, Castaigne F, Turgeon S.L y Biliaderis C. G. Impact of commercial soft wheat flour streams on dough rheology and quality attributes of cookies. *Journal of Food Engineering*. 2009; 90: 228–237.

# DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE LETALIDAD TÉRMICA $F_0$ EN CONSERVAS DE ARVEJA ANDINA Y SUREÑA (*Pisum sativum*)

DETERMINATION OF THERMAL DEATH TIME  $F_0$  FROM CANNED ANDINA AND SUREÑA PEA (*Pisum sativum*)

Yamid A. PINCHAO Ing.<sup>1\*</sup>; Oswaldo OSORIO Ph.D.<sup>2</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** Cada vez que se renueva o se saca conservas nuevas al mercado hay que estimar el valor  $F_0$  requerido para alcanzar la destrucción térmica de microorganismos patógenos de tal forma que se evite reducir los cambios en el color, textura, aroma, calidad nutricional entre otros. **Objetivos:** Determinar el tiempo de letalidad térmica  $F_0$  en conservas de arveja andina y sureña en base a curvas de penetración de calor. **Métodos:** La arveja fue escaldada por inmersión en agua. Los granos de arveja fueron empacados hasta poco más de la mitad del envase de vidrio. Fue usado como líquido de cobertura agua, sal y azúcar a 90 °C dejando un espacio de cabeza de 2 cm. Se determinó los puntos fríos de la autoclave y del envase para ubicar las termocuplas. Los envases se sometieron a esterilización en la autoclave. Con ayuda de termocuplas tipo K, un lector de temperatura portátil y un cronometro se tomó los datos tiempo-temperatura para elaborar las curvas de penetración de calor. La estimación del tiempo de letalidad  $F_0$  se hizo por el método gráfico mejorado. Una vez determinado el tiempo  $F_0$  fue sometido a prueba mediante recuento microbiológico y medida del color. **Resultados:** Los  $F_0$  que garantizan la esterilidad comercial fueron de  $7,251 \pm 0,304$  y  $8,850 \pm 0,078$  min para arveja andina y sureña respectivamente. El recuento de esporas Clostridium sulfito reductor realizado en unidades formadoras de colonia en ambas variedades fue  $<10$ . La medición de color indico sobreprocesamiento en comparación con datos de literatura. **Conclusiones:** Se estimó los  $F_0$  que garantizan la

esterilidad comercial en ambas conservas de arveja, sin embargo, las condiciones de la autoclave usada ocasiono sobreprocesamiento, debido a que no permite alcanzar de forma rápida la temperatura de esterilización en el punto frío del envase y de igual forma no permite el rápido enfriamiento del producto.

**Palabras clave:** Arveja, conserva, color

## ABSTRACT

**Background:** Every time there is renewed or a new canned food is taken to the market it has to estimate the value  $F_0$  required to achieve thermal destruction of pathogenic microorganisms so as to avoid reducing the changes in color, texture, aroma, nutritional quality among others. **Objectives:** To determine the thermal death time  $F_0$  from andina y sureña peas canned based on heat penetration curves. **Methods:** The pea was blanching by immersion in water. Pea beans were packed up little more than half of the glass container. It was used as liquid medium water, salt and sugar to 90 °C leaving a headspace of 2 cm. The Cold spots of the autoclave and the jar was determined to place thermocouples. The containers were subjected to autoclaving. Using type K thermocouples, temperature reader portable and a timer, it took data time-temperature to develop curves of heat penetration. The time of lethality  $F_0$  was estimated by the improved graphical method. Once given time  $F_0$  was tested by microbiological count and color measurement. **Results:** The  $F_0$  that ensure commercial sterility were  $0.304 \pm 7.251$  and  $8.850 \pm 0.078$  min

<sup>1</sup> Investigador Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia

<sup>2</sup> Docente Investigador Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Departamento procesos industriales, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia

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

for andina and sureña peas respectively. The count of spore reducer *Clostridium sulfite* was made in colony forming units in both varieties was <10. The color measurement indicated over processing compared with literature data. **Conclusions:** The  $F_0$  that ensure commercial sterility in both canned peas was estimated, however, the autoclave conditions used cause over processing because it does not allow to quickly reach the sterilizing temperature in the coldest point of the container and Similarly not allow rapid cooling of the product.

**Keywords:** Pea, canned, color

## INTRODUCCIÓN

Cada vez que se desea sacar un nuevo producto en conserva al mercado es necesario precisar las condiciones del proceso en procura de garantizar el aseguramiento de la calidad y seguridad del alimento, así como para optimizar el proceso térmico (1,2), debido a que la esterilización aplicada durante la elaboración de conservas ocasiona la destrucción entre un tercio hasta la mitad de ciertas vitaminas y minerales, sin embargo, una vez en su envase, las pérdidas adicionales de estas vitaminas no son significativas (3–5). También, hay que decir que los alimentos en conserva proporcionan muchos de los mismos nutrientes y minerales que los alimentos frescos, debido a que estos alimentos se procesan inmediatamente después de la cosecha minimizando el tiempo de pérdidas iniciales de nutrientes, cosa que no sucede durante el tiempo de exhibición de un alimento en fresco, durante el cual se pierden nutrientes (5).

Las semillas leguminosas son las que generalmente se someten a métodos de conservación como la congelación o la esterilización ya que la preferencia es consumirlas después de su transformación tecnológica o culinaria (3). Además como se ha visto en la literatura la arveja procesada correcta e inmediatamente después de la cosecha puede ser tan nutritiva como la que se consume en fresco después de pasar exhibida en mercados (6–8). Por otra parte, los alimentos en conserva no son perecederos, razón por la cual no se pierde dinero como puede suceder con los productos frescos (3).

Durante el procesamiento de alimentos de baja acidez ( $\text{pH} > 4,7$ ) hay que tomar en cuenta el control de la contaminación por esporas *Clostridium botulinum*, de ahí, que para determinar las condiciones que permiten obtener un alimento comercialmente

estéril se use a este microorganismo como el principal indicador de un proceso eficaz (9). Los alimentos en el rango de baja acidez requieren de un proceso mínimo de 3 min a 250 °F (121,1 °C), esto se conoce como valor  $F_0$ , que es el tiempo de letalidad térmica o tiempo de duración (en minutos) requerido para conseguir una reducción en el número de microorganismos generalmente a una temperatura de 121,1 °C o 250 °F (9,10). El cálculo de  $F_0$  se efectúa de acuerdo con la teoría de la transferencia de calor (distribución de la función tiempo-temperatura dentro de la masa del alimento) y de la base del comportamiento cinético (destrucción térmica) de esporas de *Clostridium botulinum* (1). La combinación de los dos conjuntos de datos permite el diseño de un proceso térmico adecuado. Además, el concepto  $F_0$  es útil para comparar los procesos térmicos con diferentes perfiles de tiempo-temperatura y para la especificación de las condiciones de procesamiento térmico recomendado para garantizar que un producto sea comercialmente estéril (1,3). Por lo anteriormente mencionado el objetivo de este trabajo fue determinar el tiempo de letalidad térmica  $F_0$  en conservas de arveja andina y sureña en base a curvas de penetración de calor.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención de las muestras

Las arvejas variedad andina y sureña fueron recolectadas en la granja del Centro Internacional de Producción Limpia LOPE, Sena Regional Nariño (2650 msnm, 13 °C) y procesadas de inmediato en el Laboratorio de Investigación en Conservación y Calidad de Alimentos, Universidad de Nariño, Torobajo, Pasto (N) (2527 msnm, 14 °C).

### Preparación y registro de las curvas de penetración de calor

Los granos de arveja fueron escaldados en agua e inmediatamente se depositaron en envases de vidrio hasta poco más de la mitad (en base a pruebas preliminares). Se adicionó una solución acuosa caliente (90°C) de NaCl (2%) y sacarosa (1.5%) dejando un espacio de cabeza de 2 cm (3). Los envases se taparon y esterilizaron en una autoclave a escala piloto. Se utilizó termocuplas tipo K ubicadas en el punto frío del envase y en el punto frío de la autoclave. Se usó un lector de temperatura portátil (TECPEL DTM-305) y un cronometro para regis-

trar los datos tiempo-temperatura (2). Se realizaron 4 repeticiones (curvas de penetración de calor) para cada variedad. Los  $F_0$  hallados para arveja andina y sureña se evaluaron mediante prueba microbiológica (11) y de color (6).

**Análisis de datos**

El cálculo del  $F_0$  para cada proceso de esterilización se hizo por el método grafico mejorado y su coeficiente de variación se hizo con el software estadístico Minitab® 17.1.0 (12).

**RESULTADOS**

Los resultados obtenidos en arveja andina y sureña se muestran en la tabla 1, 2 y 3. Las curvas de penetración de calor se muestran en las figuras 1 y 2.

**Tabla 1.** Valores  $F_{0h}$ ,  $F_{0c}$ ,  $F_0$  en conservas de arveja andina y sureña (R1, R2, R3, R4 = repeticiones).

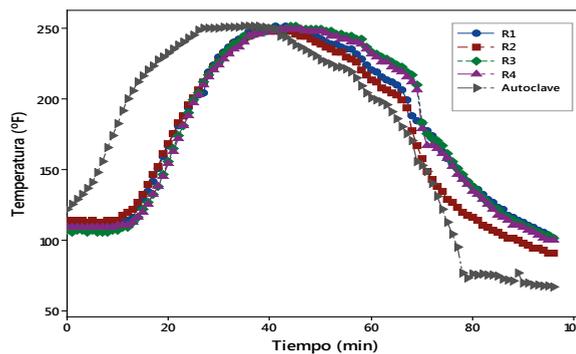
Muestra		R1	R2	R3	R4	Promedio
Andina	F0h	3,195	3,15	3,28	3,395	3,255±0,108
	F0c	3,958	3,775	3,996	4,256	3,996±0,198
	F0	7,153	6,925	7,276	7,651	7,251±0,304
Sureña	F0h	5,052	4,184	4,492	4,373	4,525±0,373
	F0c	3,901	4,664	4,345	4,39	4,325±0,316
	F0	8,953	8,848	8,837	8,763	8,850±0,078

**Tabla 2.** Medición del color en conservas de arveja andina y sureña esterilizadas a 7,251 y 8,850 min respectivamente

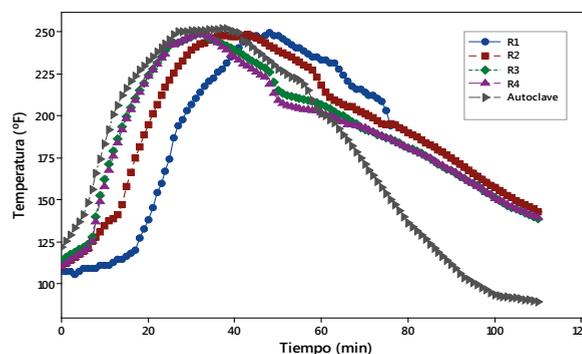
		Coordenadas rectangulares		
		L*	a*	b*
Andina	Frescas	47,30±1,44	-7,04±0,26	24,43±0,23
	Escaldadas	40,05±1,77	-11,29±0,55	17,68±1,95
	Conserva	45,24±0,73	3,78±0,28	27,97±1,27
Sureña	Frescas	49,19±0,83	-7,18±0,39	25,32±1,22
	Escaldadas	35,21±1,12	-9,88±0,21	22,98±0,71
	Conserva	46,24±0,74	4,07±0,43	49,44±1,06

**Tabla 3.** Recuentos microbiológicos en conservas de arveja andina y sureña esterilizadas a 7,251 y 8,850 min respectivamente

Parámetro	Unidades	Valor Obtenido Andina	Valor obtenido Sureña
Coliformes totales	No bacterias/mL	<3	<3
Coliformes fecales	No bacterias/mL	<3	<3
Mesofilos	UFC	60	140
Recuento de hongos y levaduras	UFC	<10	<10
Recuento de esporas Clostridium sulfito reductor	UFC	<10	<10
Recuento de estafilococo Coagulasa positiva	UFC	-	-
Recuento de Bacillus cécus	UFC	-	-
Salmonella/25g	Positivo/negativo	-	-



**Figura 1:** Curvas de penetración de calor en arveja andina



**Figura 2:** Curvas de penetración de calor en arveja sureña

**DISCUSION**

Los tiempos de letalidad estimados para arveja andina y sureña fueron de  $7,251 \pm 0,304$  y  $8,850 \pm 0,078$  min respectivamente, estos resultados fueron mayores a los encontrados por (7) donde el tiempo promedio de letalidad fue de  $4,97 \pm 0,12$  min para arveja enlatada utilizando una autoclave rotatorio, este tipo de retorta otorga mayores ventajas en la transferencia de calor hacia el producto en compa-

ración con la autoclave usada en esta investigación ya que la autoclave rotatorio permitió alcanzar la temperatura de proceso en el punto frío de la lata de arveja en un rango de 9,5 – 12 min (7), mientras que como se puede ver en las figuras 1 y 2 el punto frío de la conserva de arveja alcanzó la temperatura de proceso en un rango de 30 - 40 min provocando un sobreproceso de la conserva elaborada, lo que implica además la pérdida de componentes nutricionales como las vitaminas sensibles al calor.(5). Con respecto a lo reportado por (6) el tiempo de letalidad requerido para arveja enlatada usando solución de NaCl estuvo alrededor de los 10 min, este tiempo es mayor al encontrado en esta investigación, no obstante, las propiedades fisicoquímicas de esta arveja se conservaron mejor debido nuevamente al tiempo en el que la lata alcanza la temperatura de proceso en su punto frío y que estuvo alrededor de los 5 min.

Los tiempos de letalidad encontrados son similares a los reportados en literatura (6,7), no obstante, durante las 3 etapas de esterilización la autoclave utilizada no trabajó muy bien en las etapas de calentamiento y enfriamiento (figuras 1 y 2) evitando que en el punto frío de los envases se alcanzara la temperatura de esterilización de forma rápida, por otra parte, una vez terminada la fase de sostenimiento el equipo no permitió enfriar los envases rápidamente ocasionando sobreprocesamiento, y con ello la pérdida de nutrientes, degradación del color, textura, etc. (1–3,6).

Con respecto al color, las coordenadas  $a^*$  mostradas en la tabla 2 fueron de  $3,78 \pm 0,28$  y  $4,07 \pm 0,43$  para arveja andina y sureña respectivamente, estos valores fueron mayores al valor reportado por (6) donde la coordenada  $a^*$  fue de  $-9,5 \pm 0,3$  para arveja en conserva, si tomamos como referencia que esta coordenada muestra el grado de verdor en vegetales y que además está estrechamente relacionada con la concentración de clorofila, la variación de color desde el verde natural mostrado en muestras de arveja sin escaldar y escaldadas a un color marrón oliva mostrado por las muestras esterilizadas se explica por la conversión de la clorofila a feofitina (6,13). Esto permite inferir que en las muestras de arveja en conserva la mayoría de clorofila se transformó a feofitina.

Finalmente, aunque teóricamente los valores encontrados  $F_0$  de 7,251 y 8,850 min para arveja andina y sureña respectivamente permiten obtener

una esterilidad comercial, el recuento microbiológico mostrado en la Tabla 3 revela que las conservas de arveja andina y sureña no son estériles comercialmente ya que a nivel industrial se requiere que haya ausencia de microorganismos esporulados (4, 6) y como se puede ver en la tabla 3 los valores de recuento de esporas *Clostridium sulfito reductor* son  $<10$  y además hay presencia de microorganismos mesofilos, no obstante, esto se puede deber a que durante la elaboración de las conservas se tuvo que controlar factores críticos como el cierre de los envases, el uso de envases adecuados, y principalmente se tuvo que verificar y controlar la calidad microbiológica del agua de enfriamiento para evitar que se presente contaminación posterior al tratamiento térmico (1, 4, 6).

## CONCLUSIONES

Las condiciones de la autoclave usada ocasiono sobreprocesamiento de las arvejas en conserva, debido a que no permitió alcanzar de forma rápida la temperatura de esterilización en el punto frío del envase y de igual forma no permitió el rápido enfriamiento del producto. Se estimó los  $F_0$  que garantizan la esterilidad comercial en ambas conservas de arveja, sin embargo, durante el proceso de elaboración de conservas es de vital importancia el análisis del Come Up Time o tiempo en que la autoclave alcanza la temperatura de proceso, debido a que entre más corto sea este tiempo se evitara en mayor medida el sobreprocesamiento del producto elaborado.

## REFERENCIAS

1. Featherstone S. Heat penetration determinations and thermal process calculations. In: A Complete Course in Canning and Related Processes. Elsevier Ltd; 2015; 43-58 p.
2. Garrote RL, Silva ER, Roa RD, Bertone R a. Heat transfer coefficients to canned green peas during end-over-end sterilisation. *Int J Food Sci Technol*. 2006; 41(9):1016-22.
3. Wolosiak R, Druzynska B, Piecyk M, Worobiej E, Majewska E, Lewicki PP. Influence of industrial sterilisation, freezing and steam cooking on antioxidant properties of green peas and string beans. *Int J Food Sci Technol*. 2011; 46(1): 93-100.
4. Brennan C. Complete Guide to Home Canning. National Institute of Food and Agriculture. Utah State University Extension; 1995. 1-40 p.
5. Rickman JC, Barrett DM, Bruhn CM. Nutritional comparison of fresh, frozen and canned fruits and vegetables. Part 1. Vitamins C and B and phenolic compounds. *J Sci Food Agric*. 2007; 87: 930-44.
6. Liato V, Labrie S, Benali M, Aider M. Study of the impact of a new hurdle technology composed of electro-activated solution

- and low heat treatment on the canned pea and corn quality and microbial safety. *Int J Food Sci Technol*. 2016; 51(1): 180-93.
7. Garrote RL, Silva ER, Roa RD, Bertone R a. Heat transfer coefficients to canned green peas during end-over-end sterilisation. *Int J Food Sci Technol*. 2006; 41(9): 1016-22.
  8. 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.
  9. Berk Z. Thermal processing. *Food Process Eng Technol*. 2009; 46(6): 573.
  10. Berk Z. Thermal Processes, Methods and Equipment. *Food Process Eng Technol*. 2013; 421-38.
  11. NTC 4834. Microbiología de alimentos y alimentos para animales. Método horizontal para el recuento de *Clostridium sulfito reductores* e identificación de *Clostridium perfringens* - técnicas de recuento de colonias.
  12. Miller JN, Miller JM. Estadística y quimiometría para química analítica. Editorial Prentice Hall. 2002. 296 p.
  13. Canjura FL, Watkins RH, Schwartz SJ. Color Improvement and Metallo-chlorophyll Complexes in Continuous Flow Aseptically Processed Peas. *Food Chem Toxicol*. 1999; 64(6): 987-90.

# CORRELACION DEL INDICE DE MADUREZ DE UCHUVA (*Physalis peruviana*) Y TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum*) CON LA CONCENTRACIÓN DE CAROTENOIDES

CORRELATION OF MATURITY INDEX FROM CAPE GOOSEBERRY (*Physalis peruviana*) AND TREE TOMATO (*Solanum betaceum*) WITH THE CAROTENOIDS CONCENTRATION

Yamid A. PINCHAO Ing.<sup>1\*</sup>, Oswaldo OSORIO Ph.D.<sup>2</sup>, Luis ORDOÑEZ-SANTOS Ph.D.<sup>3</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** La concentración de carotenoides está relacionado con el cambio de color y estado de madurez de los frutos, además, poseen capacidad antioxidante relacionada con la mejora en la salud. **Objetivos:** correlacionar el estado de madurez de uchuva y tomate de árbol con la concentración de carotenoides. **Métodos:** Los frutos fueron recolectados en la ciudad de Ipiales (N) y analizados en la Universidad de Nariño. Se realizaron pruebas por triplicado de acidez, sólidos solubles, medición de color por CIELab y cuantificación de carotenoides. Se estimó la concentración de  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -caroteno, licopeno y  $\beta$ -criptoxantina por medio de espectrofotometría UV-Vis usando la longitud de onda de máxima absorbancia de cada compuesto y sus respectivos coeficientes de extinción. Se aplicó regresión no lineal para correlacionar el color mediante la coordenada  $a^*$  y la concentración de carotenoides. **Resultados:** Tanto en uchuva como en tomate de árbol el carotenoide con mayor concentración fue la  $\beta$ -criptoxantina, seguida por el  $\beta$ -caroteno, el  $\alpha$ -caroteno y en menos concentración el licopeno. Así mismo, entre los dos frutos el tomate de árbol fue el que presentó mayor concentración de estos compuestos en comparación con la uchuva. Acorde a su IM en uchuva el  $\alpha$ -caroteno estuvo en el rango de 11,36 – 15,63  $\mu\text{g/g}$ ,  $\beta$ -caroteno entre 12,31 – 16,86  $\mu\text{g/g}$ , licopeno entre 8,29 – 11,22  $\mu\text{g/g}$  y  $\beta$ -criptoxantina entre 13,03 – 17,41  $\mu\text{g/g}$ , en tomate de árbol los rangos fueron  $\alpha$ -caroteno 16,52 – 29,64  $\mu\text{g/g}$ ,  $\beta$ -caroteno 16,87 – 31,04  $\mu\text{g/g}$ , licopeno 11,99 – 21,70  $\mu\text{g/g}$  y  $\beta$ -criptoxantina 17,77 – 31,00  $\mu\text{g/g}$ .

Las correlaciones entre la relación  $a^*/b^*$  y la concentración de los carotenoides tuvo buenos coeficientes de determinación estadísticamente tanto en uchuva como en tomate de árbol con valores entre 80,4 y 88,9 %. **Conclusiones:** En ambos frutos las concentraciones de los carotenoides se reflejaron en los cambios de los valores de las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . El tomate de árbol presentó mayor concentración de carotenoides que la uchuva. Las correlaciones encontradas obtuvieron coeficientes de determinación buenos.

**Palabras clave:**  $\beta$ -caroteno, licopeno,  $\beta$ -criptoxantina, color

## ABSTRACT

**Background:** The carotenoids concentration is related to the change of color and ripeness of the fruit also have antioxidant capacity related to improved health. **Objectives:** Correlating the ripeness from cape gooseberry and tree tomato with the concentration of carotenoids. **Methods:** The fruits were collected in the Ipiales city (N) and analyzed at the Nariño University. Triplicate tests of acidity, soluble solids, CIELab color measurement and quantification of carotenoids were performed. Concentration of  $\alpha$ -carotene,  $\beta$ -carotene, lycopene and  $\beta$ -cryptoxanthin was estimated by UV-Vis spectrophotometry using wavelength of maximum absorbance of each compound and their respective extinction coefficients. Nonlinear regression was used to correlate the color with  $a^*$  coordinate and the concentration of carotenoids. **Results:** Both uchuva as tree tomato carotenoid

<sup>1</sup> Investigador Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia

<sup>2</sup> Docente Investigador Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Departamento procesos industriales, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia

<sup>3</sup> Investigador, Universidad Nacional de Colombia.

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

highest concentration was the  $\beta$ -cryptoxanthin, followed by  $\beta$ -carotene,  $\alpha$ -carotene and lycopene in less concentration. Also, between the two fruit tree tomatoes presented the highest concentration of these compounds compared with cape gooseberry. According to their IM in uchuva the  $\alpha$ -carotene ranged from 11.36 to 15.63  $\mu\text{g/g}$ ,  $\beta$ -carotene between 12.31 to 16.86  $\mu\text{g/g}$ , lycopene between 8.29 to 11.22  $\mu\text{g/g}$ ,  $\beta$ -cryptoxanthin between 13.03 to 17.41  $\mu\text{g/g}$ , tree tomato ranges  $\alpha$ -carotene were 16.52 to 29.64  $\mu\text{g/g}$ ,  $\beta$ -carotene 16.87 - 31.04  $\mu\text{g/g}$ , lycopene from 11.99 to 21.70  $\mu\text{g/g}$ ,  $\beta$ -cryptoxanthin from 17.77 to 31.00  $\mu\text{g/g}$ . Correlations between  $a^*/b^*$  relation and concentration of carotenoids had good coefficients of determination statistically as both uchuva tree tomato values between 80.4 and 88,9 %.

**Conclusions:** In both fruits the concentrations carotenoids are reflected in changes of the values of the coordinates  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$ . The tree tomato had higher concentration of carotenoids than uchuva. The correlations obtained good determination coefficients.

**Keywords:**  $\beta$ -carotene, lycopene,  $\beta$ -cryptoxanthin, color

## INTRODUCCIÓN

Los carotenoides son compuestos ampliamente distribuidos en la naturaleza principalmente en frutos y hojas (1). En frutos de color amarillo, naranja y rojo los principales carotenoides que se encuentran son el  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -caroteno, licopeno, y  $\beta$ -criptoxantina (2), su ingesta en la dieta alimentaria está relacionada con la reducción en el riesgo de contraer enfermedades, debido a su capacidad antioxidante y a sus propiedades biológicas (1-3). La mayor fuente de estos compuestos son la zanahoria, tomate, naranjas, mango, papaya, melón, melocotones, ciruelas, zapallo, entre otros (1), sin embargo, es muy poca la evidencia que hay sobre el estudio de estos compuestos en frutas exóticas de la zona andina colombiana como la uchuva y el tomate de árbol.

Por su parte, la producción de uchuva en Colombia se mantuvo alrededor de las 11.000 ton entre 2010 y 2013 y de tomate de árbol paso de 120.000 a 160.000 ton entre 2010 y 2013 (4) siendo la comercialización en fresco la presentación más común (2). La uchuva suministra elementos nutricionales como minerales, complejo B, proteínas, vitamina C, y provitamina A (5), y el tomate de

árbol suministra fibra, proteína, almidón, antocianinas, azúcares neutros y aminoácidos (6) however, contains good proportions of soluble fibre, protein, starch, anthocyanins and carotenoids. Amongst the fruits, only tamarillo mesocarp contains both polar (anthocyanins additionally poseen compuestos carotenoides (1, 2).

Con respecto al color en las frutas está determinado por la presencia de diversos pigmentos tanto en el epicarpio como en el mesocarpio e incluye varios grupos de carotenoides, xantofilas y antocianinas, además de betalaínas, clorofilas, entre otros (2, 7, 8). La concentración de estos pigmentos depende del estado de madurez de la fruta y juega un papel importa en los cambios de color del fruto pasando desde el color verde hasta el color rojo, naranja y amarillo (2, 9). La medición del color mediante un colorímetro permite determinar el estado de madurez de frutas y/o vegetales (8) y puede ser expresado usando la escala de color CIELab. Este sistema mide el grado de luminosidad ( $L^*$ ), de enrojecimiento o verdor ( $+/- a^*$ ), y de amarillamiento o coloración azul ( $+/- b^*$ ) (8).

Finalmente, la identificación de carotenoides se puede realizar por espectrofotometría mediante el uso de determinadas longitudes de onda en el espectro de ultravioleta visible, donde es posible detectar la absorbancia máxima del compuesto en cuestión (10,11), así mismo, el uso del correspondiente coeficiente de extinción del carotenoide en un solvente determinado hace posible estimar la concentración en una muestra dada (1, 10). Como se mencionaron anteriormente tanto la concentración de carotenoides como los cambios de color están estrechamente relacionados entre sí y están en función del estado de madurez del fruto, por esta razón, el objetivo de esta investigación es correlacionar el estado de madurez de la uchuva y del tomate de árbol con la concentración de carotenoides.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención de las muestras

La uchuva y el tomate de árbol fueron recolectados tomando en cuenta cuatro estados de madurez visual utilizados por los productores en las veredas del Paramillo y Chaguaipe respectivamente, municipio de Ipiales (N) (2.900 msnm, 12°C). Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Investigación en Conservación y Calidad de Alimentos,

Universidad de Nariño, Torobajo, Pasto (N) (2527 msnm, 14 °C).

### Análisis de las muestras

Se tomó lectura de color del epicarpio de uchuva y de tomate de árbol mediante las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  (colorímetro Konica Minolta CM-5, D65, 10°, área de 3 y 30 mm) (8). El índice de madurez (IM) de las muestras se determinaron mediante la relación sólidos solubles: acidez titulable (7). La acidez titulable y los sólidos solubles se hicieron mediante los métodos oficiales (12, 13) respectivamente. La extracción y cuantificación de los carotenoides se realizó por el método reportado por (14). El contenido de carotenoides disueltos en hexano se realizó acorde a:  $\mu\text{g carotenoide/gpf} = (A \times V \times 10^4) / (A^{1\%}_{1\text{cm}} \times P)$ , donde, A es la absorbancia (444, 450, y 472 nm), V el volumen (mL) de la capa de hexano, P es el peso de la muestra (g), y  $A^{1\%}_{1\text{cm}}$  es el coeficiente de extinción de  $\alpha$ -caroteno (2800),  $\beta$ -caroteno (2592), licopeno (3450), y  $\beta$ -criptoxantina (2460) en hexano (1, 11).

### Análisis de datos

Todas las pruebas se realizaron por triplicado. Se calculó el coeficiente de variación del contenido de carotenoides y de los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . Se correlacionó la concentración de carotenoides con el cambio en la relación  $a^*/b^*$  mediante regresiones no lineales con el software estadístico Minitab® 17.1.0 (15).

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos para uchuva y tomate de árbol se muestran en la Tabla 1. Las correlaciones entre el cambio de color y la concentración de carotenoides se muestran en las figuras 1 y 2 respectivamente.

**Tabla 1.** IM, concentración de carotenoides y coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  del epicarpio de uchuva y tomate de árbol

Muestra	IM	$\alpha$ -caroteno	$\beta$ -caroteno	licopeno	$\beta$ -criptoxantina	$L^*$	$a^*$	$b^*$
Uchuva	7,46	11,36±0,37	12,31±0,32	8,29±0,30	13,03±0,72	66,35±0,56	12,31±0,58	47,06±0,28
	9,66	12,80±0,86	12,83±0,13	9,31±0,57	14,61±0,92	64,11±0,28	17,31±0,70	48,18±0,98
	10,69	14,43±0,48	15,67±0,41	10,59±0,19	16,46±0,40	63,52±0,23	18,85±0,24	48,37±0,52
	13,40	15,63±0,20	16,86±0,22	11,22±0,18	17,41±0,82	60,11±2,47	19,70±0,63	47,69±2,52
Tomate	4,59	16,52±0,42	16,87±0,52	11,99±0,31	17,77±0,55	46,30±4,33	17,94±5,19	26,80±4,40
	5,67	19,25±0,90	22,48±0,59	14,94±0,91	22,83±1,00	44,47±0,86	29,80±0,83	25,93±2,48
	6,76	24,88±0,90	25,82±0,91	17,45±1,07	26,80±2,33	41,15±1,94	38,52±0,95	23,64±1,18
	7,27	29,64±2,23	31,04±2,45	21,70±1,60	31,00±1,31	42,07±0,66	40,28±0,32	25,17±0,73

**Tabla 2.** Correlación entre la concentración de carotenoides y la relación  $a^*/b^*$  del epicarpio de uchuva y tomate de árbol

Muestra	Correlación	R-Sq
Uchuva	$\alpha$ -caroteno ( $\mu\text{g/g}$ ) = 17,92 - 57,95 ( $a^*/b^*$ ) + 124,9 ( $a^*/b^*$ ) <sup>2</sup>	86,3%
	$\beta$ -caroteno ( $\mu\text{g/g}$ ) = 32,27 - 143,2 ( $a^*/b^*$ ) + 254,4 ( $a^*/b^*$ ) <sup>2</sup>	84,2%
	Licopeno ( $\mu\text{g/g}$ ) = 10,89 - 27,62 ( $a^*/b^*$ ) + 67,49 ( $a^*/b^*$ ) <sup>2</sup>	81,5%
	$\beta$ -criptoxantina ( $\mu\text{g/g}$ ) = 25,52 - 95,62 ( $a^*/b^*$ ) + 183,5 ( $a^*/b^*$ ) <sup>2</sup>	88,9%
Tomate de árbol	$\alpha$ -caroteno ( $\mu\text{g/g}$ ) = 18,98 - 10,20 ( $a^*/b^*$ ) + 9,356 ( $a^*/b^*$ ) <sup>2</sup>	82,6%
	$\beta$ -caroteno ( $\mu\text{g/g}$ ) = 11,89 + 6,44 ( $a^*/b^*$ ) + 2,277 ( $a^*/b^*$ ) <sup>2</sup>	80,4%
	Licopeno ( $\mu\text{g/g}$ ) = 10,88 - 0,57 ( $a^*/b^*$ ) + 3,611 ( $a^*/b^*$ ) <sup>2</sup>	73,9%
	$\beta$ -criptoxantina ( $\mu\text{g/g}$ ) = 15,42 + 1,08 ( $a^*/b^*$ ) + 4,429 ( $a^*/b^*$ ) <sup>2</sup>	82,9%

## DISCUSIÓN

Acorde a lo expresado por (2, 9) la concentración de los carotenoides aumenta a medida que el IM tanto de la uchuva como del tomate de árbol aumento, en este sentido, para la uchuva el  $\alpha$ -caroteno paso de 11,36 hasta 15,63  $\mu\text{g/g}$ , el  $\beta$ -caroteno de 12,31 hasta 16,86  $\mu\text{g/g}$ , el licopeno de 8,29 hasta 11,22  $\mu\text{g/g}$  y la  $\beta$ -criptoxantina de 13,03 hasta 17,41  $\mu\text{g/g}$  y para tomate de árbol  $\alpha$ -caroteno paso de 16,52 hasta 29,64  $\mu\text{g/g}$ , el  $\beta$ -caroteno de 16,87 hasta 31,04  $\mu\text{g/g}$ , el licopeno de 11,99 hasta 21,70  $\mu\text{g/g}$  y la  $\beta$ -criptoxantina de 17,77 hasta 31,00  $\mu\text{g/g}$ . Los resultados encontrados en uchuva fueron muy bajos en comparación con los reportados por (5) que fueron de 10746,7  $\mu\text{g}$  de equivalentes  $\beta$ -caroteno/g de muestra, no obstante, fueron similares a los reportados por (16, 17) que fueron de 29,9 y 17,7  $\mu\text{g}$  de equivalentes  $\beta$ -caroteno/g. En cuanto a tomate de árbol los resultados encontrados fueron similares a

los reportados por (16) que fueron de 34,5 y 26,6  $\mu\text{g}$  de equivalentes  $\beta$ -caroteno/g, evaluados en tomate de árbol amarillo y rojo, también fueron similares a los reportados por (3) quien encontró 22,6 y 25,7  $\mu\text{g}$  de equivalentes  $\beta$ -caroteno/g y 13,5 y 15,8  $\mu\text{g}$  de equivalentes  $\beta$ -criptoxantina/g en tomate de árbol amarillo y rojo respectivamente. Adicionalmente, la  $\beta$ -criptoxantina fue el compuesto encontrado en mayor concentración tanto en uchuva como en tomate de árbol, confirmando lo reportado por (1) quien dice que el principal compuesto en tomate de árbol es la  $\beta$ -criptoxantina, así mismo, se puede decir que este compuesto es el que está en mayor concentración en la uchuva.

Los cambios en la concentración de carotenoides en ambos frutos estuvieron estrechamente relacionados con el cambio en las coordenada  $L^*$  y  $a^*$  que en conjunto con la coordenada  $b^*$  son las encargadas de indicar el grado de amarillamiento y rojizo en ambos frutos. El valor de  $a^*$  aumento, mientras que el valor de  $L^*$  disminuyó a medida que el IM y la concentración de carotenoides aumentaron, esto estuvo de acuerdo con lo reportado en la literatura (1, 2) donde se expresa que a medida que la clorofila desaparece (color verde) da paso a los carotenoides que son los encargados de dar color al fruto en este caso el color amarillo y naranja para uchuva y amarillo, naranja y rojo para tomate de árbol (1, 2, 8).

Tomando en cuenta que la relación  $a^*/b^*$  está relacionada con el grado de amarillamiento, naranja y rojo que son colores característicos de estos dos frutos se hizo las correlaciones entre el contenido de carotenoides y el cambio de color con respecto al IM. Todas las correlaciones tuvieron coeficientes de determinación por encima del 80 % que es el valor admisible estadísticamente para realizar predicciones (15), en este sentido, la correlación entre el licopeno y el cambio de color en tomate de árbol no se puede utilizar para estimar la concentración de este carotenoide dado que su coeficientes de determinación fue de 73,9 %. Por otra parte, las correlaciones encontradas se consideran tan solo de buen coeficiente, dado que los  $R$ -Sq están alrededor del 80 %, es decir, la concentración de carotenoides sería explicado por el modelo admitiendo un 20 % de incertidumbre en la estimación (15).

## CONCLUSIONES

Acorde al IM de uchuva y tomate de árbol se visualizó cambios de coloración reflejados en cambios de los valores de las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  y en las

concentraciones de los compuestos carotenoides. El tomate de árbol presento mayor concentración de carotenoides que la uchuva, y la  $\beta$ -criptoxantina fue el carotenoide con mayor concentración en ambos frutos. Las correlaciones encontradas no alcanzaron un coeficiente de determinación alto, no obstante, se puede realizar estimaciones con estas ecuaciones asumiendo una incertidumbre del cercana al 20 %.

## REFERENCIAS

- Rodriguez D. A Guide to Carotenoid Analysis in Foods. Life Sciences. Washington, D. C., USA: ILSI PRESS; 2001. 64 p.
- Khoo H-E, Prasad KN, Kong K-W, Jiang Y, Ismail A. Carotenoids and their isomers: Color pigments in fruits and vegetables. *Molecules*. 2011;16(2):1710-38.
- Mertz C, Gancel A-L, Gunata Z, Alter P, Dhuique-Mayer C, Vaillant F, et al. Phenolic compounds, carotenoids and antioxidant activity of three tropical fruits. *J Food Compos Anal*. 2009;22(5):381-7.
- Agronet. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. República de Colombia. Bogotá D.C [Internet]. 2013 [cited 2016 Jan 19]. Available from: <http://www.agronet.gov.co/Paginas/estadisticas.aspx>
- Briones-Labarca V, Giovagnoli-Vicuña C, Figueroa-Alvarez P, Quispe-Fuentes I, Pérez-Won M. Extraction of  $\beta$ -carotene, vitamin C and antioxidant compounds from *Physalis peruviana* (Cape Gooseberry) assisted by high hydrostatic pressure. *Food Nutr Sci*. 2013; 2013(4): 109-18.
- Gannasin SP, Adzahan NM, Hamzah MY, Mustafa S, Muhammad K. Physicochemical properties of tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) hydrocolloid fractions. *Food Chem*. Elsevier Ltd; 2015; 182: 292-301.
- Crisosto CH. Stone fruit maturity indices: a descriptive review. *Postharvest News Inf*. 1994; 5(6): 65-9.
- Padrón Pereira CA, Padrón León GM, Montes Hernández AI, Oropeza González RA. Determinación del color en epicarpio de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con sistema de visión computarizada durante la maduración. *Agron Costarric*. 2012; 36(1): 97-111.
- Franco G, Cartagena V JR, Correa L GA. Estimating fruit pulp carotenoid content from shell color in gulupa (*Passiflora edulis* Sims). *Corpoica Cienc Tecnol Agropecu*. 2013; 14(2): 199-206.
- Ordoñez-santos LE, Aguilar PH. Concentración de carotenoides totales en residuos de frutas tropicales\*. 2014; 9(1): 91-8.
- Scott KJ, Finglas PM, Scale R, Hart DJ, de Froidmont-Görtz I. Interlaboratory studies of HPLC procedures for the analysis of carotenoids in foods. *Food Chem*. 1996; 57(1): 85-90.
- Official Methods of Analysis. 16th Edition, 5th Reversion, AOAC International, Gaithersburg, MD, method 936. 1999; 16p.
- Official Methods of Analysis. 16th Edition, 5th Reversion, AOAC International, Gaithersburg, MD, method 983. 1999; 17p.
- Ordoñez-santos LE, Ledezma-Realpe DP. Lycopene Concentration and Physico-Chemical Properties of Tropical Fruits\*. 2013; 4: 758-62.
- Miller JN, Miller JM. Estadística y quimiometría para química analítica. Editorial Prentice Hall., 2002. 296 p.
- Murillo E, Meléndez-Martínez AJ, Portugal F. Screening of vegetables and fruits from Panama for rich sources of lutein and zeaxanthin. *Food Chem*. 2010; 122(1): 167-72.
- Enzina Zelada CR, Ureña MO, Repo-Carrasco R. Determinación de compuestos bioactivos del aguaymanto (*Physalis peruviana*, Linnaeus, 1753) y de su conserva en almíbar maximizando la retención de ácido ascórbico. *Rev ECIPERÚ* [Internet]. 2004 [cited 2012 Oct 18]; 1(1): 6-10. Available from: [http://guzlop-editoras.com/web\\_des/bio01/pld0292pdf.pdf](http://guzlop-editoras.com/web_des/bio01/pld0292pdf.pdf) p.

# MODELAMIENTO DE LA CINÉTICA DE HIDRÓLISIS DE LAS PROTEÍNAS DEL PLASMA SANGUÍNEO BOVINO CON ENDOPROTEASA ALCALINA BACTERIANA

MODELING OF THE HYDROLYSIS KINETICS OF THE PROTEINS FROM BOVINE BLOOD PLASMA USING BACTERIAL ALKALINE ENDOPROTEASE

Pedro J. BARRAGÁN Ph.D.(c)<sup>1</sup>, Óscar J. SÁNCHEZ Ph.D.<sup>2\*</sup>, Sandra MONTOYA Ph.D.<sup>3</sup>.

## RESUMEN

**Antecedentes:** El plasma sanguíneo bovino es un residuo de centrales de sacrificio que causa un impacto ambiental negativo cuando es vertido en cuerpos de agua naturales; sin embargo tiene potenciales aplicaciones biotecnológicas como fuente de nitrógeno en cultivos microbianos. La hidrólisis enzimática de las proteínas del plasma utilizando endoproteasas conduce a la producción de péptidos de diferentes tamaños con varias aplicaciones en la industria. Si bien se han realizado estudios sobre la hidrólisis de plasma bovino diluido, no se ha reportado en la literatura disponible el modelamiento de la cinética cuando se emplea el plasma con altas concentraciones de proteínas. **Objetivo:** El objetivo de este trabajo fue modelar matemáticamente la cinética de la reacción de hidrólisis del plasma sanguíneo bovino con elevados contenidos de proteína. **Métodos:** Se utilizó como sustrato el plasma deshidratado con diferentes contenidos proteicos (entre 36 y 73 g/L); la concentración de proteína se determinó por el método de Biuret. Para su hidrólisis se utilizó Alcalasa 2,4L FG<sup>®</sup>. La reacción se llevó a cabo durante una hora en biorreactor de vidrio de 2 L a pH alcalino. Se calculó el grado de hidrólisis por el método de pH-estado empleando un titulador automático; para el modelamiento se utilizó la función `lsqcurvefit` de Matlab versión R2015b. **Resultados:** El máximo grado de hidrólisis alcanzado fue de 17,4% para plasma con 36 g/L de proteína y una dosis de 0,10 g Alcalasa/g de proteína. El modelo planteado describió adecuadamente el comportamiento de los datos experimentales

obtenidos. **Conclusiones:** El modelo matemático propuesto demostró ser una potente herramienta para estimar el grado de hidrólisis en función del tiempo para el plasma con alta concentración de proteína. Estos resultados son de gran utilidad al momento de diseñar procesos de aprovechamiento de la sangre bovina, en particular, la utilización del plasma con proteína hidrolizada como fuente de nitrógeno para fermentaciones industriales.

**Palabras clave:** Plasma sanguíneo bovino, endoproteasa alcalina, hidrólisis enzimática, cinética, grado de hidrólisis.

## ABSTRACT

**Background:** Bovine blood plasma is a waste from slaughterhouses, which causes a negative environmental impact when it is discharged into natural water streams. However, the plasma has potential biotechnological applications as a nitrogen source for microbial cultures. The enzymatic hydrolysis of plasma proteins using endoproteases leads to the production of peptides of different sizes with several industrial applications. Although some research efforts on the hydrolysis of dilute plasma have been done, the modeling of the kinetics when using plasma with high protein concentration has not been reported in the available literature. **Methods:** Dried plasma was used as substrate with different protein content (between 36 and 73 g/L). Protein concentration was determined by the Biuret's method. For its hydrolysis, Alcalase 2,4L FG<sup>®</sup> was used. The reaction was accomplished during one hour in a 2-L glass bioreactor at alka-

<sup>1</sup> Profesor Asociado, Integrante Grupo de Investigación en Alimentos y Agroindustria, Departamento de Ingeniería, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

<sup>2</sup> Profesor Asociado, Director Grupo de Investigación en Alimentos y Agroindustria, Departamento de Ingeniería, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

<sup>3</sup> Profesora Asociada, Integrante Grupo de Investigación en Alimentos y Agroindustria, Departamento de Ingeniería, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

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

line pH. The degree of hydrolysis was calculated by the pH-stat method employing an automatic titrator. For modeling, the `lsqcurvefit` function of Matlab version R2015b was applied. **Results:** The maximum degree of hydrolysis (17.4%) was reached for the plasma with 36 g/L protein and an enzyme dosage of 0.10 g Alcalase/g protein. The proposed model appropriately described the behavior of the experimental data obtained. **Conclusions:** The proposed mathematical model demonstrated to be a powerful tool to estimate the degree of hydrolysis for the plasma with high protein concentration. These results are very useful when designing processes for the utilization of bovine blood, particularly, by using plasma with hydrolyzed protein as a nitrogen source for industrial fermentations.

**Keywords:** Bovine blood plasma, alkaline endoprotease, enzymatic hydrolysis, kinetics, degree of hydrolysis.

## INTRODUCCIÓN

La sangre bovina es un subproducto de la industria cárnica con un importante valor biológico representado en su contenido de proteínas. En particular, el uso de la fracción plasmática (sangre sin la fracción corpuscular) se ha extendido en alimentación humana y animal para la formulación de embutidos, pudines, panes, galletas y bebidas refrescantes, entre otros (1-3). También se ha utilizado en la preparación de medios para el crecimiento de cultivos iniciadores homolácticos y producción de probióticos (4, 5), pero esta alternativa industrial ha sido poco explorada en la industria alimentaria. Para el aprovechamiento de este residuo, la hidrólisis enzimática parcial de sus proteínas tiene un gran potencial en la preparación de medios de cultivo a base de plasma. Debido al uso potencial del plasma, existe hoy en día gran interés por modelar el comportamiento de sistemas que involucran reacciones de hidrólisis enzimática con el fin de dimensionar equipos industriales, pronosticar comportamientos dinámicos, controlar tiempos de proceso y otras variables cinéticas para su aprovechamiento (1, 6). El objetivo de este trabajo fue realizar un estudio cinético de la hidrólisis enzimática de soluciones de proteínas del plasma sanguíneo bovino (PSB), con diferente contenido de proteína y dosis de enzima. Si bien se han reportado estudios sobre la hidrólisis de plasma bovino diluido (1, 5), no se ha encontrado en la literatura disponible el modelamiento de la cinética cuando se emplea el plasma con altas con-

centraciones de proteínas. Esta condición es crucial al momento de plantear el aprovechamiento del plasma como fuente de nitrógeno en fermentaciones industriales, especialmente en cultivos lácticos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El plasma sanguíneo bovino fue suministrado por la empresa Frigodán Ltda. de la ciudad de Bogotá, que tiene una presentación en polvo de partícula fina con un contenido proteico mayor al 70% (p/p). Se realizó la determinación de proteína del concentrado en polvo de PSB suministrado y de los preparados proteicos elaborados por el método de Biuret (1940). Para la hidrólisis de proteínas se utilizó una serina endoproteasa, la subtilisina A (EC 3.4.21.62), enzima bacteriana denominada comercialmente como Alcalasa 2.4 L FG® (Novozymes, Dinamarca) grado alimenticio con una actividad específica declarada de 2,4 AU/g. Las condiciones de reacción se definieron de acuerdo a las recomendaciones del fabricante: temperatura de 61°C y un pH de 8,5. El estudio cinético de la hidrólisis enzimática de las proteínas del PSB fue llevado a cabo en un reactor de vidrio de 2 L con camisa de recirculación de agua. Para el control y registro del pH se utilizó titulador automático con agitador magnético TL7000 (SI Analytic, Alemania) con electrodo combinado de vidrio; el titulador automático empujó una solución estandarizada de NaOH al 1,5304 N con agitación constante. Para el control y registro de la temperatura, el titulador se acopló a un baño termostático RE 420S (Lauda, Alemania).

El contenido de proteína del PSB se varió a través de la preparación de soluciones con 36, 53 y 73 g/L. Para la reacción hidrolítica se utilizaron dosis de enzima de 0,05, 0,06 y 0,10 g/g de proteína para un total de seis ensayos de hidrólisis (ver Tabla 1). Cada ensayo se realizó por duplicado y tuvo una duración de una hora con registros de grado de hidrólisis cada 5 min. Para suspender la reacción hidrolítica se calentó el hidrolizado hasta 90°C, inactivando así la enzima. Para el seguimiento y control de la hidrólisis se recurrió a la determinación del grado de hidrólisis (GH), el cual representa la porción de enlaces peptídicos hidrolizados ( $h$ ) sobre el número total de enlaces ( $h_{tot}$ ). El GH se calculó con base en la ecuación 1:

$$GH = \left( \frac{h}{h_{tot}} \right) * 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde  $h$  es el número de enlaces peptídicos hidrolizados y  $h_{tot}$  el número total de enlaces peptídicos presentes en la proteína nativa;  $h$  y  $h_{tot}$  se expresan en meq/g. En la literatura aparece reportado para proteínas de la sangre un valor de  $h_{tot}=8,3$  meq/g (7). El método seleccionado para calcular el GH fue el de valoración del protón o método de pH-estato (8, 9). Este método consiste en mantener constante el pH del medio de reacción con adición de una solución básica (hidróxido de sodio 0,1 N); a medida que la hidrólisis avanza en medio alcalino, el grupo carboxilo terminal se disocia por completo y los protones formados se reparten de acuerdo con el equilibrio de protonación de los grupos  $\alpha$ -amino liberados. La base agregada para mantener constante el pH neutraliza únicamente los protones que son sustituidos por el catión de la base (1, 9). Considerando lo anterior, el GH se calculó con la ecuación 2:

$$\%GH = \frac{B \cdot N_B}{\alpha \cdot h_{tot} \cdot MP} \cdot 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde  $B$  es el volumen (mL) de base consumida,  $N_B$  es la normalidad de la base (meq/L),  $\alpha$  es el grado de disociación de los grupos  $\alpha$ -NH<sub>2</sub> y  $MP$  es la masa de proteína (g). El grado de disociación se puede hallar por la ecuación 3:

$$\alpha = \frac{10^{ph-pk}}{1 + 10^{ph-pk}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Para calcular el  $pK$  a la temperatura de estudio se utilizó la ecuación 4 (10):

$$pK = 7,8 + \frac{298-T}{298 \cdot T} \cdot 2400 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Para el modelamiento de la cinética se utilizó un modelo matemático basado en el mecanismo de acción enzimática (1, 11), que establece una relación exponencial entre la velocidad de la reacción, la concentración inicial de sustrato (proteínas en el PSB)

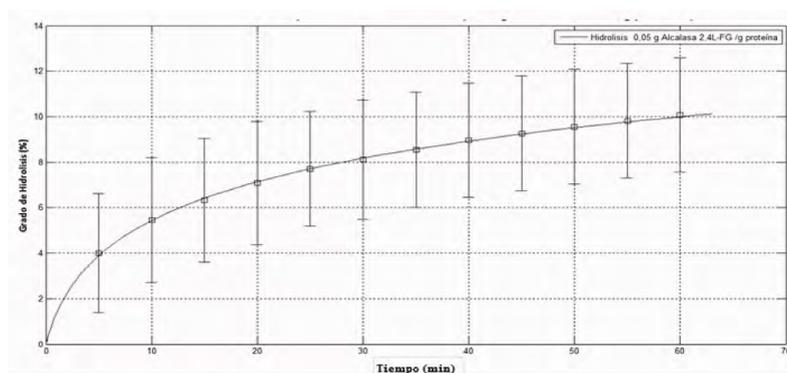
y de enzima (Alcalasa) con dos parámetros de ajuste  $a$  y  $b$  como se aprecia en la ecuación 5 diferencial:

$$\frac{d(GH)}{dt} = a \exp[-b(GH)] \quad (\text{Ecuación 5})$$

A fin de determinar los parámetros de este modelo, se utilizó la función `lsqcurvefit` de Matlab versión R2015b, la cual resuelve problemas de ajuste de datos de ecuaciones no lineales.

## RESULTADOS

En la figura 1 se presenta la curva del grado de hidrólisis alcanzado en función del tiempo durante la reacción de una solución de plasma con 73 g/L de proteína y la enzima Alcalasa con una dosificación de 0,05 g/g de proteína (por razones de espacio no se presentan todas las gráficas correspondientes a los seis ensayos realizados con la desviación estándar de cada punto cinético). Precisamente, esta solución de plasma (ver Tabla 1) es la que coincide con la concentración promedio del plasma fresco entero recién separado de su fracción corpuscular. En el caso de los tres preparados proteicos de 36 g/L de proteína (ensayos 1 al 3), con dosis progresivas de enzima, se observa un aumento del GH reflejándose una relación de proporcionalidad (ver Tabla 1). En contraste, con aumentos progresivos de la concentración de proteína en los preparados de PSB a una misma dosis de enzima, el GH se reduce estableciéndose una relación inversamente proporcional. Este comportamiento, sin embargo, no es igual en el caso de los preparados proteicos correspondientes a los ensayos 2 y 4. El mayor grado de hidrólisis alcanzado al final del proceso (17,4%) correspondió al ensayo 3, en donde la concentración inicial de proteína fue de 36 g/L con una dosis de Alcalasa de 0,10 g/g de proteína (Ver figura 2).



**Figura 1.** Perfil del grado de hidrólisis con el tiempo con una concentración inicial de proteína de 73 g/L y dosis de Alcalasa de 0,05 g/g de proteína. La curva continua fue calculada por el modelo matemático utilizado.

## DISCUSIÓN

Se observa, al inicio de la reacción, un aumento del GH en el tiempo con una estabilización posterior al final del proceso. En las figuras presentadas se observan también los resultados del modelo matemático aplicado representado por las ecuaciones (2) a (5). Evidentemente, la curva calculada empleando el modelo presenta un muy buen ajuste frente a los datos experimentales (marcadores en las figuras). Reflejando la importancia que tiene el manejo de la relación enzima-sustrato en la reacción hidrolítica para la obtención de GH que conduzcan a fragmentos de péptidos de interés. En general, los grados de hidrólisis alcanzados en este trabajo son mayores que los GH reportados para soluciones de PSB de menor concentración proteica y están en un rango entre 10,0% y 17,4%. Por ejemplo, el GH obtenido en el trabajo (1) utilizando el mismo montaje experimental para una concentración inicial de proteína de PSB de 4 g/L (una concentración significativamente inferior a las utilizadas en este estudio) con una dosis de Alcalasa de 0,389 AU/L, fue del 13,3%. Estos resultados indican que el efecto de inhibición por sustrato no es tan marcado como se indica en la literatura disponible.

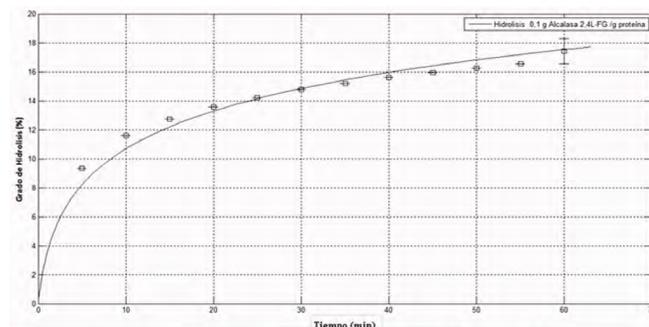
**Tabla 1.** Grado de hidrólisis para diferentes concentraciones proteicas del plasma sanguíneo bovino y dosis de enzima.

Ensayo	Concentración de proteína (g/L)	Dosis de enzima (g de Alcalasa/g de proteína)	Grado de hidrólisis (%)
1	36	0,05	12,66
2	36	0,06	13,35
3	36	0,10	17,41
4	53	0,06	15,11
5	53	0,10	16,59
6	73	0,05	10,08

## CONCLUSIONES

Los niveles del grado de hidrólisis de las proteínas del PSB alcanzados son comparativamente más altos que los encontrados para soluciones de plasma con menos contenido proteico, lo que implica un gran potencial en el aprovechamiento de los péptidos formados como fuente de nitrógeno para medios nutritivos de fermentación. En este estudio se encontró que el modelo matemático propuesto puede ser usado para estimar el GH en el tiempo

en el caso de preparados proteicos del plasma bovino sanguíneo de alta concentración usando una proteasa alcalina comercial. Estos hidrolizados proteicos tienen el potencial de tener niveles altos de nitrógeno asimilable (particularmente grupos  $-NH_2$  terminales de los péptidos formados). La predicción del comportamiento de la hidrólisis enzimática con modelos matemáticos, es crucial para el diseño de nuevo medios de cultivo de bajo costo para fermentaciones industriales como los basados en plasma sanguíneo.



**Figura 2.** Perfil del grado de hidrólisis con el tiempo con una concentración inicial de proteína de 36 g/L y dosis de Alcalasa de 0,10 g/g de proteína. La curva continua fue calculada por el modelo matemático utilizado.

En general, la hidrólisis con enzimas microbianas puede aplicarse también de manera exitosa en el aprovechamiento de otros residuos con altas concentraciones de proteína diferentes al plasma bovino como residuos del procesamiento de pescado, vísceras residuales del beneficio de aves y suero de leche, entre otros.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías por la financiación del presente trabajo, así como a la Unidad Tecnológica de Alimentos de la Universidad de Caldas por el apoyo recibido.

## REFERENCIAS

1. Figueroa OA, Zapata JÉ, Gutiérrez GA. Modelamiento de la Cinética de Hidrólisis Enzimática de Proteínas del Plasma Bovino. Rev EIA Esc Ing Antioq. 2012; 17: 71-84.
2. Rodas González A, Leal M, Arias de Muñoz B, Huerta Leidenz N, Márquez Salas EJ. Adición de plasma y paquete globular en la formulación de jamones cocidos. Revista Científica. 1998; 8(001).
3. Montero PM, Durán M, Marrugo Y. Estimación de la digestibilidad *in vitro* de una bebida refrescante adicionada con proteína plasmática. Vitae. 2012; 19(1): S300-S2.

4. Stherland AD, Salas EM, Ferrer A, de Fernández GP. Preparación de cultivos iniciadores homolácticos para ser utilizados en la fermentación de productos carnicos. *Revista Científica*. 1992; 2(2).
5. Hyun CK, Shin HK. Utilization of Bovine Blood Plasma Obtained from a Slaughterhouse for Economic Production of Probiotics. *Journal of Fermentation and Bioengineering*. 1998; 86(1): 34-7.
6. Arantes GM. Uma perspectiva computacional sobre catálise enzimática. *Química Nova*. 2008; 31(2): 377-83.
7. Adler-Nissen J. *Enzymic hydrolysis of food proteins*: Elsevier Applied Science Publishers; 1986.
8. Benítez R, Ibarz A, Pagan J. Hidrolizados de proteína: procesos y aplicaciones. *Acta bioquímica clínica latinoamericana*. 2008; 42(2): 227-36.
9. Guadix A, Camacho F, Bravo V, Guadix A. Producción en reactores de membrana de hidrolizados enzimáticos de proteínas lácteas para nutrición enteral. Universidad de Granada (en línea). 2002.
10. Steinhardt J, Beychok S. Interaction of proteins with hydrogen ions and other small ions and molecules. *The proteins*. 1964; 2: 139-304.
11. González Tello P, Camacho F, Jurado E, Paez M, Guadix EM. Enzymatic hydrolysis of whey proteins: I. Kinetic models. *Biotechnology and Bioengineering*. 1994; 44(4): 523-8.

# BEBIDA DE CAFÉ POR EL MÉTODO DE GOTEO (MÉTODO AMERICANO)

COFFEE BEVERAGE BY DRIP METHOD (AMERICAN METHOD)

Julián David LARGO JARAMILLO, Ing.<sup>1</sup> Félix Octavio DÍAZ ARANGO Msc.<sup>2</sup> Luis Fernando MEJÍA GUTIÉRREZ. Msc.<sup>3\*</sup>

## RESUMEN.

Uno de los métodos más utilizados para la preparación de la bebida de café es el método de goteo. **Antecedentes:** En este estudio se analizó el comportamiento de las diferentes etapas de la extracción de los sólidos solubles de una bebida de café americano preparado en una cafetera institucional a partir de café excelso proveniente del Departamento de caldas (Colombia), previamente tostado y molido. Se examinaron sensorialmente las diferentes extracciones con el fin de determinar los tiempos en los cuales se obtienen los sabores más aromáticos y aquellos que no son aptos en taza, con el fin de brindar una posible forma de preparar la bebida de café identificando los puntos críticos de los sabores a medida que va ocurriendo la lixiviación. **Objetivos.** analizar el comportamiento de las diferentes etapas de la extracción de los sólidos solubles de café en la preparación de bebida de café por el método americano y su comportamiento en lixiviación. **Metodos:** El trabajo se realizó en el laboratorio de café, de la Universidad de Caldas. Se utilizó café pergamino proveniente de la finca La Linda, vereda El Alto Tablazo (Caldas), que posteriormente se trilló obteniéndose el café excelso, se determinó la granulometría, se tostó y molió. Se preparó una bebida de café por el método Americano que posteriormente se le evaluó el rendimiento por medio de los sólidos solubles y su lixiviación. La bebida se caracterizó sensorialmente utilizando una evaluación por medio de una prueba de perfil de sabor QDA (*Análisis Sensorial Cuantitativo Descriptivo*). **Resultados:** Los resultados obtenidos muestran los

momentos y las cantidades de sólidos solubles de la bebida durante su lixiviación. **Conclusiones.** Los sólidos solubles y la velocidad del flujo molar que se obtienen al preparar café por el método americano se ven influenciados por el tiempo de extracción, variando con la temperatura a medida que la lixiviación va ocurriendo.

**Palabras clave:** Café, sensorial, extracción, bebida, cafeína.

## ABSTRACT.

One method used mainly for the preparation of the coffee beverage is the drip method. **Background:** In this study the behavior of the different stages of the extraction of soluble solids from a drink American coffee prepared in an institutional coffee to coffee from exalted birth of the department of Caldas (Colombia) previously roasted and ground are analyzed. Extractions different sensory examined in order to determine the time in which the aromatic flavors are obtained and those who do not fit in cup, in order to provide a possible way of preparing the coffee beverage identifying the critical points of the flavors as is happening leaching. **Objectives** To analyze the behavior of the different stages of the extraction of soluble coffee solids in the coffee brewing by the American method and leaching behavior. **Methods:** The study was conducted in the laboratory of coffee, of the University of Caldas. Parchment coffee from farm he used the town of El Alto Tablazo Linda (Caldas), later obtaining the sublime coffee threshing, the grain size was determined, he was roasted and ground.

<sup>1</sup> Programa de Ingeniería de Alimentos, Universidad de Caldas, Manizales, Caldas, Colombia.

<sup>2</sup> Gerencia de programas sanitarios en Inocuidad, docente asociado Universidad de Caldas, Manizales, Caldas, Colombia.

<sup>3</sup> Ciencia y Tecnología de Alimentos docente asociado Universidad de Caldas, Manizales, Caldas, Colombia.

\* Autor a quien debe dirigirse la correspondencia: julik111@hotmail.com

A coffee beverage by the American method is subsequently evaluated performance by soluble solids and leaching prepared. The drink was characterized using sensory evaluated by a test flavor profile QDA (Quantitative Descriptive Sensory Analysis).

**Results:** The results show the times and amounts of soluble solids drink during leaching. **Conclusions:** Soluble solids and molar flow velocity obtained when preparing coffee by American method are influenced by the extraction time, varying with temperature as the leaching is happening.

**Keywords:** Coffee, sensorial, extraction, beverage, caffeine.

## INTRODUCCIÓN

El café es conocido y utilizado desde la antigüedad como una bebida aromática y estimulante, con excelentes características sensoriales. (2). Existen dos bebidas de café: el expreso y el americano. El proceso de extracción consiste en tomar el café tostado y molido, agregarle agua caliente obteniéndose una bebida de determinada concentración y la borra o cuncho.

En la actualidad hay gran variedad de métodos para la preparación de la bebida de café. Uno de ellos es el método americano (o de goteo) que se vale normalmente de una cafetera a la cual se le coloca un papel filtro, generalmente de papel, en el recipiente que recibe el agua caliente, se le coloca entre 7 gramos por cada 75 ml de agua a 90°C y 100°C a través del café molido (3). Esta investigación tuvo como propósito analizar el comportamiento de las diferentes etapas de la extracción de los sólidos solubles de café en la preparación de bebida por el método Americano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el laboratorio de café adscrito a la facultad de ingeniería de la Universidad de Caldas. Se utilizaron 5 kilos de café pergamino variedad castillo, procedente de la finca La Linda vereda El Alto Tablazo, municipio de Manizales (Caldas) ubicada a una altura promedio de 1.700 metros sobre el nivel del mar, con una humedad relativa aproximadamente del 70% (HR). El proceso de trilla se realizó en una trilladora marca magra modelo CR-2000 con capacidad de 180 kilogramos por hora, al material

trillado se le retiró la pasilla y los granos defectuosos (mordido, manchado, etc.). Posteriormente se tamizó según la NTC 5248 (7), se utilizó el café retenido por encima de la malla número 14 según indica la resolución número 5 del 2002. (1) para café excelso. La humedad de los granos verdes se determinó según protocolo de la Norma Técnica Colombiana NTC-2325 (8), en una estufa marca Dies modelo TH115FM, la densidad por caída libre según NTC-4607 (9). El proceso de tostión se realizó en un tostador marca Quantik modelo TC-150 A/R, a 180°C de temperatura según NTC-2442 (11); el café tostado se molió en un molino Grind Master modelo 810 a molienda media según NTC 3534 (6). Se verificó el tamaño de partícula por medio de la serie Tayler según norma técnica colombiana NTC-2441 (10). Se determinó la refractancia con un colorímetro digital (IR-800, Quantik,). La bebida se preparó en una cafetera de goteo institucional marca burn, utilizando 70 gramos de café tostado y molido por litro de agua a 80 °C y se recolectó cada 30 segundos a 62°C. Posteriormente se realizó el análisis de sólidos solubles a la bebida obtenida según la norma técnica colombiana NTC 4602 -1(5). Las bebidas se evaluaron sensorialmente por tres catadores expertos medio de una prueba de perfil de sabor QDA (*Análisis Sensorial Cuantitativo Descriptivo*) evaluándose los siguientes atributos: fragancia, aroma, acidez, amargo, astringencia, cuerpo e impresión global según la NTC-4883 (12).

## RESULTADOS

### Materia prima

La humedad media del café excelso obtenido fue de 8.95%, la densidad obtenida fue de 1,034 gr/ml, la tostión obtenida fue calificada como media, el tamaño promedio de partícula con 50% de retención fue 721,69  $\mu\text{m}$ , (media-gruesa), el parámetro  $L^*$  promedio obtenido para el grano tostado y molido fue de 200L que se refiere a la luminosidad reportada por el colorímetro dando como resultado una tostión media (13).

### Bebida

Los resultados de sólidos solubles en la bebida a través del tiempo y el rendimiento se reportan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Sólidos solubles de la bebida obtenida.

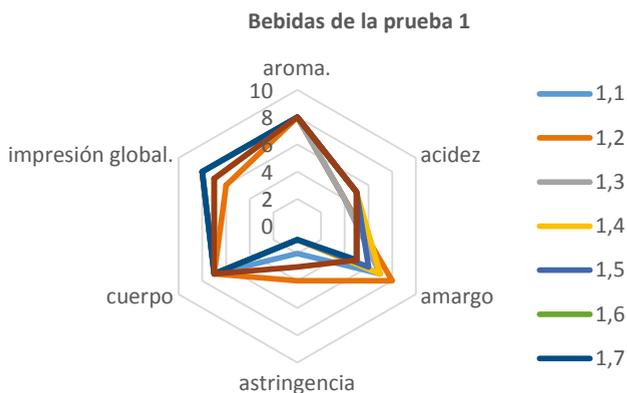
T (s)	°Brix *			Peso bebida (g).			Flux N <sub>A</sub> . kmol/m <sup>2</sup> s		
	B.1	B.2	B.3	B.1	B.2	B.3	B.1	B.2	B.3
30	3,8	5,4	2,7	166,2	180,7	192,3	6,90x10 <sup>-5</sup>	1,06x10 <sup>-4</sup>	5,67x10 <sup>-5</sup>
60	2,5	2,6	3,7	186,1	200,7	128,2	2,54x10 <sup>-5</sup>	2,85x10 <sup>-5</sup>	2,59x10 <sup>-5</sup>
90	1,3	0,9	1,3	170,7	185,3	177	8,09x10 <sup>-6</sup>	6,07x10 <sup>-6</sup>	8,38x10 <sup>-6</sup>
120	1,3	0,7	0,7	124,9	139,4	127,6	4,43x10 <sup>-6</sup>	2,66x10 <sup>-6</sup>	2,44x10 <sup>-6</sup>
150	1,2	0,6	0,7	82,7	97,2	108,5	2,17x10 <sup>-6</sup>	1,27x10 <sup>-6</sup>	1,66x10 <sup>-6</sup>
180	1,3	0,6	0,6	66,4	81	87,8	1,57x10 <sup>-6</sup>	8,85x10 <sup>-6</sup>	9,59x10 <sup>-7</sup>
210	1,1		0,6	48,7		43,9	8,36x10 <sup>-7</sup>		4,11x10 <sup>-7</sup>
240	1			24,2			3,30x10 <sup>-7</sup>		

B.1: bebida 1; B.2: bebida 2; B.3: bebida 3. °Brix\*: % solidos solubles.

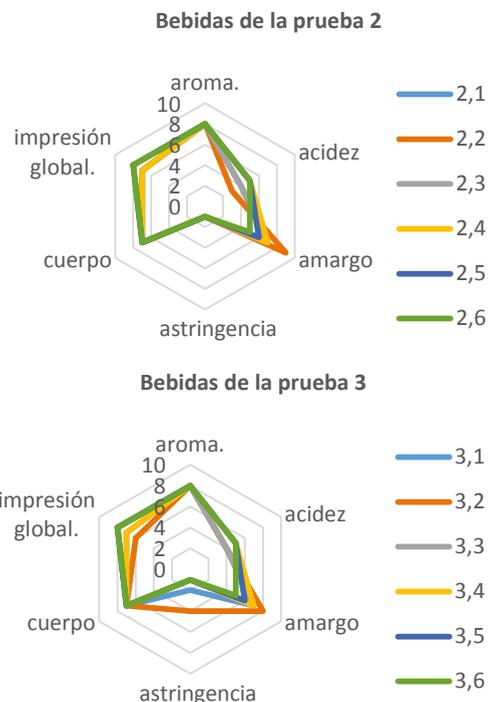
**Tabla 2.** Rendimiento de la bebida obtenida.

Peso cajas de Petri (gr).			Peso de Petri seco con muestra (gr).			% Sólidos solubles.			% Rendimiento.		
B.1	B.2	B.3	B.1	B.2	B.3	B.1	B.2	B.3	B.1	B.2	B.3
49,94	45,93	37,33	50,3	46,4	37,63	3,7	4,4	3	8,78	11,3	8,24
43,74	43,85	39,22	43,9	44,1	39,53	2,1	2	3,1	5,58	5,73	5,68
50,03	37,17	46,25	50,1	37,2	46,37	1	0,5	1,2	2,43	1,3	3,03
47,58	49,31	38,52	47,7	49,3	38,60	1	0,4	0,8	1,78	0,7	1,46
36,08	45,5	37,25	36,2	45,5	37,34	1,1	0,1	0,9	1,18	0,14	1,39
34,39	38,1	43,42	34,4	38,2	43,49	0,2	0,7	0,7	0,19	0,81	0,88
46,25		40,33	46,4		40,38	1,5		0,5	1,04		0,31
34,64			34,8			1,2			0,41		

El análisis sensorial para los atributos de aroma, acidez, amargo, astringencia, cuerpo e impresión global para las bebidas obtenidas cada 30 segundos, arrojó los resultados medios reportados en las figuras 1 y 2.



**Figura 1.** Análisis de estrella para la primera prueba de bebida.



**Figura 2.** Análisis de estrella para las prueba de tasa bebida para (B.2) y (B.3).

## DISCUSIÓN

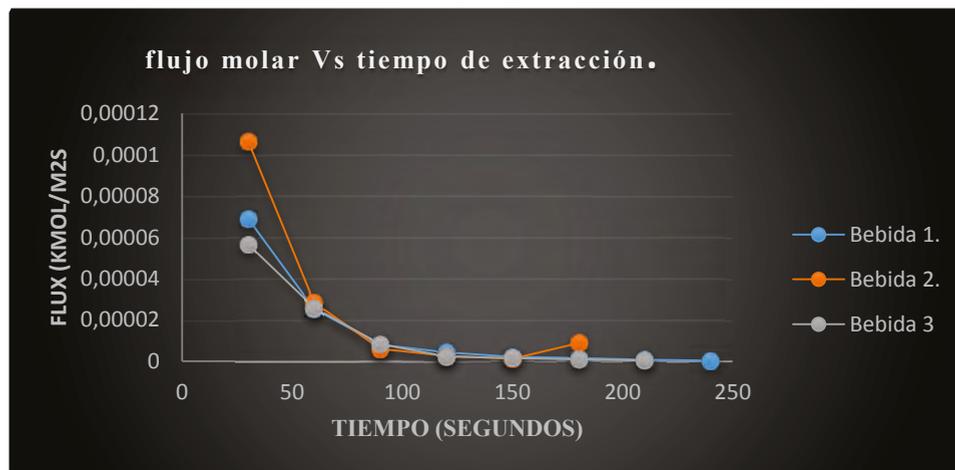
El flujo de extracción determinado según la ecuación  $N_A = \frac{\text{volumen}}{A (\text{tiempo})}$ , tomando el grano como una semiesfera reporta un valor promedio de  $6,905 \times 10^{-5}$  kmol/m<sup>2</sup>s, el comportamiento en el tiempo se reporta en la figura 1.

### Flux del componente mayoritario en los sólidos solubles (cafeína)

En los sólidos solubles que se extraen en la bebida de café el componente mayoritario es la cafeína, con una composición promedio en una taza de café 75 cm<sup>3</sup> de (agua 98,75%, ácido clorogénico 100 mg, ácido quínico 40 mg, ácido cítrico 60 mg, ácido acé-

tico 35 mg, ácido málico 20 mg, ácido fosfórico 15 mg, ácido láctico 10 mg, ácido nicotínico 1 mg, otros ácidos 30 mg, cafeína 90 mg, azúcares reductores 19 mg, polisacáridos 236 mg, melanoidinas 272,8 mg, péptidos 75 mg, lípidos 1 mg, potasio 105 mg, otros minerales 140 mg, volátiles de olor dulce, tostado, frutal, ahumado a especie 0,2 mg) (14). Con un peso molecular promedio de 194,19g/mol. Así se calcula matemáticamente el comportamiento de la extracción con el flux de la cafeína.

La velocidad del flujo molar de sólidos en la bebida presenta un procedimiento decreciente con en el tiempo, esto puede atribuirse a la evolución de temperatura en el grano dando un comportamiento transitorio. Figura 3.



**Figura 3.** Comportamiento en el tiempo del flujo de extracción.

Teniendo en cuenta algunas investigaciones como la que se realizó en Cenicafé sobre la Caracterización del rendimiento de extracción y del contenido de sólidos solubles de la bebida de café (13), se puede señalar que en una molienda gruesa (al estar en un rango de 701  $\mu\text{m}$  a 900  $\mu\text{m}$ ) tostión media y en extracción normal que es consecuente a la presente investigación, los rendimientos que se muestran y que se lograron en dicho trabajo son de 13,54% y unos sólidos solubles de 1,1%. Analizando los datos obtenidos (tabla 1 y 2) se logra un rendimiento máximo en la bebida 2 de 11,3% y unos sólidos solubles máximos de 4,4% en la misma bebida para el primer tiempo. Esto muestra que el rendimiento no es cercano al reportador por varios autores (13). Lo anterior se podría reflejar en el control adecuado de la temperatura, teniendo en cuenta la cantidad de sólidos solubles, la cantidad

de estos evidencia un gran aumento en los primeros tiempos de la preparación de la bebida mostrando así que la velocidad de la extracción de estos sólidos solubles es importante para bebidas concentradas.

Examinando el comportamiento de las gráficas de estrella (Figura 2 y 3) que se realizaron de acuerdo a los resultados proporcionados por los catadores se observa que la última parte de la extracción tiende a estar más equilibrada en aroma, cuerpo e impresión global. Es importante destacar que en la segunda extracción se obtiene como lo muestran las gráficas un sabor amargo, por tanto, con en esta información se podría señalar que en la primera extracción se puede obtener una bebida muy equilibrada y con una buena concentración, omitiendo las seguidas extracciones donde pueden estar presentes sabores muy fuertes y poco agradables para muchos consumidores.

## CONCLUSIONES.

Las cantidades de sólidos solubles y la velocidad del flujo molar en la preparación de la bebida por el método Americano dependerán de la temperatura.

En la salida de la primera prueba se registra una temperatura de 58°C, en la segunda prueba se registra una temperatura de 62°C y en la tercera una temperatura de 57°C. Por tanto si se lleva el agua a su temperatura máxima y se toma la bebida de los primeros 30 segundos se pueden captar muchos sabores propios del café.

En la elaboración de la bebida de café por el método de goteo se llega a una apreciación de las diferentes cantidades de sólidos solubles que se obtienen de acuerdo al tiempo de extracción, esto nos ayuda a identificar los diferentes sabores mayoritarios que se van dando a medida que la lixiviación va sucediendo.

Es importante destacar que estas pruebas podrán servir de apoyo para diferentes formas de preparación y de obtención de bebidas con el método de goteo.

## REFERENCIAS

1. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia 2002, (FNCC 2002). Resolución 5 del 2002.
2. Cortez C. Definición de parámetros de calidad del café de algarroba para la elaboración de una norma técnica. 2010. Tesis. Perú. Repositorio institucional Pirhura – Universidad de piura.
3. García F, Gil Muela M, Ortiz P. Hostelería y turismo, bebidas. Editorial, Tomsom paraninfo.
4. Medina Almeida J, Riaño Luna C. E. 2006. Evaluación del rendimiento de extracción de algunas cafeteras. *Cenicafé* 57(1):31-36.
5. Norma Técnica Colombiana NTC 4602-1: 1999. Determinación del rendimiento de la extracción y de los sólidos solubles de la bebida de café parte 1. Método por goteo directo. INCONTEC.
6. Norma Técnica Colombiana NTC 3534: 2007. Café tostado, en grano o molido. INCONTEC.
7. Norma Técnica Colombiana NTC 5248: 2013. Café verde. Análisis del tamaño. Tamizado manual y mecánico. INCONTEC.
8. Norma Técnica Colombiana NTC 2325: 2005. Café verde. Determinación de la pérdida de masa a 105°C. INCONTEC.
9. Norma Técnica Colombiana NTC 4607: 1999. Café verde y tostado. Determinación de la densidad a granel por caída libre de los granos enteros (método de rutina). INCONTEC.
10. Norma Técnica Colombiana NTC 2441: 2011. Café tostado y molido. Método para la determinación de tamaño de partícula por distribución granulométrica. INCONTEC.
11. Norma Técnica Colombiana NTC 2442: 2004. Café tostado en grano y/o molido. Determinación del grado de tosti6n. INCONTEC.
12. Norma Técnica Colombiana NTC 4883: 2000. Análisis sensorial. Café. Metodología para análisis sensorial cuantitativo descriptivo del café. INCONTEC.
13. Castaño Castrill6n Jos6 Jaime; Quintero Gloria Patricia; Vargas Ricardo León. 2000. Caracterización del rendimiento de extracción y del contenido de sólidos solubles de la bebida de café. *Cenicafé* 51 (3): 185-195.
14. Programa de investigación científica fondo Nacional del café. Composición química de una taza de café. Fondo nacional de cafeteros de Colombia, avances Técnicos Cenicafé. 2011.

# ANALISIS DE CALIDAD DEL ACEITE DE PALMA Y SNACKS DE PLATANO DOMINICO HARTON, *MUSA AAB SIMONDS* EN PROCESO DE FRITURA

QUALITY CONTROL OF USED OIL AND PLANTAIN SNACKS DOMINICO HARTON, *MUSA AAB SIMONDS* IN FRYING PROCESS.

Julián David LARGO JARAMILLO, Ing.<sup>1</sup>; Luís Fernando MEJÍA GUTIÉRREZ, Msc.<sup>2</sup>,  
Félix Octavio DÍAZ ARANGO, Msc.<sup>3</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** La Operación unitaria de fritura a temperaturas de trabajo entre 175-195°C, imparte sabor, apariencia y textura al producto. Los cambios fisicoquímicos en el aceite y el producto dependen de sus características y del proceso, se degradan proteínas, lípidos, carbohidratos, vitaminas (160°C a 200°C) etc. La Hidrólisis aumenta los compuestos polares por descomposición de triglicéridos, olor y sabor desagradable, disminución del punto de humo, formación de metilcetonas y lactonas. En el aceite recalentado hay acroleína, resultante de la hidrólisis de los acilglicéridos. La Oxidación de los ácidos grasos (principalmente poliinsaturados) da hidroperóxidos y radicales libres. También se forman hidrocarburos, ácidos, etc., que afectan el color y dan sabor rancio (Ácido fórmico, acético y propiónico). Los radicales libres son responsables de la espuma. **Objetivo:** evaluar la degradación del aceite de palma y de soya en fritura de snacks de plátano Dominic Hartón. **Metodología:** Inicialmente se tomaron 20 litros de aceite de palma. Posteriormente se sometieron a calentamiento a una temperatura de 165°C durante 70 horas. Cada diez horas se tomaron muestras de aceite y snacks de plátano Dominic Hartón, al aceite se le determinó índice de acidez (NTC 218/1999), índice de peróxidos NTC 236/1998 e índice de refracción (AOCS Ce 7-25. Codex Stan 210- 1999), a los snacks se les realizó prueba de perfil sensorial, hedónica, test de textura, color, olor y sabor con 18 jueces semientrenados; a los datos se les realizó análisis de varianza

con Microsoft Excel 2013. **Resultados:** El aceite de palma arroja un índice de acidez de 2,5 mg de KOH/g de aceite, índice de peróxidos= 10,78050 meq O<sub>2</sub>/Kg de aceite, índice de refracción IR<sub>t=4200 min</sub> de 1,47975. La prueba de DUNCAN no mostró diferencias significativas en textura y color, pero sí en olor y sabor. El color ocre, el olor y sabor a aceite y textura crocante fueron evaluados con una calificación de máxima de 6 en un Diagrama Radial. **Conclusiones:** El aumento de los valores de índice de acidez, de peróxidos y de refracción son afectados por procesos de degradación hidrolíticos y oxidativos, los valores sobrepasan los límites establecidos por las Norma Internacionales.

**Palabras clave:** Fritura, sensorial, peróxidos, índice de acidez, plátano.

## ABSTRACT

**Background:** Operation frying unit at operating temperatures between 175-195 ° C, imparts flavor, appearance and texture to the product. The physicochemical changes in oil and product depend on its characteristics and the process, proteins, lipids, carbohydrates, vitamins (160 to 200) degrade etc. Hydrolysis increases polar compounds by decomposing triglycerides, unpleasant odor and taste, reduced smoke point, formation of methyl ketones and lactones. In the hot oil is no acrolein, resulting from hydrolysis of the acylglycerides. Oxidation of (mainly polyunsaturated) fatty acids gives hydroperoxides and free radicals. Hydrocarbons, acids, etc., which affect the color and give

<sup>1</sup> Programa de Ingeniería de Alimentos, Universidad de Caldas, Manizales, Caldas, Colombia.

<sup>2</sup> Docente asociado Universidad de Caldas. Manizales, Caldas, Colombia.

<sup>3</sup> Gerencia de programas sanitarios en Inocuidad, docente asociado Universidad de Caldas, Manizales, Caldas, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: julik111@hotmail.com

rancid (formic, acetic and propionic acid) are also formed. Free radicals are responsible for the foam. **Objective:** To evaluate the degradation of palm oil and soy snacks fried plantain Dominican Harton. **Methodology:** Initially 20 liters of palm oil were taken. Subsequently they subjected to heating at a temperature of 165 °C for 70 hours. Every ten hours oil samples and Dominican Harton plantain snacks, oil is determined acid (NTC 218/1999), peroxide NTC 236/1998 and refractive index (AOCS Ce 7-25 were taken. Codex Stan 210- 1999), the snacks were performed sensory profile test, hedonic, test texture, color, smell and taste with 18 semi-trained judges; the data were subjected to analysis of variance with Microsoft Excel 2013. **Results:** Palm oil showed an acid value of 2.5 mg KOH / g of oil, peroxide = 10.78050 meq O<sub>2</sub> / kg oil , refractive index IR t = 4200 min of 1.47975. Duncan test showed no significant differences in texture and color, but in smell and taste. The other color, smell and taste of oil and crunchy texture were evaluated with a rating of maximum 6 in a radial diagram. **Conclusions:** The increased values of acid, peroxide and refraction processes are affected by oxidative and hydrolytic degradation, the values exceed the limits established by the International Standard.

**Keywords:** Frying, sensory, peroxide, acid index, musa.

## INTRODUCCIÓN

El proceso de fritura implica cambios químicos, estructurales y eventualmente de volumen, pérdida de humedad y adsorción de aceite; su uso se debe al desarrollo de características de aroma y textura, destrucción de microorganismos, inactivación de enzimas y reducción de la actividad de agua; por ser un lípido no polar (triacilglicéridos o triésteres de glicerol), se rancea cuando se elimina un hidrógeno de una cadena lipídica insaturada en presencia de oxígeno; el radical peróxido, con otro lípido puede reaccionar en cadena y generar la rancidez. Los ácidos grasos libres liberados en el desdoblamiento hidrolítico de las grasas vía química, bioquímica y microbiana, se determina por medio del índice de acidez y afectan sensorialmente los de bajo peso molecular (butírico y caprílico), los peróxidos productos de la descomposición oxidativa y de la fermentación

por lipoxidasas no se detectan organolépticamente y se expresan como índice de peróxidos.

La textura depende de la estructura del alimento (propiedades mecánicas, geométricas y humedad), 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; la coloración oscura es producto de la reacción de Maillard entre azúcares reductores y aminoácidos.

Esta investigación tuvo como propósito analizar el comportamiento de los cambios de calidad del aceite de palma durante la operación de fritura.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el laboratorio de Procesos Agroindustriales adscritos a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Caldas se fritaron snacks en una mezcla de aceite de palma y soya libre de impurezas, olores y sabores extraños con 0,1% de ácidos grasos libres y 1,0 de índice de peróxido; cada 10 horas durante 70 horas, se analizaron muestras de 100 ml, se determinó por triplicado el índice de Acidez según la NTC 218 de 1999, fenoltaleína patronada como indicador, índice de peróxidos según NTC 236 de 1998 como meq O<sub>2</sub>/Kg de grasa, índice de refracción por el método NTC 289/2002 con Refractómetro tipo ABBE escala 1.3000 a 1.7100. A los snacks fritos, se les realizó prueba hedónica y prueba de perfil con 18 jueces semientrenados, a los resultados obtenidos se les hizo un análisis de varianza, con un porcentaje de error del 5% utilizando el Paquete Estadístico de Microsoft Excel (2010).

En la prueba de perfil de los snacks se evaluó apariencia, color, sabor, olor y textura utilizando una escala estructurada.

## RESULTADOS

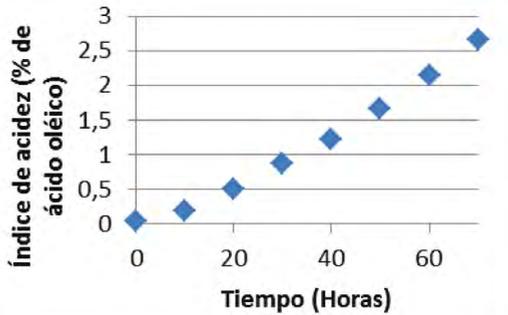
En la tabla No. 1 Se describe los resultados de caracterización fisicoquímica.

Se presenta los resultados de los diferentes índices (I. acidez, I. refracción, I. de peróxidos) evaluados durante el tiempo.

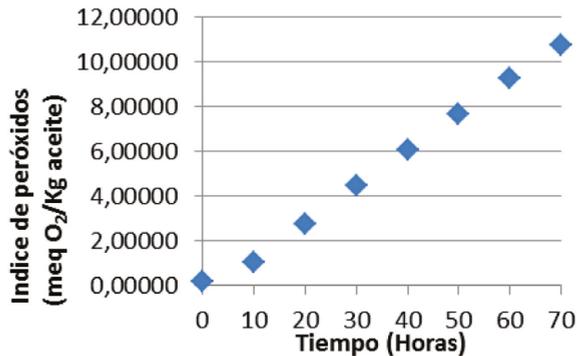
Los resultados de los índices de acidez y peróxido para el aceite de palma se reportan en los Figuras 1, 2 y 3.

**Tabla 1.** Prueba Índice de Acidez, Índice de Refracción e Índice de Peróxidos.

Muestra	Tiempo (h)	Í. A. (%ácido oléico)	Índice de Peróxidos	Índice de Refracción
Blanco	0	0,0471	0,2000	1,47090
1	10	0,1858	1,0096	1,47090
2	20	0,5061	2,7452	1,47129
3	30	0,8769	4,4367	1,47220
4	40	1,2289	6,0865	1,47359
5	50	1,6646	7,6908	1,47551
6	60	2,14188	9,2535	1,47792
7	70	2,6549	10,7805	1,48075

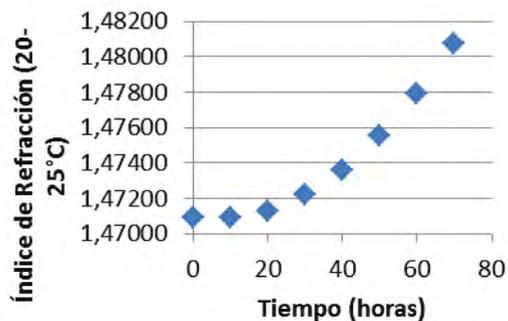


**Figura 1.** Índice de acidez (%ácido oléico)

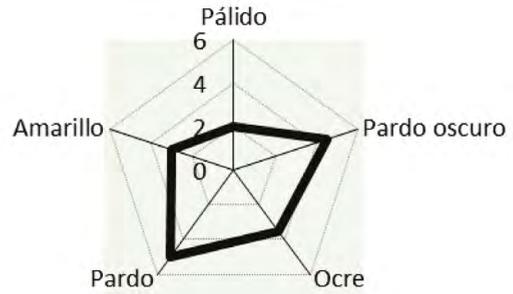


**Figura 2.** Índice de Peróxidos vs Tiempo (Horas)

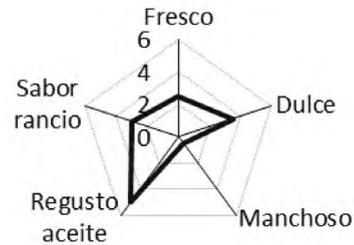
Los figuras 4, 5, y 7 reportan los perfiles sensoriales del plátano de la fritura.



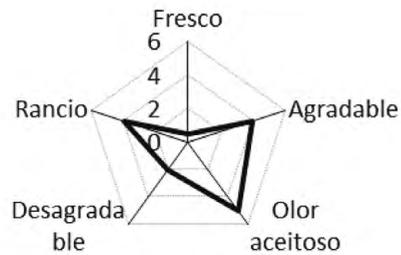
**Figura 3.** Índice de Refracción vs Tiempo (Horas)



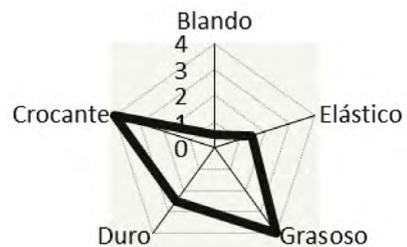
**Figura 4.** Perfil color



**Figura 5.** Perfil sabor



**Figura 6.** Perfil olor



**Figura 7.** Perfil textura

## DISCUSIÓN

El índice de acidez aumentó en el tiempo y alcanzó valores cercanos a 2,5% establecido en la Norma para aceite de palma (8), por las reacciones hidrolíticas en las que se forman ácidos grasos generalmente poliinsaturados como consecuencia de la reutilización y recalentamiento del aceite. (1). El índice de peróxidos fue superior al máximo establecido por la norma NTC 236/98, esto indica liberación de hidrógenos y formación de radicales libres que se manifiestan en el aumento del índice de refracción y un color más oscuro. Para las escalas definidas como pardo, ocre y pardo oscuro se obtuvo valores altos y para amarillo valores medios o bajos.

### Análisis de varianza para el color

El valor de F calculado es de 1.047 y el F de la tabla con significancia del 95 % es de 1.9268 con probabilidad de 0.4419. (Ver grafica No. 4)

### Perfil sabor

Se identificaron 5 sabores desde el fresco hasta el sabor a rancio; el sabor residual “manchoso” característico de plátano pintón obtuvo la más baja puntuación, los demás parámetros obtuvieron valores medios o altos. (Grafica 5).

### Análisis de varianza para el sabor

El valor de F calculado es de 9.51 y el F de la tabla con significancia del 95 % es de 1.9258 con probabilidad de  $6.82 \times 10^{-6}$

### Perfil olor

Se observan valores altos para aromas agradables, aceitosos y rancios y para los demás valores sobre o por debajo del punto intermedio (Grafica 6).

### Análisis de varianza para el olor

El valor de F calculado es de 10.72 y el F de la tabla con significancia del 95% es de 1.9258 con probabilidad de  $2.45 \times 10^{-6}$

### Perfil de textura

Las características de blando y elástico fueron los parámetros con puntuación más baja; mientras las demás características presentaban valores altos dentro de la escala. (Grafico 7).

## Análisis de varianza para la textura

El valor de F calculado es de 1.16 y el F de la tabla con significancia del 95 % es de 1.9258 con probabilidad de 0.3642.

De acuerdo al análisis de varianza para el color y la textura no existen diferencias significativas, para el olor y el sabor se halló una diferencia significativa del 5% de probabilidad entre las muestras. Con un porcentaje de confiabilidad del 95%, el color y la textura no se ven afectados de manera significativa por el recalentamiento, pero sí el olor y el sabor.

## CONCLUSIONES

El aumento de los valores de índice de acidez, de peróxidos y de refracción demuestra que son afectados por procesos de degradación hidrolíticos y oxidativos, los valores sobrepasan los límites establecidos por las Norma Internacionales.

Se debe controlar temperatura (casi constante), el filtrado y almacenamiento en recipientes herméticos; temperaturas mayores a 190°C, la incidencia de luz y el aire favorecen la liberación de hidrógenos y las consecuentes reacciones de rancidez.

La correcta reutilización y almacenamiento del aceite prolongan su vida útil y permiten que el snack cumpla los requerimientos de calidad.

## REFERENCIAS

1. Badui Dergal, S. Lípidos. En *Química de los alimentos*. Pearson Educación. 2006; 283-285p.
2. Battaner Arias, E. Funciones fisiológicas. En *Biomoléculas: una introducción estructural a la bioquímica*. España: Universidad Salamanca. 2012; 226-227p.
3. Diego Tirado Armesto, Diofanor Acevedo Correa, Luis Enrique Guzmán. Freído por inmersión de los Alimentos. *ReCiTeIA Universidad de Cartagena*. 2012; 72-74p.
4. Iglesias M, González C. Efecto de la temperatura en las propiedades de mezcla de aceites vegetales con solventes. *AIQUICIQ*. 2012.
5. Kwon S. Y. High-Rate Continuous Production of Lactid Acid by *Lactobacillus rhamnosus* in a two stage membrane Cell Recycle Bioreactor. *Biotechnology and Bioengineering*. 2000; 73: 25-34.
6. Lucas A. J. C., Quintero C., V. D., Vasco Leal, J. F., & Cuellar Nuñez, L. Evaluación de los parámetros de calidad durante la fritura de rebanadas de papa criolla. *Scientia et Technica*. 2011 Agosto; (48): 299-304.
7. McMurry, J. Lípidos. En *Química Orgánica*. Santa Cruz, México: Cengage Learning Editores S.A. 2012; Octava ed. 1088p.
8. World Health Organization, FAO. (1999). *Norma del CODEX para grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales CODEX STAN 19-1981*. Recuperado el 08 de Marzo de 2015, de Universidad de Castilla-La Mancha: <http://www.uclm.es/profesorado/mdsalvador/58119/practicass/Codex%20Stan%2019%20Grasas%20y%20aceites.pdf>

# EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE ENSILAJE COMO MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SUBPRODUCTOS DE TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*)

EVALUATION OF THE SILAGE TECHNOLOGY AS RECOVERY METHOD OF OIL FROM  
RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*) BY-PRODUCTS

Alan Fernando MUÑOZ VELASCO, Ing.<sup>1</sup>, Jhon Edisson BUCHELI IMBACHI, Ing.<sup>1</sup>, Rocío BONILLA  
MÉNDEZ, M.Sc (c)<sup>1\*</sup>, José Luis HOYOS CONCHA, Ph. D (c)<sup>1</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** El sector acuícola en Colombia ha crecido debido al incremento en la demanda de especies de agua dulce, entre las que se destaca la producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), en la cual Silvia es uno de los municipios del departamento del Cauca donde la actividad piscícola es más representativa. Los subproductos generados en esta actividad son fuentes valiosas de proteínas, polisacáridos, aceites, pigmentos, vitaminas, minerales y enzimas, que tienen potencial en diferentes áreas. Las vísceras de trucha por su parte son subproductos ricos en aceite de alto valor nutricional y una alternativa de bajo costo para su extracción, además su implementación puede evitar la inadecuada disposición final de dicha biomasa. **Objetivos:** El objetivo de este trabajo fue evaluar la tecnología de ensilaje: biológico (EB), químico (EQ) y enzimático (EE) para extraer aceite de vísceras de trucha comparado con el método térmico convencional. **Métodos:** Se evaluaron parámetros de calidad química en aceite obtenido a partir de ensilaje y mediante método térmico. El EB fue preparado mediante la adición de bacterias ácido lácticas-BAL, el EQ con adición de ácido fórmico y el EE con adición de papaína. La extracción de aceite por método térmico se llevó a cabo a 95 °C con agitación constante durante 20 minutos. Las características evaluadas fueron índice de peróxidos (IP), acidez (IA), ácido tiobarbitúrico (TBA) y rendimiento de aceite. **Resultados:** El EQ no presentó descomposición lipolítica significativa, el IP no alcanzó valores de degradación avanzada, sin embargo el índice de TBA para el

EE fue elevado. El rendimiento de extracción fue estadísticamente similar para el método térmico, EB, BEB y EQ. **Conclusión:** El estudio demostró la capacidad de la técnica de ensilaje para la extracción de aceite con características apropiadas, siendo EQ el que permitió obtener el aceite con las mejores características de calidad química.

**Palabras clave:** Ensilaje, aceite de pescado, subproductos, trucha

## ABSTRACT

**Background:** The aquaculture sector in Colombia has grown due to increased demand for freshwater species, including the production of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), in which Silvia is one of the municipalities of Cauca where activity fish is more representative. The by-products generated in this activity are valuable sources of proteins, polysaccharides, oils, pigments, vitamins, minerals and enzymes, which have potential in several areas. The viscera trout are rich in oil products with high nutritional value and low cost alternative for recover it, plus implementation can prevent improper disposal of this biomass. **Objective:** The aim of this paper was to evaluate the biological, acid and enzymatic silage technology for the recovery of oil from trout viscera and to compare with the conventional heat method. **Methods:** Chemical quality parameters of oil from silage and by heat method were evaluated. The biological silage was prepared by adding lactic acid bacteria, the acid silage was prepared by adding formic acid and the enzymatic silage was obtained by adding papain.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad del Cauca. Popayán, Cauca.

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

Oil extraction by heat method was conducted at 95 °C with constant stirring for 20 minutes. The characteristics evaluated were peroxide value, acidity value, TBA value and oil yield. **Results:** Acid silage did not exhibit significant lipolytic breakdown, the peroxide value did not reach the values of advanced degradation, however TBA value was higher for the enzymatic silage. As for the IY, oil from heat method showed the lowest value. The extraction yield was statistically similar to the heat treatment, biological, acid and control sample. **Conclusion:** The study demonstrated the ability of the silage technique for extraction of oil with suitable characteristics, and the acid silage was giving oil with the best features of chemical quality.

**Keywords:** Silage, aquaculture by products, fish oil.

## INTRODUCCIÓN

El sector acuícola en Colombia ha crecido debido al incremento en la demanda de especies de agua dulce, entre las que se destaca la producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) (1). En el departamento del Cauca, la actividad piscícola se explota hace más de 20 años y la trucha representa la principal especie, con una producción en 2011 de 795 toneladas (2). Silvia es una zona con una producción representativa. Esta actividad piscícola genera subproductos que son arrojados en vertientes de agua o enterrados afectando la calidad del suelo y contaminando las aguas. Estos subproductos obtenidos en el desarrollo de la actividad piscícola son fuentes valiosas de componentes como proteínas, polisacáridos, aceites, pigmentos, vitaminas, minerales y enzimas, que tienen un uso potencial en alimentos, fármacos, cosméticos, agricultura e industria (3). El aceite de pescado es un producto industrial de alto valor nutricional por su contenido de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) Omega-3 de cadena larga como son el eicosapentaenoico (EPA), docosapentaenoico (DPA) y docosahexaenoico (DHA), los cuales son en la actualidad altamente valorados por sus propiedades profilácticas y terapéuticas, en el campo nutricional y de la salud. El aceite de pescado, que antes era un producto secundario de la obtención de harina de pescado usada para alimentación animal, es ahora reconocido como la fuente primaria de estos ácidos grasos (4). La tecnología de ensilaje es reconocida como una solución útil al manejo de los subpro-

ductos generados por la actividad piscícola, que ocasiona cambios físico-químicos y microbiológicos que no sólo previenen procesos indeseables como la oxidación de grasas, sino que también mejoran las propiedades nutricionales, disponibilidad de nutrientes y confieren mayor estabilidad y durabilidad a un bajo costo (5). En este sentido, se buscó evaluar la tecnología de ensilaje como método de extracción de aceite a partir de subproductos de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y compararlo frente a método térmico convencional.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales

Las vísceras se obtuvieron de la Comercializadora de Productos Acuícolas y Agrícolas de Silvia (Cauca)-APROPESCA y fueron transportados en frío hasta las instalaciones de la planta piloto de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca, donde se prepararon las unidades experimentales. Los reactivos analíticos fueron suministrados por Merck S.A.

### Obtención de aceite

Se evaluaron cuatro métodos para la extracción de aceite de subproductos de trucha correspondientes a EB, EQ, EE y método térmico. El EB fue preparado con base en la metodología de Agudelo y Ortega (6) mediante la preparación de un inóculo de bacterias ácido lácticas (BAL) y melaza como fuente de carbono. El EQ de vísceras fue preparado por la adición de ácido fórmico con base en la metodología de Goosen *et al.* (7). Para la preparación del EE, se ajustó el pH de las vísceras a un valor de 4,5, en el cual, según la ficha técnica del proveedor (PROENZIMAS S.A), la enzima (Papaína) es activa y los subproductos se mantienen libres de contaminación microbiana (8). Se adicionó la enzima de acuerdo a lo recomendado por el proveedor y se mantuvo agitación constante de 150 rpm (9). Todas las unidades experimentales fueron almacenadas a 15 °C simulando la temperatura de Silvia-Cauca. En el caso del método térmico se realizó de acuerdo a la metodología de Wu y Betchel, y Crexi *et al* (3,10) con algunas modificaciones, para lo cual las vísceras fueron llevadas a baño maría a 95 °C con agitación constante durante 20 minutos. El aceite de cada uno de los tratamientos fue extraído por centrifugación a 12000 rpm a 5°C por 15 minutos,

se midió el rendimiento de extracción y se evaluó su calidad mediante índices de acidez (IA), peróxidos (IP) y ácido tiobarbitúrico (TBA).

### Índices de calidad de aceite y rendimiento de extracción

El IA, IP y TBA fueron determinados de acuerdo con la metodología de la AOAC 940,28, AOAC 965.33 y AOCS Cd 19-90, 2005 respectivamente. El rendimiento de aceite fue expresado como el porcentaje de aceite extraído con respecto al contenido total de lípidos en las vísceras. El contenido total de lípidos se determinó según norma AOAC 991.36.

### Diseño experimental

Se empleó un diseño completamente al azar donde se evaluaron cuatro tratamientos correspondientes a la extracción mediante EB y su control (BEB), EQ, EE y su control (BEE) y método térmico. El análisis estadístico fue realizado mediante el software SPSS Versión 20. Se realizó análisis de normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro Wilks ( $n < 30$ ). Los datos con distribución normal fueron analizados mediante pruebas paramétricas, de lo contrario se emplearon pruebas no paramétricas.

## RESULTADOS

La Tabla 1 presenta los resultados obtenidos para cada uno de los índices de calidad evaluados, en los distintos métodos de extracción, incluyendo los tratamientos testigo de los ensilajes biológico y enzimático.

## DISCUSIÓN

En cuanto al IA, este es un importante parámetro de calidad que relaciona la presencia de ácidos grasos libres y otros compuestos ácidos no lipídicos como lo es el ácido acético que se genera por el deterioro del material, este depende de varios factores, tanto en la composición del aceite como el proceso de extracción y la frescura de la materia prima (11). El resultado del método térmico presentó diferencias significativas con ( $p \leq 0,05$ ) frente a los obtenidos por los ensilajes, siendo ligeramente mayor que el de EQ, aunque este valor se encuentra dentro del rango propuesto para esta variable entre 2 y 5 % de ácido oleico (12,13). Sin embargo, la presencia de calor y humedad inducen a la hidrólisis lipídica y se acelera por la acción del calor y la luz (14) a chemical silage technology was employed to obtain a high yield 42.8% (m/m, por lo que un valor bajo de ácidos grasos libres puede no sólo estar relacionado con la ausencia de estos compuestos en el aceite, sino también con la volatilización de los mismos (15). El aceite obtenido por EQ presentó el menor IA, lo cual podría indicar que un ambiente ácido evitaría la degradación lipolítica de los triacilglicéridos, posiblemente porque un pH bajo posibilita la inhibición de las enzimas lipasas (16), capaces de hidrolizar las moléculas lipídicas de elevado peso molecular, llevando a la formación de ácidos grasos libres (17). Estos resultados están en contraste con lo observado por Crexi *et al.* (3), quienes observaron valores más altos en EQ frente al proceso térmico, dicho ensilaje fue preparado con 10 % de ácido, superando la cantidad utilizada en la

**Tabla 1.** Calidad de aceite obtenida en cada método de extracción

Variable	EB	BEB	EE	BEE	EQ	Método Térmico
IA (% ácido Oleico)	11,24 ± 0,23 <sup>a</sup>	15,20 ± 0,81 <sup>a</sup>	7,93 ± 0,02 <sup>b</sup>	7,11 ± 0,23 <sup>a</sup>	2,05 ± 0,10 <sup>c</sup>	3,65 ± 0,00 <sup>d</sup>
IP meq O <sub>2</sub> /g	0,85 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,92 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,37 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,38 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,88 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,00 <sup>e</sup>
TBA mg malonaldehído /Kg muestra	4,07 ± 0,36 <sup>a</sup>	3,56 ± 0,13 <sup>c</sup>	7,64 ± 0,82 <sup>b</sup>	6,58 ± 0,35 <sup>c</sup>	4,00 ± 0,34 <sup>a</sup>	5,79 ± 0,06 <sup>c</sup>
Rendimiento (%)	95,34 ± 3,73 <sup>a</sup>	94,84 ± 4,89 <sup>a</sup>	77,01 ± 5,97 <sup>b</sup>	71,91 ± 2,36 <sup>b</sup>	88,36 ± 1,93 <sup>a</sup>	84,51 ± 0,41 <sup>a</sup>

presente evaluación y se podría decir que el tipo de ácido podría influir en la ruptura del triacilglicérido. Por otro lado, los valores altos de IA, como los presentados en EB y EE, no son deseables dado que en la refinación sería necesaria una mayor cantidad de álcali para removerlos, además de proveer sabores y texturas desagradables en el aceite crudo (3).

En cuanto al IP el análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre EB, EE, EQ y BEB, mientras que el BEE y el método térmico presentaron diferencias con respecto a los demás tratamientos. De acuerdo a los resultados el aceite obtenido en el proceso térmico no mostró presencia de peróxidos, lo cual difiere a lo encontrado por Crexi *et al.* (3) quienes obtuvieron un valor de 3,38 meq O<sub>2</sub>/Kg muestra. La ausencia de peróxidos no es común en aceites sometidos a procesos térmicos y la incidencia pro-oxidativa de la temperatura sobre el aceite ha sido ampliamente estudiada (3,11,15,18-21) reportándose que someter el material lipídico a altas temperaturas promueve la oxidación del mismo, adicional a ello someter lípidos no refinados a temperaturas entre los 92 y 158 °C genera un incremento en la masa del aceite de aproximadamente un 0,6 % atribuido a la oxidación del producto por la inclusión de oxígeno en los ácidos grasos (22). En ese sentido, este valor puede deberse a la descomposición de peróxidos, la cual genera productos que pueden ser detectados por el método de TBA (23) como eventualmente se observó (ver tabla 1), demostrando la presencia de oxidación, o bien a la inactivación de las enzimas lipolíticas que se genera con temperaturas mayores a 90°C (15,22). Los bajos valores de peróxidos medidos en EB, EQ y EE en sus primeros días, concuerdan con el valor reportado por Vidotti *et al.* (17), lo cual puede ser indicio de una baja oxidación en el material lipídico, debido a la temperatura de almacenamiento y a que los recipientes fueron protegidos de la incidencia directa de la luz, sin embargo, el EE presentó un mayor valor de IP posiblemente por la presencia de agitación.

Por otro lado, la descomposición térmica de los triacilglicéridos son secuencias de reacciones muy complejas, donde se generan alcanos y alquinos con la ruptura del carboxilo del triacilglicérido, seguido de la descarboxilación, la cual es asociada a la ruptura de las fracciones de glicerol donde se desprenden entre otros productos: alcanos alquenos, aldehídos, cetonas y alcoholes, catalogados como reactivos al TBA (3,18,23,24). El método térmico y

el BEE presentaron los mayores índices de TBA, sin diferencias significativas ( $\alpha=0,05$ ), encontrándose cercanos al límite inferior del rango propuesto de 6-8 mg malonaldehído/Kg muestra (25). Los valores encontrados concuerdan con lo observado por Crexi *et al.* (3) quienes reportaron valores mayores para el proceso térmico comparado con EQ, aunque el valor de TBA del proceso térmico en este estudio fue menor al reportado por estos autores, el cual fue de 6,7 mg malonaldehído/Kg para aceite de vísceras de tilapia, usando una temperatura similar de 95-100°C pero con un tiempo de proceso de 30 min, en ese sentido un menor tiempo de residencia en el proceso térmico puede generar menos productos de oxidación (11,22).

Con respecto al rendimiento obtenido, no se presentaron diferencias significativas ( $\alpha=0,05$ ) entre el proceso térmico y EQ, EB y su testigo, pese a que la producción por medio de aplicación de temperatura fue aproximadamente 9 % menor que la de EB, que fue el de mayor rendimiento. La liberación del aceite por el método térmico se da gracias a que las proteínas en temperaturas entre 90-100 °C sufren una desnaturalización irreversible, sin embargo se ha observado que a 95 °C las proteínas generan una estructura estrechamente ligada lo que provoca que el aceite no sea liberado en su totalidad (15). En el caso de los ensilajes, la formación de emulsiones debido a la formación de péptidos de menor tamaño a causa de la proteólisis así como al rompimiento de los triacilglicéridos, tiene un efecto importante sobre la obtención de aceite, reduciendo el rendimiento de extracción (9,26,27). La ausencia de diferencias significativas entre el rendimiento de EB y BEB, EE y BEE, indicó que bajo las condiciones de producción planteadas no influyó la adición de agentes exógenos como BAL y papaína a los sistemas de ensilaje. El rendimiento debe estar ligado a los demás parámetros de calidad para optar por un ensilaje determinado, generando así la respuesta junto con consideraciones como costos de producción, valor nutricional y estabilidad química, dado que algunas condiciones referentes a la calidad y contaminación se podrían solucionar mediante la aplicación de una refinación adecuada. En este sentido, el EB presentó el mayor rendimiento de extracción con características aceptables, excepto por su IA el cual superó los valores recomendados para este parámetro, mientras que el aceite obtenido por EQ además de presentar un rendimiento de extracción adecuado, mostró buenas características

de calidad química en todos los parámetros, además de ser un proceso con menores requerimiento de tiempo e insumos.

## CONCLUSIONES

La obtención de aceite a partir de vísceras de trucha arcoíris implementando tres métodos de ensilaje se investigó en este estudio, encontrando que esta técnica podría ser una buena alternativa para la extracción de aceite con características apropiadas, superando al aceite obtenido por el método térmico convencional. El EB presentó el mayor rendimiento seguido de EQ, el cual presentó las mejores características de calidad química.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Departamento Nacional de Planeación (DNP), al Sistema General de Regalías de Colombia (SGR) y a la Universidad del Cauca a través del proyecto “Alternativas para el uso de subproductos derivados de la Agroindustria Piscícola” ALTPEZ.

## REFERENCIAS

- Burgos AJ, Imuez MA, Perdomo DA. Contenido de ácidos grasos esenciales en trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) como fuente potencial para nutrición humana. *Univ y Salud*. 2008;1(10):131–8.
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) Diagnóstico del estado de la Acuicultura en Colombia [Internet]. 2013. Available from: [http://www.aunap.gov.co/files/Diagnostico\\_del\\_estado\\_de\\_la\\_acuicultura\\_en\\_colombia.pdf](http://www.aunap.gov.co/files/Diagnostico_del_estado_de_la_acuicultura_en_colombia.pdf)
- Crexí VT, Monte ML, Almeida L, Soares DS, Antonio L, Pinto A. Production and refinement of oil from carp (*Cyprinus carpio*) viscera. *Food Chem*. 2010;119:945–50.
- Valenzuela A, Sanhueza J, De la Barra F. El aceite de pescado: Ayer un desecho industrial, hoy un producto de alto valor nutricional. *Rev Chil Nutr*. 2012;39(2):201–9.
- Rai K, Swapna HC, Bhaskar N, Halami PM, Sachindra NM. Effect of fermentation ensilaging on recovery of oil from fresh water fish viscera. *Enzyme Microb Technol*. 2010;46:9–13.
- Agudelo C, Ortega R. Estandarización del proceso de fermentación de ensilado biológico a partir de residuos y vísceras de tilapia roja (*Oreochromis spp*), producidas en el embalse “La Salvajina”, departamento del Cauca. (tesis de pregrado). Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.; 2010.
- Goosen NJ, Francois de Wet L, Görgens J. Rainbow trout silage oil as immunity enhancing feed ingredient in formulated diets for South African abalone *Haliotis midae*. *Aquaculture*. 2014;430:28–33.
- Llanes Iglesias J, Toledo Pérez J, Fernández Valdés I, Lazo de la Vega J. Estudio del ensilado biológico de pescado como inóculo de bacterias lácticas en la conservación de desechos pesqueros. *REDVET Rev Electron Vet*. 2007;8(9):1–6.
- Slizyte R, Rustad T, Storro I. Enzymatic hydrolysis of cod (*Gadus morhua*) by-products Optimization of yield and properties of lipid and. *Process Biochem*. 2005;40:3680–92.
- Wu TH, Bechtel PJ. Salmon by-product storage and oil extraction. *Food Chem*. 2008;111:868–71.
- Rubio N, Diego SM De, Beltrán S, Jaime I, Sanz MT, Rovira J. Supercritical fluid extraction of fish oil from fish by-products : A comparison with other extraction methods. *J Food Eng*. 2012;109:238–48.
- Norziah MH, Nuraini J, Lee KY. Studies on the extraction and characterization of fish oil from wastes of seafood processing industry. *Asian J Food Agro-Industry*. 2009;2(04):959–73.
- Abdulkadir M, Abubakar GI, Mohammed A. Production and characterization of oil from fishes. *ARPN J Eng Appl Sci*. 2010;5(7):1–5.
- Santos CE dos, Silva J da, Zinani F, Wander P, Gomes LP. Oil from the acid silage of Nile tilapia waste: Physicochemical characteristics for its application as biofuel. *Renew Energy*. Elsevier Ltd; 2015;80:331–7.
- Chantachum S, Benjakul S, Sriwirat N. Separation and quality of fish oil from precooked and non-precooked tuna heads. *Food Chem*. 2000;69:289–94.
- Jaimes-Morales J, Acevedo-correa D, Severiche-sierra C. Quality of processed sea fish : Lipid abnormalities. 2015;9:33–9.
- Vidotti RM, Pacheco MTB, Gonçalves GS. Characterization of the oils present in acid and fermented silages produced from Tilapia filleting residue. *Rev Bras Zootec*. 2011;40:240–4.
- Badui S. Química de los alimentos. Quintanar. Pearson Educación, editor. México; 2006. 716 p.
- Aidos I, van der Padt A, Luten JB, Boom RM. Seasonal changes in crude and lipid composition of herring fillets, byproducts, and respective produced oils. *J Agric Food Chem*. 2002;50(16):4589–99.
- Iastiaque Martins G, Secco D, Kazue Tokura L, Aparecido Baricatti R, Dresch Dolci B, Ferreira Santos R. Potential of tilapia oil and waste in biodiesel production. *Renew Sustain Energy Rev*. Elsevier; 2015;42:234–9.
- Lembke P, Schubert A. Prevention , and Oxidation Correction. *Omega 3 Fatty Acids in Brain and Neurologic Health*. Elsevier Inc.; 2014.
- Huang J, Sathivel S. Thermal and rheological properties and the effects of temperature on the viscosity and oxidation rate of unpurified salmon oil. *J Food Eng*. 2008;89:105–11.
- Aidos I, Van Der Padt A, Boom RM, Luten JB. Quality of crude fish oil extracted from herring byproducts of varying states of freshness. *J Food Sci*. 2003;68(2):458–65.
- Ben Hassen-Trabelsi A, Kraiem T, Naoui S, Belayouni H. Pyrolysis of waste animal fats in a fixed-bed reactor: Production and characterization of bio-oil and bio-char. *Waste Manag*. 2014;34(1):210–8.
- Masson L. Criterio de calidad para materias grasas utilizadas frecuentemente en la nutrición animal y de peces [Internet]. Control de calidad de insumos y dietas acuicolas. 1994. Available from: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab482s/AB482S10.htm>
- Slizyte R, Dauksas E, Falch E, Storro I, Rustad T. Yield and composition of different fractions obtained after enzymatic hydrolysis of cod (*Gadus morhua*) by-products. *Process Biochem*. 2005;40:1415–24.
- Adeoti IA, Hawboldt K. A review of lipid extraction from fish processing by-product for use as a biofuel. *Biomass and Bioenergy*. 2014;63:330–340.

# EFFECTO DE LA PRESION SOBRE LOS PARAMETROS DE CALIDAD (COLOR-TEXTURA) DE CHIPS DE PLATANO VERDE DURANTE LA FRITURA POR INMERSION

PRESSURE EFFECT ON QUALITY PARAMETERS (COLOR-TEXTURE) GREEN PLANTAIN CHIPS DURING DEEP FRYING

Santiago RESTREPO LOPEZ Ing. Alimen<sup>2</sup> Francisco J. CASTELLANOS GALEANO Ph.D<sup>1\*</sup>,  
Daniel F. LEYTON TRIANA Ing. Alimen<sup>2</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** los productos fritos con alto contenido de almidón cuentan con gran demanda, sin embargo sus características sensoriales tales como sabor, textura y color son fundamentales para su aceptabilidad por parte de los consumidores. La textura y el color de este tipo de productos se pueden modificar o bien alterar mediante la variación de las presiones con las que se realiza la operación unitaria de fritura. **Objetivos:** El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la presión (80kpa – 40Kpa) en los parámetros de calidad (Textura y color) de chips de plátano verde **Métodos:** Se seleccionaron diferentes condiciones de operación (presión, temperatura y tiempo) y se escogieron las mejores dos a partir de un análisis sensorial realizado a 100 consumidores, para posteriormente llevar a cabo la experimentación de 6 días seguidos de fritura intermitente para cada condición. Las variables de respuesta analizadas en los chips de plátano verde fueron la textura y los parámetros de color (L, a y b). **Resultados:** la fuerza de ruptura de acuerdo al análisis instrumental aumentó conforme se da un incremento en la presión de trabajo, además de ello los chips ganan luminosidad, aumenta el tono rojizo y el tono amarillento, dando así una significancia de la presión sobre los parámetros de calidad **Conclusiones:** Según el análisis instrumental de textura y de color, la presión en el proceso de fritura por inmersión afectan de manera significativa los parámetros de calidad de chips de plátano

**Palabras clave:** Presión, fritura, plátano, chips

## ABSTRACT

**Background:** fried foods with high starch content have great demand, but their sensory characteristics such as taste, texture and color are central to their acceptability by consumers. The texture and color of such products can be modified or Altered by varying the pressure with which the unit frying operation is performed. **Objectives:** The objective of this study was to determine the effect of pressure (80 kPa - -40 kPa) in the quality parameters (texture and color) of green banana chips **Methods:** different operating conditions (pressure, temperature and time) were selected and were chosen the best two conditions from the sensorial analysis to 100 consumers conducted to further carry out the testing of six days followed by intermittent frying for each condition. The response variables analyzed in the green plantain chips were the texture and color parameters (L, a and b). **Results:** the breaking strength according to the instrumental analysis increased with an increase in working pressure, moreover chips brightness gain occurs increases the redness and yellowness, thus providing a significant pressure on the parameters quality **Conclusions:** According to the instrumental analysis of texture and color, the pressure in the deep frying process significantly affect the quality parameters of plantain chips

**Keywords:** Pressure, deep frying, chips, plantain

<sup>1</sup> Profesor asociado, director maestría en ingeniería de alimentos, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingenierías Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

<sup>2</sup> Estudiante maestría en ingeniería de alimentos, Facultad de Ingenierías, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: francisco.castellanos@ucaldas.edu.co

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de plátano en Colombia tiene gran importancia socioeconómica como generador de empleo y de seguridad alimentaria, entendida esta última como la disponibilidad estable y suficiente de alimentos (1) Actualmente, cerca de un 4% de la producción nacional de plátano se destina al mercado de exportación, el restante se dirige hacia el consumo interno en fresco y una muy pequeña proporción, menos del 1%, se destina como materia prima para la agroindustria nacional. Se estima que el mercado industrial del plátano absorbe aprox.12 mil ton/año y se destinan a productos procesados para consumo humano y concentrados para consumo animal (2).

La fritura por inmersión es una operación unitaria destinada a modificar las características organolépticas del alimento, tiene un efecto conservador por destrucción térmica de los microorganismos y los efectos generados en el alimento y por reducción de la actividad de agua ( $a_w$ ) en la superficie del mismo. Con el freído, los alimentos adquieren ciertas características de color, textura y aroma que son consecuencia de la reacción de Maillard y de la absorción por el alimento de compuestos volátiles presentes en él. (3)

Dentro de las propiedades sensoriales generadas mediante el proceso de fritura por inmersión, se encuentran entre otros, el aspecto y el color de la superficie, los cuales son los primeros parámetros evaluados visualmente por el consumidor y tienen relación directa en la aceptación o rechazo del producto, incluso antes de que entre en la boca. La observación de color por lo tanto, permite la detección de determinadas anomalías o defectos que los productos alimenticios pueden presentar (4). Los cambios de color de los productos fritos se deben principalmente al contenido de azúcares reductores presentes en las materias primas (5). Si este contenido es bajo, se obtendrán chips dorados de buena calidad, sin embargo, un excesivo contenido de azúcares reductores en el producto provocará una coloración marrón oscura en los chips, que los harán inaceptables, tanto por su color como por su sabor como lo demuestra Lucas A, Quintero C (6)

El estudio y conocimiento de la textura como propiedad física del alimento es de suma importancia para determinar la aceptabilidad sensorial del mismo. Entre los dispositivos de prueba instrumentales, están los texturómetros, los cuales imitan las condiciones de la masticación y presentan excelentes correlaciones con las evaluaciones sensoriales

de textura. Por esta razón, han sido ampliamente utilizados para medir la textura de diferentes tipos de alimentos (7). Un ensayo recomendado para estudiar la textura de las patatas fritas es la prueba de punción, que mide la fuerza requerida para empujar una sonda en un alimento (8), sin embargo y de acuerdo a lo planteado por Pedreschi and Moyano (9) se desarrolló un ensayo de perforación con el apoyo de tres puntos con el fin de evaluar la textura de las papas fritas, este procedimiento dio resultados analíticos, con baja variabilidad y permitió la correlación de la textura con el contenido de humedad en las papas fritas.

Debido a esto, surge el objetivo del estudio el cual fue determinar el efecto de la presión sobre los parámetros de calidad (color-textura) de chips de plátano verde durante el proceso de fritura por inmersión.

## MÉTODOS

### Materia Prima

El plátano de la variedad Dominico Hartón (*AAB Simmonds*) en estado verde, fueron adquiridos en la granja luker Km 1 vía Santágueda- Palestina, Caldas, Colombia. El almacenamiento de los plátanos fue realizado en una cava en condiciones ambientales de 83% de humedad relativa y 16°C de temperatura (10). Los grados brix de la pulpa de plátano estuvieron en un rango entre 7,9 y 8,2 para asegurar el estado de maduración verde. Los plátanos se acondicionaron en rodajas de espesor  $3,5 \pm 0,2$  mm en una tajadora de vegetales marca JAVAR modelo GE220 con un diámetro de 29,4  $\pm 0,2$  mm el cual se obtuvo con un sacabocado en acero inoxidable. El Aceite usado fue Oleína de Palma Alto Oleico Palmalí® proveniente de la Hacienda la Cabaña S.A km 8 via Villavicencio-Restrepo, Colombia.

### Condiciones de proceso

En la tabla 1 se muestran las condiciones de operación para dos procesos de fritura por inmersión, (10) (11):

**Tabla 1.** Condiciones de proceso.

P (kPa)	Teb (°C)	$\Delta T$ (°C)	Tac (°C)	t (s)
40	76	57	132	360
80	93	57	150	300

P: Presión absoluta, Teb: Temperatura de ebullición del agua,  $\Delta T$ : Fuerza impulsora, Tac: Temperatura del aceite, t: Tiempo de aceptación sensorial.

El tiempo de aceptación sensorial corresponde al tiempo individual de cada carga de rodajas de plátano al reactor de fritura, el cual se determinó por medio de un análisis sensorial a partir de la NTC 3925:1996 (12), donde fue aplicada una prueba hedónica verbal de aceptabilidad a un panel de consumidores de 100 personas, el formato de evaluación consistía de una escala de 5 puntos.

### Fritura por inmersión

La fritura se realizó en la Unidad Tecnológica de Alimentos (UTA) de la Universidad de Caldas en un reactor de 7 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 modelo TETBF0X0#). La relación producto / aceite fue de 15.14 g/L. (13), lo cual corresponde a cargar 106 g de rodajas de plátano en 7 litros de aceite.

### Análisis de textura

El análisis de textura del producto frito, se realizara usando el analizador de textura EZ Test de Shimadzu. El protocolo se definió según (14), los cuales establecen un test de punto triple con una sonda en forma de diente de 30 mm de ancho y un ángulo de 60°, una velocidad de 20 mm/min y una separación del soporte de 15 mm.

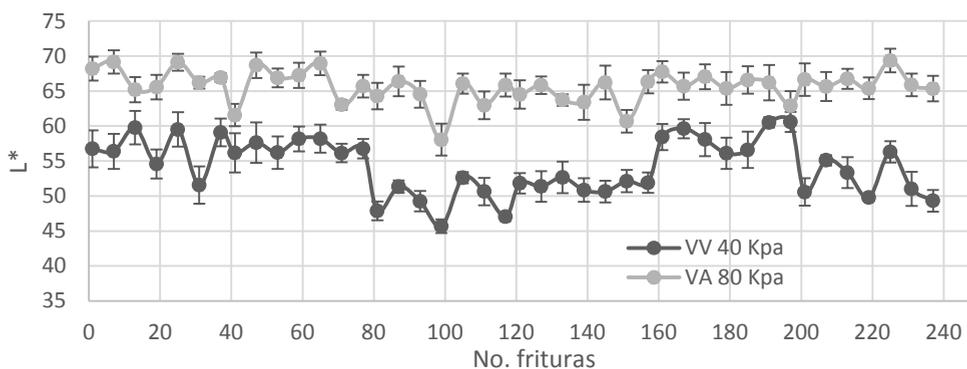
### Determinación de las coordenadas de color

Se empleó un espectrofotómetro KONICA MINOLTA, modelo CM-5, iluminante D65 y observador de 10° como referencia. A partir del espectro de reflexión de las muestras, se obtuvieron las coordenadas de color  $L^*a^*b^*$ , donde  $L^*$  es un indicador de la luminosidad (0 a 100),  $a^*$  indica la cromaticidad en el eje verde a rojo, y  $b^*$  la cromaticidad en el eje azul a amarillo. Las medidas se realizaron con caja petri y con diámetro de ventana (30 mm). Para cada condición de presión (40 kpa y 80 Kpa) se realizaron determinaciones de 5 medidas/muestra.

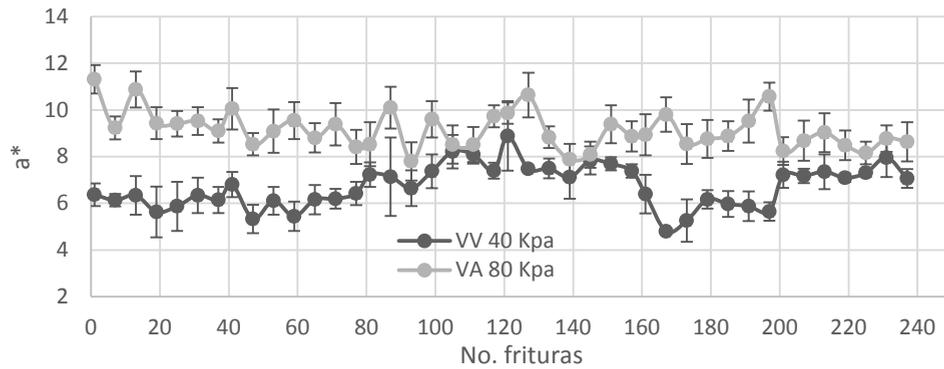
### Análisis Estadístico

Para el análisis sensorial los resultados se analizaron mediante la prueba de Kruskal Wallis con la herramienta computacional STATGRAPHICS® Centurión XVI.II, seguido de la prueba de Dunn para establecer las diferencias entre las muestras, con un nivel de confianza del 95%. Para el análisis de los parámetros de calidad determinados en las distintas condiciones de proceso en la fritura por inmersión de las rodajas de plátano verde, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) simple para determinar las diferencias entre las medias usando la herramienta computacional STATGRAPHICS® Centurión XVI.II para Windows, con un nivel de confianza del 95%.

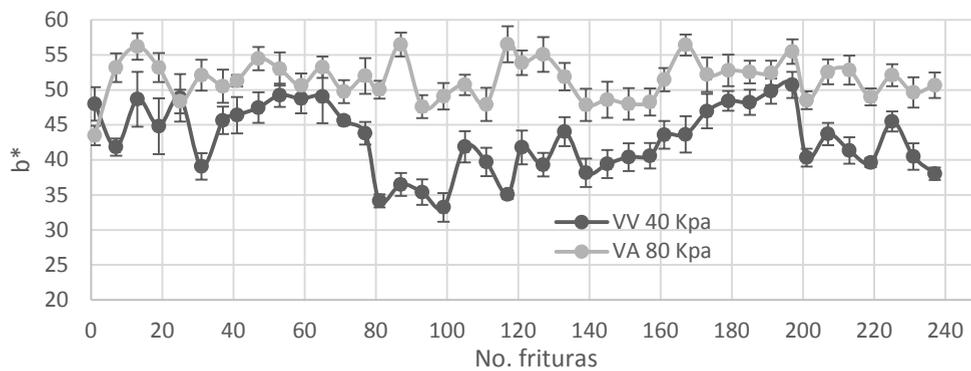
## RESULTADOS



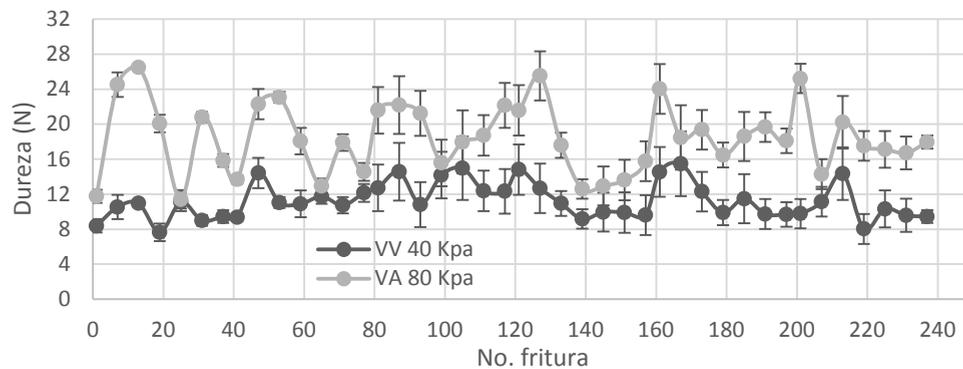
**Figura 1.** Coordenada de color  $L^*$  para rodajas de plátano verde freídas al vacío (VV) y para rodajas de plátano verde freídas a condiciones atmosféricas (VA).



**Figura 2.** Coordenada de color  $a^*$  para rodajas de plátano verde freídas al vacío (VV) y para rodajas de plátano verde freídas a condiciones atmosféricas (VA).



**Figura 3.** Coordenada de color  $b^*$  para rodajas de plátano verde freídas al vacío (VV) y para rodajas de plátano verde freídas a condiciones atmosféricas (VA).



**Figura 4.** Comparación de la Dureza para rodajas de plátano verde freídas al vacío (VV) y para rodajas de plátano verde freídas a condiciones atmosféricas (VA).

## DISCUSIONES

El color es el resultado de las reacciones de Maillard, del tiempo de proceso y la temperatura utilizada en el mismo. El parámetro  $L^*$  cuyo valor es 54,2366 +/- 1,7835 a 40 Kpa y de 64,9430 +/- 1,7212 a 80 Kpa es afectado por la presión (Figura 1), debido

a la menor oxidación y a las bajas temperaturas de realización del proceso de fritura por inmersión, estos resultados discrepan con los encontrados por Da Silva and Moreira (15) quienes concluyen que a bajas presiones se obtienen valores más altos de luminosidad que a frituras atmosféricas, esto puede ser debido a distintas fuerzas impulsoras, variable

que toma importancia significativa ya que afecta los fenómenos de transferencia en la matriz alimentaria que se está trabajando.

De igual manera la coordenada a\* cuyo valor promedio fue de 7,0858 +/- 0,6474 a 40 Kpa y de 8,9798 +/- 0,7327 se ve afectada de manera directa por la presión y la temperatura del aceite (Figura 2), esto se debe principalmente a la alta incidencia de la reacción de Maillard, ya que a una mayor presión mayor enrojecimiento de la muestra (16) lo que le indicaría al consumidor que la fritura fue excesiva, por tanto la fritura al vacío evita que se presente este efecto en mayor cuantía.

Finalmente la coordenada b\* tuvo valores de 42,8869 +/- 2,1732 a 40 Kpa y de 51,1443 +/- 1,8793. En la Figura 3, se puede observar los cambios significativos con respecto la presión, indicando que a una mayor presión existirá una mayor tonalidad hacia el color amarillo. Como se observa en las figuras 1, 2, 3, las coordenadas L\*, a\*, b\* tiene una tendencia a aumentar a medida que aumenta la presión absoluta (17, 18)

La crujencia es la característica de textura más relevante, por ello los productos tipo chips deben ser firmes y tener una fácil ruptura que emite un sonido crocante (19). En la Figura 4 se observa que existe una variación significativa de la textura con respecto a la presión, demostrando así una relación directa con la textura ya que hay un incremento de la fuerza máxima de quiebre de los chips conforme se aumenta la presión de operación; según Mariscal and Bouchon (20) está relacionado con los menores cambios estructurales y menor expansión producidos en condiciones de vacío, que a su vez puede estar relacionado directamente con la baja presión de vapor del agua en las bajas presiones de trabajo de la fritura. Se ha reportado que en los productos fritos la textura depende del material vegetal y las condiciones de procesamiento (21). Con respecto a las condiciones de proceso, Righteous, Ayodele (22) reportan que la fuerza máxima de ruptura en chips de plátano aumenta con el incremento de la temperatura y el tiempo (3-9 min) de fritura, mientras que se reduce cuando aumenta el nivel de vacío, estos resultados relacionados con el hecho de que tanto el tiempo como la temperatura de fritura promueven el desarrollo de una costra que incrementa la dureza. Como se puede observar los valores promedios de dureza fueron de 11,2397 N +/- 1,8264 a 40 Kpa y de 18,4790 N +/- 2,9678, resultados superiores a los obtenidos por Lucas A,

Quintero C (6), los cuales pudieron ocurrir debido a la gelatinización y caramelizarían del almidón, ayudando en la formación de la corteza, provocando un producto finalmente duro (23).

## CONCLUSIONES

La presión fue significativa en el desarrollo de textura y la generación de color ( $p < 0.05$ ) ya que afectan los atributos de calidad de los chips de plátano. Se evidenció que la fuerza de ruptura aumenta conforme aumenta la presión y que los chips ganan luminosidad, aumenta el tono rojizo y el tono amarillento conforme aumenta la presión. Otro factor que llegan a favorecer los cambios en las características sensoriales es el número de frituras realizadas, ya que el aceite deteriorado influye en cada uno de los parámetros analizados

## REFERENCIAS

1. Manjarrés K, Castro A, Rodríguez Sandoval E. Producción de lacasa utilizando *Pleurotus ostreatus* sobre cáscaras de plátano y bagazo de caña. *Revista lasallista de investigación*. 2010;7(2):9-15.
2. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. La cadena del plátano en Colombia. Colombia 2006. p. 1-40.
3. Villada D, Villada H, Mosquera A. Evaluación del efecto de la deshidratación osmótica y fritura en dos variedades de yuca (*manihot esculenta crantz*) en la producción de chips. *DYNA*. 2009;76:131-8.
4. Morón J, Zamudio J, López R, Tacanga W. Influencia de la temperatura y tiempo de fritura de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Yungay en el color medido por visión computacional. *Agroind Sci* 3. 2013:71-5.
5. Altunakar B, Sahin S, Sumnu G. *Functionality of Batters Containing Different Starch Types for Deep-fat Frying of Chicken Nuggets*. *Food Research Technol*. 2004;218(2):318-22.
6. Lucas A JC, Quintero C VD, Vasco Leal JF, Mosquera A JD. Evaluación de los parámetros de calidad de chips en relación con diferentes variedades de plátano (*Musa paradisiaca L.*). *Revista Lasallista de Investigación*. 2012;9:65-74.
7. Granados C, Acevedo D, Cabeza A, Lozano A. Análisis de Perfil de Textura en Plátanos Pelipita, Hartón y Topocho. *Información tecnológica*. 2014;25:35-40.
8. Bourne M. C. *Food texture and viscosity: concepts and measurements*. London: Academic Press. 2002.
9. Pedreschi F, Moyano P. Effect of pre-drying on texture and oil uptake of potato chips. *LWT - Food Science and Technology*. 2005;38(6):599-604.
10. Chávez A. Efecto de las variables de proceso en la obtención de plátano verde frito en condiciones de vacío. Universidad de Caldas 2014.
11. Ospina OA. Efecto del estado de maduración del plátano dominico hartón sobre la estabilidad oxidativa de oleína de palma durante el proceso de fritura. Universidad de Caldas 2014.
12. NTC 3925:1996, Análisis sensorial. Metodología. Guía general., (1996).
13. Tarmizi AHA, Niranjana K, Gordon M. Physico-chemical changes occurring in oil when atmospheric frying is combined with post-frying vacuum application. *Food Chem*. 2013;136:902-8.

14. Chávez Salazar A, Castellanos Galeano F, Martínez Hernández L. *Efecto de la Fritura por Inmersión en la Textura de Rodajas de Plátano*. Revista Facultad Nacional de Agronomía. 2014;67(2):425-6.
15. Da Silva PF, Moreira RG. Vacuum frying of high-quality fruit and vegetable-based snacks. *LWT - Food Science and Technology*. 2008;41(10):1758-67.
16. Sánchez Amián M., Ribas A I, Castillo Martinez W, Esquivel Paredes L, Palacios Ambrocio L. Cinética de la diferencia de color y croma en el proceso térmico de pulpa de mango (*Mangifera indica* L.) hadn. *Rev Tzhoecoen*. 2014;6(1):157-77.
17. Garayo J, Moreira R. *Vacuum frying of potato chips*. *Journal of Food Engineering*. 2002;55(2):181-91.
18. Fan L-p, Zhang M, Mujumdar AS. Vacuum Frying of Carrot Chips. *Drying Technology*. 2005;23(3):645-56.
19. Krokida MK, Oreopoulou V, Maroulis ZB, Marinos-Kouris D. Effect of osmotic dedhydration pretreatment on quality of french fries. *Journal of Food Engineering*. 2001;49(4):339-45.
20. Mariscal M, Bouchon P. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. *Food Chemistry*. 2008;107(4):1561-9.
21. Andrés-Bello A, García-Segovia P, Martínez-Monzó J. Vacuum Frying: An alternative to obtain high-quality dried products. *Food engineering reviews* 2011;3:15.
22. Righteous O, Ayodele M, Philip O, Henshaw F, Ajoke S, Bodunde G., Optimization of Processing Conditions for Vacuum Frying of High Quality Fried Plantain Chips Using Response Surface Methodology (RSM). *Food Science Biochemistry*. 2014;23(3):8.
23. Lucas JC, Dumar Quintero V, Vasco Leal JF, Cuellar Nuñez L. Evaluación de los parametros de calidad durante la fritura de rebanadas de papa criolla. *Scientia et Technica* 2011;16(48):299-304.

# EFFECTO DE LA PRESIÓN EN EL DETERIORO DE ACEITE EN LA FRITURA POR INMERSIÓN DE RODAJAS DE PLÁTANO VERDE

## EFFECT OF PRESSURE ON THE DETERIORATION OF OIL DEEP FRYING PLANTAIN SLICES

Francisco J. CASTELLANOS GALEANO Ph.D.<sup>1\*</sup>, Daniel F. LEYTON TRIANA Ing. Alimen<sup>2</sup>, Santiago RESREPO LOPEZ Ing. Alimen<sup>2</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes:** Durante la fritura por inmersión todos los aceites presentan cambios en su estabilidad los cuales pueden generar compuestos tóxicos que pasan al alimento, esto se puede dar por el calentamiento a temperaturas altas del aceite durante muchas horas, a raíz de esto, se busca modificar procesos actuales de fritura por inmersión donde se obtengan mejoras retardando el deterioro del aceite y a su vez que los alimentos sean de mejor calidad. **Objetivo:** el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de las condiciones de proceso de la fritura por inmersión de rodajas de plátano en estado verde, sobre el deterioro del aceite. **Métodos:** Se seleccionan diferentes condiciones de operación, presión, temperatura y tiempo para las frituras por inmersión de rodajas de plátano verde Dominico Hartón y como aceite oleína de palma alto oleico, luego, se lleva a cabo la experimentación por 6 días seguidos 8 horas diarias de uso, con realización de pruebas de deterioro de aceite las cuales son: índice de acidez, índice de anisidina, dienos conjugados, color y viscosidad. **Resultados:** al comparar los resultados arrojados por las determinaciones de deterioro de aceite con los valores límites de descarte de aceite en Europa, las muestras recolectadas de aceite no superaron los valores límites. **Conclusiones:** La presión ayudó a que se retardara el deterioro.

**Palabras clave:** Deterioro, aceite de palma, presión atmosférica, baja presión.

### ABSTRACT

**Background:** During deep frying all oils have changes in their stability which can generate toxic compounds which enter the food, it can be given by heating at high oil temperatures for many hours, because of this, are used to modify existing processes deep-frying where improvements are achieved by slowing the deterioration of the oil and in turn that food is of better quality. **Objectives:** The objective of study was to evaluate the effect of process conditions deep frying of plantain slices in green state, on the deterioration of the oil. **Methods:** different operating conditions, pressure, temperature and time to dip sliced fried green plantain Dominico Harton as high oleic palm olein are selected then conduct experiments for 6 days at 8 hours of use with impairment testing oil are: acid, anisidine value, conjugated dienes, color and viscosity. **Results:** To compare the results produced by the deterioration determinations oil with oil disposal limits values in Europe, the collected oil samples did not exceed the limit values. **Conclusions:** The pressure that helped retard deterioration.

**Keywords:** Deterioration, palm oil, atmospheric pressure, low pressure

### INTRODUCCION

Las variedades cultivadas de plátano a nivel nacional son dominico hartón, dominico, hartón, pelipita y cachaco o popocho, aún con esta diversi-

<sup>1</sup> Profesor Asociado, Director Maestría en Ingeniería de Alimentos, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingenierías, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia,

<sup>2</sup> Estudiante Maestría en Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingenierías Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: francisco.castellanos@ucaldas.edu.co

dad, en el mercado los plátanos hartón y dominico hartón son los que presentan mayor potencial para su procesamiento, el clima cálido donde se originan favorece el desprendimiento de la cascara que otras variedades, lo cual facilita el procesamiento del producto (1)

### Aceite de fritura

La importancia del aceite utilizado en la fritura, es determinante tanto desde calidad nutricional y sensorial de la fritura resultante, como desde el punto de vista del rendimiento y del costo. Estos aspectos están ligados fundamentalmente a la composición de los ácidos grasos de los aceites utilizados. Idealmente el mejor aceite para fritura debería ser un producto de consistencia líquida a temperatura ambiente, que no sea deteriorado por el calor aplicado en forma continua o intermitente, que no imparta mal sabor u olor al producto que se frita, que no de efectos negativos nutricionalmente, atribuidos a los ácidos grasos saturados e hidrogenados y muy importante, que su costo sea razonable. (2)

### Fritura por inmersión

El proceso de fritura por inmersión es una de las operaciones unitarias más antiguas y comunes utilizadas en la preparación de alimentos, ya que da lugar a productos con una combinación de sabor y textura única (3), consiste básicamente en la inmersión de trozos de alimento en aceite caliente. Esta operación se puede realizar a nivel atmosférico o de vacío, ésta última, permite trabajar a temperaturas de aceite bajas (< 130°C). (4)

### Deterioro de aceite

Una vez inicia el proceso de fritura por inmersión la temperatura de la matriz aumenta bruscamente provocando que la humedad superficial del alimento forme vapor, transfiriendo una fracción de éste a la atmósfera y otra que interactúa con el medio de calentamiento evidenciada por la presencia de burbujas en el seno del aceite (5), lo que origina reacciones de deterioro del lípido de fritura como lo son hidrólisis, oxidación y polimerización (6), cuya descomposición genera productos de oxidación secundarios que incluyen compuestos volátiles como aldehídos, cetonas, hidrocarburos, ácidos, ésteres, alcoholes y compuestos aromáticos que además de diezmar la calidad del aceite de fritura, podrían ser dañinos para la salud del consumidor (7). En la tabla 1 se exponen los valores límites de distintos

parámetros analíticos para aceites usados en fritura por inmersión (8).

**Tabla 1.** Valores límites para descarte de aceite de fritura

Parámetro analítico	Valor límite
Índice de p-Anisidina	< 150-160
Viscosidad	< 27 mPa.s (a 50°C)
Índice de Acidez	< 5%

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de las condiciones de proceso (presión, temperatura de aceite y tiempo), en la fritura por inmersión de rodajas de plátano (*AAB Simmonds*) en estado verde, sobre distintas variables de deterioro en aceites comestibles como son: índice de acidez, índice de anisidina, dienos conjugados, color y viscosidad.

## MÉTODOS

### Materia prima

El plátano de la variedad Dominico Hartón (*AAB Simmonds*) en estado verde, adquiridos en la granja luker Km 1 vía Santágueda- Palestina, Caldas, Colombia. El almacenamiento de los plátanos fue realizado en una cava en condiciones ambientales de 83% de humedad relativa y 16°C de temperatura (9). Los °brix del plátano estuvieron en un rango de 7,9 y 8,2 para asegurar el estado de maduración verde.

### Aceite de fritura

El Aceite usado fue Oleína de Palma Alto Oleico Palmalí® proveniente de la Hacienda la Cabaña S.A km 8 via Villavicencio-Restrepo, Colombia.

### Condiciones de proceso

En la tabla 3 se muestran las condiciones de operación para dos procesos de fritura por inmersión, (9) (10):

**Tabla 3** Condiciones de proceso.

P (kPa)	Teb (°C)	ΔT (°C)	Tac (°C)	t (s)
40	76	57	132	360
80	93	57	150	300

P: Presión absoluta, Teb: Temperatura de ebullición del agua, ΔT: Fuerza impulsora, Tac: Temperatura del aceite, t: Tiempo de aceptación sensorial.

El proceso de deterioro del aceite se llevó a cabo por un período total de 48 horas, con un tiempo de uso diario de 8 horas. El tiempo de aceptación

sensorial corresponde al tiempo individual de cada carga de rodajas de plátano al reactor de fritura, el cual se determinó por medio de un análisis sensorial a partir de la NTC 3925:1996 (11), donde fue aplicado una prueba hedónica verbal de aceptabilidad a un panel de consumidores de 100 personas, el formato de evaluación consistía de una escala de 5 puntos.

**Protocolo para el proceso de fritura por inmersión**

La fritura se realizó en la Universidad de Caldas, en un reactor de fritura con capacidad de 7 L. el cual consta de tres termocuplas tipo k, un tablero de control automatizado, una bomba de vacío y un software que registra y controla las variables de proceso (presión, temperatura y tiempo). La relación producto / aceite fue de 15.14 g/L. (12), lo cual corresponde a cargar 106 g de rodajas de plátano en 7 litros de aceite.

**Variables de deterioro del aceite**

Se tomaron muestras de aceite durante el proceso de fritura por inmersión al iniciar y 4 en el transcurso de las 8 horas en el día, para un total de 30 muestras cada una de 500 mL en 6 días, con el fin de evaluar los parámetros fisicoquímicos listados en la tabla 4.

**Tabla 4.** Determinación de pruebas para deterioro de aceite

Determinación	Referencia
Índice de Acidez	NTC 218
Índice de Anisidina	NTC 4197
Dienos Conjugados	COI T.20
Viscosidad	ASTM D-2196

El color se midió en un colorímetro Konica Minolta® CM-5. Con salida de datos en el espacio de color L\*a\*b\*. Para calcular el índice de color (IC), se tomó la ecuación 1:

$$IC = \frac{a * 1000}{L * b} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

**Tabla 5.** Interpretación de colores según el IC (13)

IC	Colores
-40 a -20	Desde azul-violeta a verde profundo
-20 a -2	Desde verde profundo a verde amarillento
+2 a +20	Desde amarillo pálido a naranja
+20 a +40	Desde naranja intenso a rojo profundo

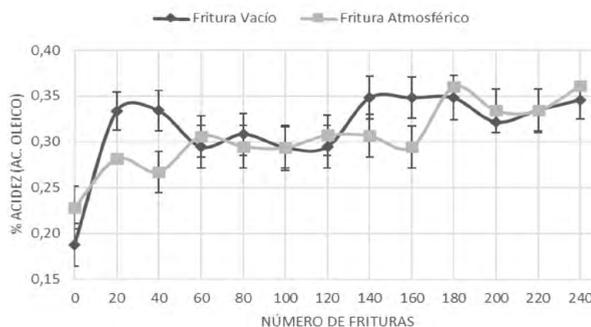
La viscosidad se midió en un viscosímetro Brookfield® dv2t a 50°C.

**Análisis Estadístico**

Para el análisis sensorial los resultados se analizaron mediante la prueba de Kruskal Wallis con la herramienta computacional STATGRAPHICS® Centurión XVI.II, seguido de la prueba de Dunn para establecer las diferencias entre las muestras, con un nivel de confianza del 95%. Para el análisis de las variables de deterioro del aceite determinadas en las distintas condiciones de proceso en la fritura por inmersión de las rodajas de plátano verde, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) simple para determinar las diferencias entre las medias usando la herramienta computacional STATGRAPHICS® Centurión XVI.II para Windows, con un nivel de confianza del 95%.

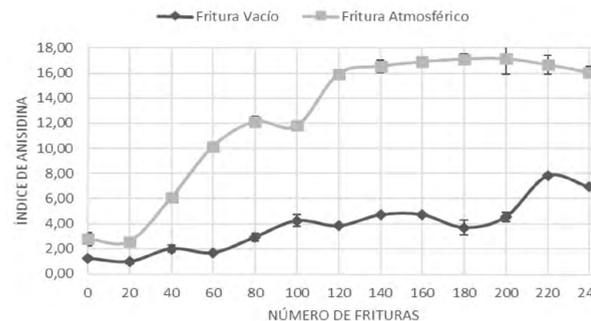
**RESULTADOS**

**Índice de Acidez**



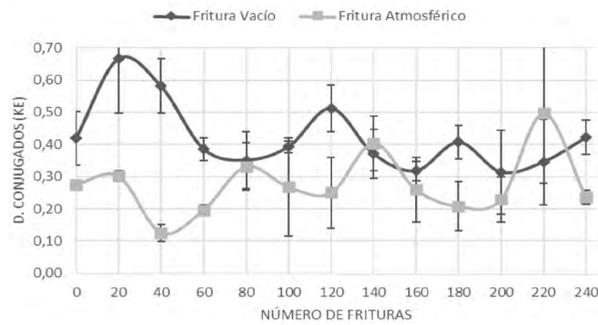
**Figura 1.** % Acidez en función del número de frituras. Anova (P<0,05).

**Índice de Anisidina**



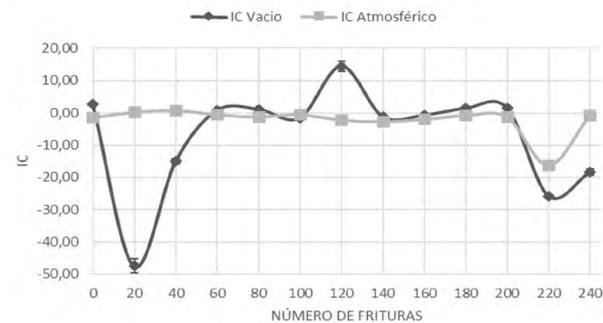
**Figura 2.** Índice de Anisidina en función del número de frituras. Anova (P<0,05).

## Dienos Conjugados



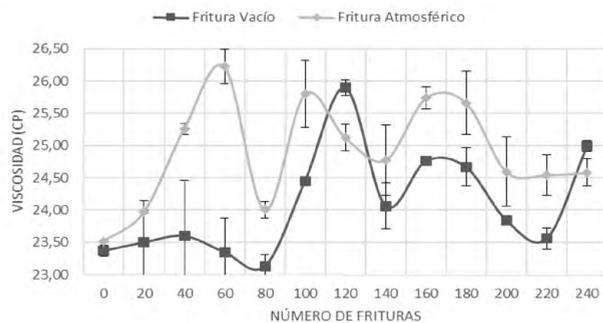
**Figura 3.** Dienos Conjugados en función del número de frituras. Anova ( $P < 0,05$ ).

## Color



**Figura 4.** IC en función del número de frituras. Anova ( $P < 0,05$ ).

## Viscosidad



**Figura 5.** Viscosidad en función del número de frituras. Anova ( $P < 0,05$ ).

## DISCUSIONES

En cuanto al índice de acidez, los ácidos grasos insaturados son más susceptibles a la oxidación por temperaturas altas por lo tanto tiene un impacto

negativo en la aceptación sensorial (14) Esta oxidación es generada por los ácidos grasos libres que conducen a la formación continua de productos de oxidación primarios y secundarios (15). Según la figura 1 los ácidos grasos libres para las dos condiciones realizadas no tuvieron un aumento significativo durante la experimentación, esto se debe a la resistencia de alteración térmica que presenta la oleína de palma alto oleico. Con respecto al valor límite para los aceites ( $< 5\%$ ), los resultados no superaron el límite. Para el índice de anisidina los productos de oxidación primaria se descomponen formando aldehídos y cetonas (16). Según la figura 2 la fritura atmosférica fue superior a la vacío, esto se da a que en la fritura atmosférica está más expuesto a la luz, el aire y a una temperatura más alta que la de vacío, lo cual acelera la oxidación del aceite, por lo tanto, es un indicador fiable de la rancidez oxidativa del aceite y es un buen indicador (15). Con respecto al valor límite para el aceite ( $< 150-160$ ), los resultados no superaron el límite. Según la figura 3 los dienios formados en la fritura al vacío superaron en casi toda la experimentación a la atmosférica, esto se debe a que se presentó más alteración hidrolítica por parte de los plátanos utilizados que en la atmosférica, sin embargo, los productos de oxidación primaria son los menos evidentes y por lo general se presentan en combinación con medición de productos de oxidación secundaria para una visión más completa del proceso de deterioro (15). Con respecto al valor límite de descarte de aceite, no hay un valor límite establecido. El color es uno de los parámetros más empleados para el desecho de aceite, ya que la fritura genera tonalidades oscuras por las alteraciones especialmente en la reacción oxidativa (17). Según la figura 4 la fritura al vacío mostro más variabilidad que la atmosférica durante la experimentación, esto se atribuye a los residuos del plátano que se almacenaron durante la recolección del aceite que siguieron reaccionando en la muestra, lo que generó diferencias de color. Según la tabla 5, el IC para la mayoría de aceites analizados se encuentran entre  $+2$  a  $+20$  con un color entre amarillo pálido a naranja, exceptuando los que se encuentran en la región negativa que están entre  $-40$  a  $-20$ ,  $-20$  a  $-2$  que esta entre verde profundo a verde amarillento. Con respecto al valor límite, no hay un valor límite establecido. Durante la fritura por inmersión se generan una variedad de productos poliméricos que representa el aumento de la viscosidad de los aceites vegetales altamente oxidados después de la fritura

(15). Según la figura 5 se puede notar diferencias entre las dos frituras, siendo la atmosférica más alta, esto se debe a que hubo mayor exposición de calor y de luz que dan inicio a formación de compuestos poliméricos incrementando la viscosidad. Con respecto al valor límite ( $<27$  mPa.s a  $50^{\circ}\text{C}$ ), los resultados no superaron el límite.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos durante las diferentes determinaciones de deterioro en las muestras de aceite, permiten decir que la fritura usando oleína de palma alto oleico brinda buena resistencia a las alteraciones para las dos condiciones de fritura, por una parte, gracias a la instauración del aceite como resistencia térmica y la relación producto/aceite en la freidora, por otro lado, la temperatura del medio que no fue muy alta ni periodos largos de fritura. Durante los ensayos de las pruebas de deterioro de aceite, se puede considerar que el índice de Anisidina es la que mejor indica la continuidad de los cambios de alteración que se generan durante la fritura.

## REFERENCIAS

1. Olmos AM. Cadena Productiva del Plátano Departamento del Casanare 2015: [23 p.].
2. Ramírez AE, Ovando AC, Godínez JR. Cambios químicos de los aceites comestibles durante el proceso de fritura. Riesgos en la salud 2013.
3. Mariscal M, Bouchon P. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. *Food Chem.* 2008; 107: 1561-9.
4. Bravo JE. Contribución al estudio de la fritura al vacío: deshidratación de rodajas de manzana. Universidad Politécnica de Valencia 2008.
5. Rojas EH, Narváez PC. Método de análisis de calidad del aceite durante el freído por inmersión para pequeñas y medianas empresas. *Ingeniería e Investigación Universidad Nacional de Colombia Bogotá.* 2011; 31: 11.
6. Suaterna AC. La fritura de los alimentos - el aceite de fritura. *Perspectivas en nutrición humana Universidad de Antioquia Medellín Colombia.* 2009; 11(1): 39-53.
7. Abilés J, Ramón AN, Moratalla G, Pérez-Abud R, Jiménez JM, Ayala A. Efectos del consumo de aceites termo-oxidados sobre la peroxidación lipídica en animales de laboratorio. *Nutrición Hospitalaria Grupo Aula Médica, S L Madrid, España.* 2009; 24(4): 473-8.
8. Boatella J. Recycled cooking oils: Assessment of risks for public health 2000.
9. Chávez A. Efecto de las variables de proceso en la obtención de plátano verde frito en condiciones de vacío. Universidad de Caldas 2014.
10. Ospina OA. Efecto del estado de maduración del plátano dominico hartón sobre la estabilidad oxidativa de oleína de palma durante el proceso de fritura. Universidad de Caldas 2014.
11. NTC 3925:1996, Análisis sensorial. Metodología. Guía general. 1996.
12. Tarmizi AHA, Niranjana K, Gordon M. Physico-chemical changes occurring in oil when atmospheric frying is combined with post-frying vacuum application. *Food Chem.* 2013; 136: 902-8.
13. Vignoni LA, M.Césari R, Forte M, Mirábile ML. Determinación de Índice de Color en Ajo Picado. *SciELO.* 2006; 17: 63-7.
14. Gao F, Yang S, Birch J. Physicochemical characteristics, fatty acid positional distribution and triglyceride composition in oil extracted from carrot seeds using supercritical CO<sub>2</sub>. *J Food Compost Anal.* 2016; 45: 26-33.
15. Shahidi F, Zhong Y. Measurement of antioxidant activity. *J Funct Foods.* 2015; 18: 757-81.
16. Caballero B, Finglas PM, Toldrá F. *Encyclopedia of Food and Health.* Elsevier Ltd. 2016.
17. Sánchez-Gimeno AC, Negueruela AI, Benito M, Vercet A, Oría R. Some physical changes in Bajo Aragón extra virgin olive oil during the frying process. *Food Chem.* 2008; 110: 654-8.

# CAMBIOS EN MICROBIOTA DEL ENSILAJE DE RESIDUOS DE PESCADO CON *L. plantarum* AISLADA DE INTESTINO DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*)

MICROBIOTA CHANGES IN WASTE FISH SILAGE WITH *L. plantarum* ISOLATED FROM GUT RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*)

PLAZA, J. L. M.Sc.<sup>1\*</sup>, BOLÍVAR, G. Ph.D.<sup>2</sup>, RAMÍREZ, C. Ph.D.<sup>3</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** El aumento en el consumo de pescado a nivel mundial trae consigo también un aumento de los residuos generados, debido a que su uso se da principalmente como pescados enteros eviscerados o fileteados. El ensilado biológico de pescado es una alternativa que permite el aprovechamiento de estos subproductos mitigando el efecto de la acumulación de los mismos, pudiéndose utilizar como una fuente proteica para la alimentación animal. **Objetivo:** El objetivo de este trabajo fue evaluar la evolución de la microbiota en el proceso de fermentación en un ensilaje biológico de residuos de pescado con bacterias ácido lácticas mediante la evaluación de las propiedades microbiológicas y pH. **MÉTODOS:** Se evaluó inicialmente la concentración de azúcar como fuente de carbono (10, 20 y 30% p/p), se midió el pH y los azúcares como indicativo del proceso de fermentación durante 15 días. Se utilizó un diseño completamente al azar para observar diferencias significativas entre las concentraciones en el pH a lo largo del proceso de fermentación. Con la concentración escogida en la etapa inicial, se llevó a cabo la evaluación de las propiedades microbiológicas a través del tiempo del ensilado biológico (recuento de enterobacterias, coliformes, mohos y levaduras, mesófilos y bacterias lácticas). **Resultados:** En la evaluación de la concentración del azúcar no existieron diferencias significativas al final del proceso de fermentación con un valor de 4.30, por lo tanto se escogió la concentración de 10% para el proceso de ensilaje. En la evaluación de las propiedades microbiológicas, el recuento inicial de los residuos de pescado sin

inocular presentó valores mayores a  $1 \times 10^3$  UFC/mL para mesófilos, entéricas, coliformes, bacterias lácticas, mohos y levaduras. A partir del día 6 de fermentación existe una inhibición total de entéricas, coliformes, hongos y levaduras con un pH de 4.4 hasta el final del proceso. **Conclusión:** El recuento final con la ausencia de patógenos deteriorantes y un pH de 4.4 a los 15 días de fermentación, indican un buen estado microbiológico el ensilado de residuos de pescado, debido a la carga de bacterias lácticas al inocular es lo suficientemente grande para inhibir por competencia y predominar en el sustrato, obteniéndose un producto adecuado apto microbiológicamente para la elaboración de raciones aplicadas a acuicultura.

**Palabras clave:** Bacterias lácticas, ensilado, residuos de pescado.

## ABSTRACT

**Background:** The increase in worldwide fish consumption also brings an increase in waste generated, because its use is mainly as whole fish gutted or filleted. The biological fish silage is an alternative that allows the use of these byproducts mitigating the effect of the accumulation thereof and it can be used as a protein source for animal feed. **Objective:** The aim of this study was evaluate the evolution of the microbiota in the fermentation process in a biological fish waste silage with lactic acid bacteria by assessing microbiological and pH properties. **Methods:** Sugar concentration was initially evaluated as a carbon source (10, 20 and 30% w / w), pH and sugars was measured as indicative of the fermentation process for 15 days. A

<sup>1</sup> Profesor Auxiliar, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle. Cali, Colombia.

<sup>2</sup> Profesor Titular, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Universidad del Valle Cali, Colombia.

<sup>3</sup> Profesora Asociada, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: jose.plaza@correounivalle.edu.co

completely randomized design to see significant differences between the concentrations in the pH at the end of the fermentation process was used. The chosen concentration in the initial stage, was carried out the evaluation of the microbiological properties of biological silage (enterobacteria, coliform bacteria, molds and yeasts, lactic bacteria and mesophilic). **Results:** In the evaluation of sugar concentration, there weren't significant differences through fermentation process with a pH value of 4.30, thus, the concentration of 10% for evaluation of the microbiological properties was chosen. The initial count of the fish waste without inoculation showed values greater than  $1 \times 10^3$  CFU / mL for mesophilic, enteric coliforms, lactic bacteria, fungi and yeasts. From the 6th day of fermentation there was a complete inhibition of enteric coliforms, fungi and yeasts at pH 4.4 until the end of the process. **Conclusions:** The final tally with the absence of pathogens and spoilage pH 4.4 at 15 days of fermentation, indicating a good quality for fish waste silage because the strain of lactic acid bacteria was enough to inhibit competition and dominate in the substrate, obtaining a product microbiologically suitable for the preparation of rations applied to aquaculture product.

**Keywords:** lactic acid bacteria, fish waste, silage.

## INTRODUCCIÓN

En Colombia la producción de pescado fue de 89.654 toneladas para el 2013 (1), teniendo un buen ritmo de crecimiento, con una rentabilidad mayor que las actividades agropecuarias tradicionales. Además del pescado entero eviscerado congelado, la demanda por filetes congelados es cada vez mayor, generando una serie de residuos (cabezas, vísceras, aletas, colas, piel y esqueleto) que requieren ser dispuestos adecuadamente ya que pueden generar impactos negativos en el entorno (2). El ensilaje biológico de residuos de pescado ha sido una metodología que ha permitido el aprovechamiento de los subproductos del proceso de eviscerado y fileteado, los cuales al ser mezclados con una fuente de carbono y al adicionarle un inóculo con bacterias lácticas ocurre un proceso fermentativo, disminuyendo el pH y generando un producto con características deseables y de alto valor nutricional para la alimentación animal, actualmente este proceso de lleva a cabo a través de procesos artesanales, sin garantizar la calidad del proceso desde el punto de vista microbiológico (4). Por lo tanto, el objetivo

de este estudio fue el de evaluar las características microbiológicas del ensilado de pescado con un inóculo de bacterias lácticas (*L. plantarum* CPQBA 144-09 DRM 03) en el proceso de fermentación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Elaboración del ensilaje

Para la elaboración del ensilaje, se utilizaron 2 kg de vísceras y residuos, a la cual se le agregó 200 mL de un inóculo que contenía la bacteria ácido láctica (*L. plantarum* CPQBA 144-09 DRM 03) aislada del intestino de trucha arcoíris. Inicialmente se evaluó el efecto que tiene diferentes concentraciones de azúcar para estudiar cual concentración favorece la disminución de pH en el ensilado; las concentraciones de azúcar fueron 10, 20 y 30 % (p/p). Los ensilados se dejaron fermentar durante 15 días en un recipiente cerrado bajo condiciones ambientales para su posterior seguimiento (temperatura promedio de 30 °C y una humedad relativa promedio del 73,5 % en un cuarto oscuro); se les determinó el pH y azúcares totales cada tres días. Se utilizó un diseño completamente al azar con tres niveles y tres repeticiones, para determinar si habían diferencias significativas entre los niveles con un valor de  $p < 0.05$ . El análisis estadístico se realizó con el Software Minitab 16.

Posteriormente, según los resultados obtenidos en la evaluación preliminar de la fuente de carbono, se realizó el ensilado con la concentración de azúcar escogida, se midieron cada tres días durante un total de 15 días los parámetros microbiológicos (bacterias entéricas, bacterias mesófilas, mohos y levaduras, coliformes y bacterias ácido lácticas) y pH.

### Medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Para medir la evolución del pH se utilizó un pH metro HANNA INSTRUMENTS HI 9321 calibrado. Los azúcares se determinaron por el método de Antrona cada 72 horas. Las pruebas microbiológicas se llevaron a cabo de acuerdo a las Normas Técnicas Colombianas (NTC). El recuento de aerobios mesófilas (NTC 4519 de 1998) se realizó en Agar PlateCount (APC) incubando las muestras a 35°C por 48h; el recuento de mohos y levaduras (NTC 4132 de 2008) se determinó por siembra en Potato Dextrosa Agar (PDA) a 25°C durante un periodo de 3; las bacterias ácido lácticas (NTC 5034 de 2002) se determinaron por siembra

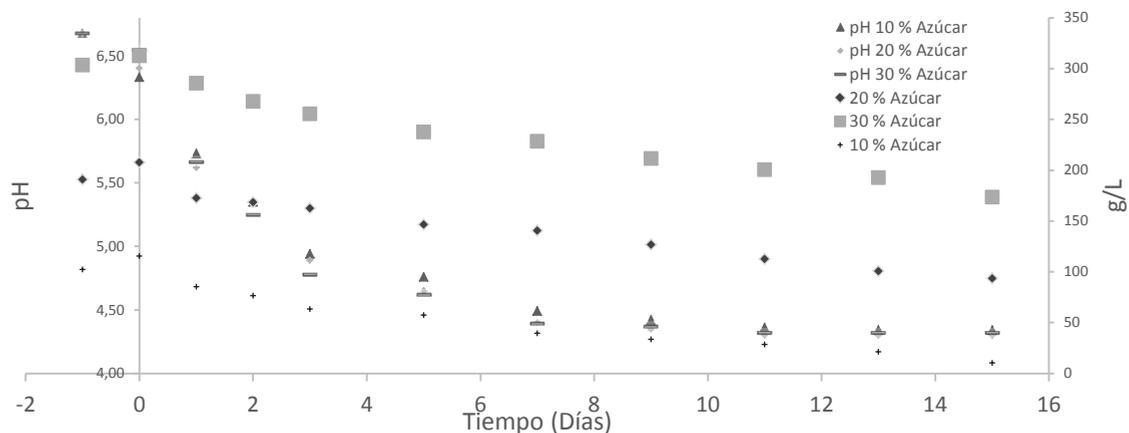
en agar Man, Rogosa y Sharpe (MRS) incubadas a 30°C durante 48 horas. Para realizar el conteo de coliformes totales se utilizó el método del Número más probable (NMP) (NTC 4516 de 1998) a 35 °C de 24 a 48 horas.

## RESULTADOS

### Prueba de ensilaje

En la Figura 1, se muestra el efecto que tiene diferentes concentraciones de azúcar (10%, 20% y

30%) en la disminución de pH durante el proceso de fermentación del ensilado. Se observa que la disminución de pH se da más rápidamente durante los primeros cinco días de fermentación, luego existe una disminución paulatina hasta alcanzar un pH de 4.34, 4.30 y 4.32 para las concentraciones de 10%, 20% y 30% de azúcar respectivamente. El ANOVA no muestra diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) para ninguna de las concentraciones de azúcar en el transcurso del tiempo en la disminución de pH.



**Figura 1.** Evolución del pH en el proceso de fermentación del ensilado de pescado para diferentes concentraciones de azúcares

### Análisis Microbiológico

Los resultados del análisis microbiológico del ensilado de pescado con 10 % de azúcar como fuente de carbono se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1.** Resultados de los análisis microbiológicos del ensilado a través del tiempo de fermentación

Días	Mesófilos PCA	Mohos y levaduras PDA	Entéricas Rojo	NMP Lauryl	Lácticas MRS	pH
Sin Inocular	5,00E+04	2,00E+06	5,00E+03	>2400	2,17E+04	6,77
0	9,40E+08	2,00E+06	3,00E+03	1,10E+03	1,50E+08	6,39
3	6,50E+08	1,00E+03	0	2,40E+02	1,43E+08	4,73
6	4,10E+08	0	0	0	1,20E+08	4,52
9	5,46E+08	0	0	0	9,20E+09	4,44
12	5,70E+08	0	0	0	5,80E+09	4,38
15	3,80E+08	0	0	0	2,20E+09	4,31

## DISCUSIÓN

### Prueba de ensilaje

En la figura 1, se observa una rápida disminución del pH al inicio, esto se debe a que la fuente

de carbono proporciona una fuente de energía de fácil acceso para el crecimiento microbiano, permitiendo dar inicio a la fermentación casi de manera inmediata, con la consecuente producción de ácidos orgánicos que disminuyen el pH en el medio, favoreciendo la conservación de la matriz alimenticia e

inhibiendo la proliferación de patógenos y deteriorantes. De la misma forma, Spanopoulos *et al.* (4), afirman que en el ensilado de pescado las bacterias ácido lácticas, utilizan como fuente de energía los azúcares como son la glucosa y fructosa, facilitando su crecimiento rápido y presentándose de inmediato la fermentación, que produce un ambiente anaeróbico que convierte a esta en la población predominante, generando la formación de ácido con la consecuente disminución de pH, lo que indica una buena fermentación. Bello (5), estudió el proceso de elaboración del ensilado y su comportamiento durante el almacenamiento a temperatura ambiente durante 150 días, a través de índices físico-químicos y microbiológicos, observando que durante los primeros cinco días hay una disminución drástica del pH, de valores de 6 hasta aproximadamente 4, dicho valor de pH refleja la fase o fenómeno de acidificación por parte de los microorganismos. Los resultados presentados concuerdan con los de Spanopoulos *et al.*(4), en donde se fermentaron residuos de tilapia con diferentes concentraciones de melaza (12, 15, 20 y 25%), y encontraron que no existían diferencias significativas para los valores obtenidos de pH con los diferentes porcentajes de melaza ( $p > 0.05$ ). Se tiene muy poca información disponible de sustratos utilizados para los procesos de ensilaje de pescado con bacterias ácido lácticas a nivel industrial, pero tradicionalmente se ha utilizado la miel o melaza, que es un líquido denso, viscoso de color oscuro, subproducto de la fabricación o refinación de la sacarosa, glucosa y fructosa procedente de la caña de azúcar. Este subproducto es comúnmente destinado para la producción de alimentos concentrados de animales y como suplemento alimenticio para el hombre, a pesar de que, en la actualidad su costo depende de otros factores, por ejemplo el biocombustible. (6)

Es así, como se debe explorar alternativas con otras materias primas, como el azúcar, que contiene componentes esenciales que favorecen el crecimiento de las BAL y proporcionan alternativas de relación costo-beneficio, a nivel de producción y de rentabilidad, incrementando la proliferación del microorganismo rápidamente, valiéndose de sustratos disponibles para su uso (7).

### Análisis microbiológico

El recuento inicial de los residuos de pescado sin inocular presenta valores mayores a  $1 \times 10^3$  UFC/mL para mesófilos, entéricas, coliformes, bacterias

lácticas, hongos y levaduras, como se observa en la tabla 1; esta alta carga microbiana son características propias de la flora presente en los residuos sin tratar, debido a que estos son dispuestos de forma inadecuada, provocando contaminación microbiana endógena y exógena. Al inocular los residuos no se presentó una disminución significativa de los valores microbianos, debido a que aún las bacterias lácticas no han empezado sus acciones metabólicas, de producción de biomasa y bactericidas que provoquen la disminución de la flora presente en el medio. Posteriormente, se observa que a partir del día 3 de fermentación, las bacterias ácido lácticas consiguieron disminuir la población inicial de coliformes, mohos y levaduras, e inhibieron totalmente la población de entéricas. A partir del día 6 de fermentación existe una inhibición total de entéricas, coliformes, hongos y levaduras con un pH de 4.52. Finalmente, se observa que durante el transcurso de la fermentación la cantidad de bacterias mesófilas aumentaron, esto se debió al crecimiento de las bacterias ácido lácticas inoculadas, lo cual se infiere del hecho que este tipo de microorganismos son mesófilos. El recuento final indica un buen estado de calidad para los ensilados de residuos de pescado debido a la carga de bacterias lácticas al inocular es lo suficientemente grande para inhibir por competencia y predominar en el sustrato, además también de los diferentes mecanismos como la producción de ácido láctico, favorece la disminución de pH; la producción de bacteriocinas y demás compuestos que hacen que el medio se convierta en un ambiente hostil para los demás microorganismos. Ramírez (8), afirma que las bacterias lácticas exhiben propiedades inhibitorias, debidas a la acidificación del medio y la producción de bacteriocinas, contra mohos y levaduras causantes del deterioro en alimentos, demostrando así que en una muestra control se favorecía el crecimiento de éste tipo de microorganismos por la ausencia de la bacteria láctica utilizada y por la acidificación insuficiente por parte de la carga microbiana propia de la materia prima. González & Marín (9), afirma que el comportamiento microbiológico de los ensilados de pescado es debido principalmente al bajo pH, la incorporación del inóculo, actividad enzimática, condiciones de anaerobiosis y la presencia de compuestos producidos por las bacterias ácido lácticas. Las determinaciones de pH, recuento de aerobios mesófilos, mohos y levaduras demuestran la poca alteración deteriorativa que sufre el ensilado de re-

siduos de pescado durante la fermentación caracterizándolo como un producto estable. Por otro lado, un bajo pH lleva a la inhibición coliformes totales y *Escherichia Coli*, los cuales son microorganismos indicadores de la calidad sanitaria de los procesos de pasteurización e higiene de equipos y materiales empleados (10).

## CONCLUSIÓN

El porcentaje de fuente de carbono utilizado para el ensilaje de pescado para el proceso de fermentación no presentó diferencias significativas a lo largo de todo el proceso, por lo cual la utilización de la concentración del 10 % presenta una ventaja al proceso, al utilizar menos cantidad de un insumo. El estudio realizado evidenció que el proceso de ensilaje de residuos de pescado presentó características microbiológicas adecuadas al no tener presencia de microorganismos entéricos, mohos y levaduras, coliformes totales al final del proceso, obteniéndose con estos resultados un producto apto microbiológicamente para elaboración de raciones utilizadas en la acuicultura, aprovechando material de residuo.

## REFERENCIAS

1. FAO 2014. The State of World Fisheries and Aquaculture 2014 [Internet]. 2014. Disponible en: <http://www.fao.org/fishery/topic/12253/es>.
2. Plaza J. Optimización de inóculos de microorganismos lácticos para la utilización en ensilados de residuos pesqueros. Universidad del Valle; 2014. 87 p.
3. Hoyos C. JL, Garcés C. YJ, Perea R. C. Evaluación de ensilaje biológico de residuos de pescado en alimentación de tilapia roja (*Oreochromis spp*). Biotecnol en el Sect Agropecu y Agroindustrial. 2011; 9(1): 60-8.
4. Spanopoulos M, Ponce J, Barba G, Ruelas J, Tiznado M, Hernández C, et al. Producción de ensilados biológicos a partir de desechos de escado, del ahumado de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y del fileteado de tilapia (*Oreochromis sp*), para la alimentación de especies acuícolas. Rev Mex Ing Química. 2010; 9(2): 167-78.
5. Bello R. Experiencias con Ensilado de Pescado en Venezuela [Internet]. 2010. Disponible en : <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/APH134/cap1.htm>
6. Evers D., Carroll D. Ensiling salt-preserved shrimp waste with grass straw and molasses. Anim Feed Sci Technol. 1998 Apr; 71(3-4): 241-9.
7. Ahamed J, Mahendrakar NS. Chemical and microbial changes in fish viscera during fermentation ensiling at different temperatures. Bioresour Technol. 1997; 59(1996): 45-6.
8. Ramírez C. Uso de bacterias lácticas probióticas na alimentação de camarões *litopenaeus vannamei* como inibidoras de microorganismos patogênicos. Universida de Federal Do Paraná; 2005. 174 p.
9. González D, Marín M. Obtención de ensilados biológicos a partir de los desechos del procesamiento de sardinas. Rev Científica FCV-LUZ. 2005; 14(6): 560-7.
10. Ramos B, Bucio A, Bautista C, Aranda E, Izquierdo F. Aislamiento, identificación y caracterización de bacterias ácido lácticas para la elaboración de queso crema tropical. Univ y Cienc. 2009; 25(2): 159-71.

# EFECTO DEL SECADO DEL ENSILADO DE RESIDUOS DE PESCADO CON *L. plantarum* SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL PRODUCTO

EFFECT OF DRYING PROCESS IN SILAGE FROM FISH WASTE WITH *L. plantarum* IN PHYSICO-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE PRODUCT

PLAZA, J. L. M.Sc.<sup>1\*</sup>, BOLÍVAR, G. Ph.D.<sup>2</sup>, RAMÍREZ, C. Ph.D.<sup>3</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** El ensilaje de residuos de pescado ha sido una metodología que ha permitido el uso de los subproductos generados por la industria pesquera, mediante el secado del ensilado, se busca darle mayor estabilidad a la matriz y concentrar así sus componentes para la utilización en la alimentación animal. **Objetivos:** El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del proceso de secado bajo dos condiciones de temperatura de un ensilaje biológico de residuos de pescado, sobre las características físico-químicas y microbiológicas. **Métodos:** El secado del ensilado se realizó utilizando un secador de bandejas empleando aire forzado a 0.8 m/s, se evaluaron dos condiciones de secado: 40 y 50 °C. Se secaron muestras de 1 kg para cada condición experimental y se realizaron dos repeticiones por cada condición. Se midió la humedad y la viabilidad de bacterias lácticas a través del tiempo hasta peso constante. Finalmente, se realizaron determinaciones fisicoquímicas (pH y TBA) y microbiológicas (bacterias entéricas, mesófilas, mohos y levaduras, coliformes y bacterias lácticas) del ensilado fermentado y fermentado seco. **Resultados** El tiempo de peso constante se alcanzó a los 210 y 400 minutos aproximadamente, para las temperaturas 40 y 50 °C, respectivamente. Los valores de viabilidad al alcanzar el peso constante fueron de  $6.40 \times 10^7$  y  $4.23 \times 10^7$  UFC/mL, respectivamente. Las características fisicoquímicas del ensilado fermentado y fermentado seco presentaron valores de humedad de 62.4% y 12.50%,

proteínas de 11.10% y 45.86%, grasas 9.10 y 25.30%, carbohidratos 13.60% y 7.78%, TBA 3.873 mg/kg y 4.795 mg/kg, respectivamente. No se presentaron recuentos microbiológicos para el ensilado fermentado y el seco fermentado, a excepción de mesófilos y bacterias lácticas, los cuales estuvo por encima de  $1 \times 10^7$  UFC/mL. **Conclusion:** El aumento de la temperatura en el secado del ensilado de residuos de pescado provocó que se alcanzara el tiempo de peso constante con mayor rapidez, manteniendo la viabilidad con valores por encima  $1 \times 10^7$  UFC/mL. Los resultados microbiológicos y de fisicoquímicos del ensilado fermentado seco mostraron valores aceptables, indicando el potencial uso que tiene este producto para la alimentación animal.

**Palabras clave:** Residuos de pescado, ensilado, secado.

## ABSTRACT

**Background:** The biological silage from fish waste has been a methodology that has allowed the use of by-products generated by the fishing industry. Through drying process of the silage, it seeks to give greater stability to the matrix and thus concentrate their components for use in animal feed. **Objectives:** The aim of this study was to evaluate the effect of drying process under two temperature conditions of a biological fish waste silage over the physico-chemical and microbiological characteristics. **Methods:** two drying conditions were evaluated to dry the silage: 40 and 50 °C, This was made using a tray dryer with forced air at 0.8 m/s.

<sup>1</sup> Profesor Auxiliar, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

<sup>2</sup> Profesor Titular, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Universidad del Valle Cali, Colombia.

<sup>3</sup> Profesora Asociada, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: jose.plaza@correounivalle.edu.co

Samples of 1 kg for each experimental condition were dried and two replicates were performed for each condition. Moisture and viability of lactic acid bacteria over time until constant weight was measured. Finally, physicochemical (pH and TBA) and microbiological determinations (enteric bacteria, mesophilic, molds and yeasts, coliform and lactic acid bacteria) were performed in the fermented silage and the dry fermented silage. **Results** The constant weight time was reached at the 210 and 400 minutes approximately, for the temperatures 40 and 50 ° C respectively. The viability values to achieve constant weight were  $6.40 \times 10^7$  and  $4.23 \times 10^7$  CFU/mL, respectively. The physicochemical characteristics of dry fermented and fermented silage showed values of 62.4% and 12.50% for moisture, 11.10% and 45.86% for proteins, 9.10 and 25.30% for fat, 13.60% and 7.78% for carbohydrates, 3,873 mg/kg and 4,795 mg/kg for TBA, respectively. There were no microbiological counts for fermented silage and fermented dry silage, except for mesophilic and lactic bacteria, which was above  $1 \times 10^7$  CFU/mL **Conclusion:** The increase in drying temperature of the silage caused a decrease in the time to reach the constant weight, maintaining the viability of values above  $1 \times 10^7$  CFU/mL. The physicochemical and microbiological results of dry fermented silage showed acceptable values, indicating the potential use of this product for animal feed.

**Keywords:** Fish waste, silage, drying.

## INTRODUCCIÓN

El ensilaje biológico de residuos de pescado es un proceso mediante el cual se utilizan los subproductos procedentes de la pesca, en un producto estable microbiológicamente por medio de la acidificación del medio a través del metabolismo de bacterias lácticas(1). Este proceso presenta un gran potencial para ser utilizado en la alimentación animal debido a que por un lado, se estaría utilizando una fuente de proteínas procedentes de desechos de pesca (vísceras, cola, espina, cabeza, etc), lo cual mitigaría el impacto medio ambiental de estos subproductos que no son dispuestos generalmente de forma adecuada y por el otro lado, se estaría buscando alternativas a las raciones convencionales como la harina de pescado, por lo cual la mejora de su procesamiento representa a contribuir en el conocimiento en estos tipos de procesos(2). El secado del ensilaje permitiría una mayor estabilidad en la matriz de los

residuos de pescado, debido a que la remoción de agua una vez finalizado el proceso de fermentación, eliminaría en gran parte el agua disponible para reacciones químicas deteriorantes o para microorganismos patógenos, aumentando así su vida útil y concentrando sus componentes, principalmente la proteína. Es importante ir indagando en aquellas condiciones de secado que permitan mantener algunas condiciones fisicoquímicas, como valores bajos de rancidez oxidativa, y mantener valores de viabilidad altos de bacterias ácido lácticas utilizadas en la fermentación, debido a que algunos de estos microorganismos utilizados pueden quedarse fijados en el tracto intestinal de los peces actuando como probiótico (3)

El objetivo de este trabajo fue el de evaluar dos condiciones de secado en un ensilado de residuos de pescado sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Elaboración del ensilaje

Para la elaboración del ensilaje, se utilizaron 6 kg de vísceras y residuos de pescado, a los cuales se les agregó 600 mL de un inóculo que contenía bacterias ácido lácticas (*L. plantarum* CPQBA 144-09 DRM 03) aislada del intestino de trucha arcoíris y 0.6 kg de azúcar como fuente de carbono. El ensilado se dejó fermentar durante 15 días en un recipiente cerrado bajo condiciones ambientales: temperatura promedio de 30 °C y una humedad relativa promedio del 73,5 % en un cuarto oscuro. Al final del proceso de fermentación se midieron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

### Prueba de secado

Una vez transcurridos los 15 días de fermentación, se realizó el proceso de secado del ensilado según la metodología realizada por Londoño (2011) (4). Se evaluaron dos condiciones de secado: 40 y 50 °C, con una velocidad de aire de 0.8 m/s en un secador empleando aire forzado. El proceso se llevó a cabo en un secador piloto de bandejas, el cual consiste en un armario aislado, bandejas y una fuente de calor para la circulación de aire caliente horizontal, el cual permite controlar la velocidad y la temperatura de flujo de aire. Para el proceso, se tomaron 1 kg del ensilado y se distribuyeron en bandejas metálicas de 45 x 45 cm, de tal manera que

toda la superficie quedara cubierta con una capa de aproximadamente 0,5 cm de espesor.

### Medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Para medir el pH se utilizó un pH metro HANNA INSTRUMENTS HI 9321 calibrado. Los azúcares se determinaron por el método de Antroña. Las pruebas microbiológicas se llevaron a cabo de acuerdo a las Normas Técnicas Colombianas (NTC). El recuento de aerobios mesófilas (NTC 4519 de 1998) se realizó en Agar Plate Count (APC) incubando las muestras a 35°C por 48h; el recuento de mohos y levaduras (NTC 4132 de 2008) se determinó por siembra en Potato Dextrosa Agar (PDA) a 25°C durante un periodo de 3; las bacterias ácido lácticas (NTC 5034 de 2002) se determinaron por siembra en agar Man, Rogosa y Sharpe (MRS) incubadas a 30°C durante 48 horas. Para realizar el conteo de coliformes totales se utilizó el método del Número más probable (NMP) (NTC 4516 de 1998) a 35 °C de 24 a 48 horas. Para la determinación del parámetro de oxidación lipídica (TBA) se enviaron muestras de 200 g al laboratorio de Nutriánálisis S.A., para su posterior análisis.

### Determinación de la viabilidad

Para la determinación de la viabilidad se realizó a través de un conteo de células vivas UFC/g, se tomaron 1g de muestra en 9mL de agua peptonada, se realizaron diluciones sucesivas hasta  $10^7$ , y se sembró 1 mL en superficie de placas con agar MRS azul de anilina; 48 horas después de incubación se efectuaron los conteos de las colonias (4).

### Determinación de la humedad

Para determinar el contenido de humedad de la mezcla se aplicó el método AOAC 964.22 para medición de porcentaje de humedad, en el horno de secado a 105 °C por 24 h.

## RESULTADOS

### Prueba de secado

Durante el proceso de secado del ensilado de residuos de pescado se registró el contenido de humedad (base seca) y la viabilidad de la *L. plantarum* CPQBA 144-09 DRM 03 a través del tiempo a diferentes temperaturas, obteniéndose las curvas de secado y la disminución de la viabilidad las cuales son mostradas en la Figura .

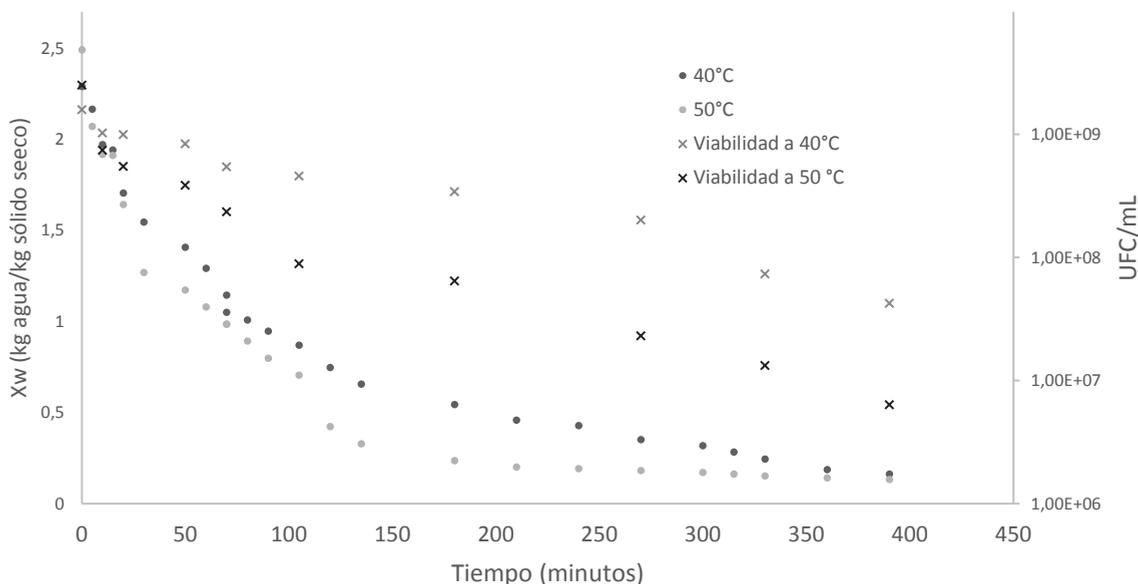


Figura 1. Curvas de secado del ensilaje de residuos de pescado a diferentes temperaturas.

### Análisis fisicoquímico y microbiológico

En la Tabla 1, se muestran los análisis fisicoquímicos del ensilado fermentado y el ensilado fermentado seco.

**Tabla 1.** Análisis fisicoquímico y microbiológico del ensilado fermentado y el ensilado seco a 50 °C.

Componente (%)	Ensilado Fermentado		Ensilado seco	
	Base húmeda	Base seca	Base húmeda	Base seca
Humedad	62,40	1,66	12,50	0,14
Proteínas (factor x 6,25)	11,10	29,52	45,86	52,41
Grasa	9,10	24,20	25,30	28,91
Cenizas	3,80	10,11	8,56	9,79
Carbohidratos	13,60	36,17	7,78	8,89
TBA (mg/kg)	3,873		4,795	
Entéricas (UFC/mL)	0		0	
Coliformes (NMP/g)	< 3		< 3	
Mohos y levaduras (UFC/ml)	0		0	
Mesófilos (UFC/mL)	7,34E+08		1,45E+07	
Bacterias Lácticas (UFC/ml)	1,58E+09		4,34E+07	

## DISCUSIÓN

### Prueba de secado

En la figura 1, se observa el efecto que tiene la temperatura sobre las curvas de secado y la viabilidad de la *L. plantarum* CPQBA 144-09 DRM 03 para el ensilado de residuos de pescado. En las curvas de secado, se observa que la cinética fue influenciada por la temperatura y que el aumento de temperatura redujo el tiempo necesario para secar el ensilado, alcanzando el peso constante en un tiempo 210 y 400 minutos aproximadamente, para las temperaturas 40 y 50 °C respectivamente, obteniéndose que cuanto mayor sea la temperatura del aire para un mismo tiempo de proceso, mayor es la velocidad del secado. Este acontecimiento ocurre debido a que las temperaturas elevadas del aire producen mayores flujos de secado, causando aumento del coeficiente de convección de transferencia de calor (5). Este mismo efecto se observa en la viabilidad de la cepa, en donde a mayor temperatura de secado, existe una mayor velocidad de pérdida de viabilidad, esto puede atribuirse a que las actividades enzimáticas presentes en las bacterias actúan bajo rangos específicos de temperatura, por lo cual su acción se puede ver afectada en un aumento de temperatura, situación que se ve reflejada en la disminución de la viabilidad celular, sin embargo, la rapidez con la que se da el proceso de secado cuando se utiliza 50°C representa una ventaja, debido a que se alcanza una menor humedad en un tiempo más corto sin perder la viabilidad de las bacterias lácticas, por lo

cual el ensilado seco bajo esta temperatura fue el que se utilizó para realizar el análisis fisicoquímico y microbiológico.

### Análisis fisicoquímico y microbiológico

En la tabla 1, se puede observar que el contenido de proteínas, grasa y cenizas después del proceso de secado con una temperatura de 50°C aumentó mientras que el contenido de carbohidratos disminuyó, estos cambios se deben a que: por un lado, los componentes del ensilado al ser secado se concentran, y por otro lado, la reducción de los azúcares se debe a que en el proceso fermentativo son utilizados como fuente energética, no sólo por las bacterias lácticas, sino también por la flora natural presente al inicio de la fermentación. Los resultados del ensilado seco muestran que pueden ser una opción para la alimentación de trucha por sus altos contenidos de proteína (45%) pero hace faltan más estudios para saber si ese porcentaje se puede asumir como proteína asimilable. Orna (6), afirma que el mejor pienso para truchas es aquel que contiene mayor cantidad de proteína de origen animal; un pienso de baja calidad debe contener un 28-35% y uno de alta calidad un 45-50%, de la misma forma Noel (7) recomienda valores por encima de 40% de proteína para alimentación de trucha, además Ramírez *et al.* (8), afirman que la digestibilidad de las proteínas del ensilado de residuo de pescado obtenido por fermentación láctica es mayor que las proteínas de fuentes tradicionales.

Los resultados obtenidos en este estudio para TBA, muestran que los valores del ensilado fermentado y el ensilado seco presentan valores muy por debajo del límite permisible recomendado por Landines & Navarrete (9), afirmando que los límites de calidad en el pescado para alimentación de peces según los cuales debe presentar niveles de un índice de ácido 2-tiobarbitúrico por debajo de 50 mg malonaldehído/kg. Un alimento oxidado presenta un máximo 130 mg malonaldehído/kg y uno muy oxidado de más de 200 mg malonaldehído/kg. Estos resultados podrían atribuirse a que durante el proceso de fermentación las bacterias lácticas son capaces de producir compuestos antioxidantes que permiten que no exista una mayor oxidación lipídica, favoreciendo los procesos de conservación del ensilado fermentado y del producto seco. En ese sentido, J. C. Ramírez, (2009) afirma que algunas bacterias lácticas tienen la capacidad para prevenir la oxidación de las grasas, de modo que, cuando es

incorporado el ensilado fermentado en dietas para animales aumenta su palatabilidad. Ramírez *et al.* (8), también afirma que la fermentación ayuda a estabilizar los lípidos presentes en el ensilado, evitando así la rancidez del producto; por lo tanto, resulta más atractivo para los animales.

## CONCLUSIÓN

El ensilado biológico seco producido a partir de residuos de pescado presentó porcentajes aceptables de proteínas, grasas, cenizas y carbohidratos, que hacen de este producto una fuente proteica y energética factible de utilizar en alimentación animal. Las condiciones microbiológicas, el pH y los valores de TBA del ensilado indican que la fermentación de estos residuos es estable, y puedan emplearse como insumos en dietas para alimentación animal.

## REFERENCIAS

1. Plaza J. Optimización de inóculos de microorganismos lácticos Probióticos para la utilización en ensilados de residuos pesqueros. *Fac Nac Agron Medellín*. 2014;67(Supl. II): 972-4.
2. Plaza J. Optimización de inóculos de microorganismos lácticos para la utilización en ensilados de residuos pesqueros. Universidad del Valle; 2014. 87 p.
3. Pérez T, León JB, Iglesias AL. Evaluación del ensilado químico de pescado en la alimentación de *Clarias gariepinus*. *Rev electrónica Vet*. 2007; VIII(9): 1-6.
4. Londoño L. Evaluación de las condiciones de secado de un alimento concentrado impregnado con la bacteria ácido láctica probiótica *Lactobacillus plantarum Lab 9 (CPQBA 144-09 DRM 03)*. Universidad del Valle; 2011. 67 p.
5. Giraldo AD, Arévalo A, Silva A, Silva P, Valdes JC, Pavlak MC. Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) en rodajas. *Cienc y Tecnol Aliment*. 2010; 30(1): 179-82.
6. Orna E. Manual de Alimento Balanceado para Truchas. 2010. 1-30 p.
7. Noel W. Formulación y Elaboración de Dietas para Peces y Crustáceos. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann; 2003. 55 p.
8. Ramírez J, Ulloa P, Velázquez M, Ulloa J, Arce F. Bacterias lácticas : Importancia en alimentos y sus efectos en la salud. *Rev. Fuente Año*. 2011; 2(7).
9. Landines MÁ, Navarrete AZ. La oxidación lipídica en la cadena de producción acuícola. *Rev Investig Agrar y Ambient*. 2009; 0(1): 13-22.
10. Ramírez JC. Aprovechamiento de fauna de acompañamiento del camarón y subproductos pesqueros mediante la elaboración de ensilado de pescado. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa; 2009. 139 p.

# EVALUACIÓN DE UNA PELÍCULA DE ALTA BARRERA PARA EL ALMACENAMIENTO DE CAFÉ EN ATMOSFERAS MODIFICADAS

## EVALUATION OF HIGH BARRIER FILM FOR STORAGE OF COFFEE MODIFIED ATMOSPHERES

Félix Octavio DÍAZ ARANGO<sup>1\*</sup>, Luis Fernando MEJÍA<sup>1</sup>, Libardo LEÓN AGATÓN<sup>3</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes** El café tostado y molido como es un producto perecedero se ve afectado por una serie de condiciones ambientales que deterioran de su calidad, en general debido a las reacciones oxidativas. En busca de dar solución a este problema se plantea el empleo de atmósferas modificadas y el uso de material de empaque de estructura de barrera (HB2T), bajo diferentes condiciones climáticas de temperatura y humedad. **Objetivo** evaluar el efecto de las variables fisicoquímicas y sensoriales en el almacenamiento del café tostado y molido bajo una estructura de alta barrera y en condiciones de atmósferas modificadas. **Métodos** El estudio se realizó tomando como materia prima un excelso (UGQ), fue procesado en el laboratorio de café de la Universidad de Caldas; el café se tostó y se molió, posteriormente se desgasificó y se empacó bajo dos condiciones: válvula desgasificadora y gas en el empaque. Se contó con una muestra patrón almacenada bajo condiciones normales. Las muestras obtenidas se enviaron a las ciudades de: Manizales con temperatura promedio de 16.5°C y humedad relativa del 90 %, Cali con temperatura promedio de 25°C y humedad relativa del 70 %, Barranquilla con temperatura promedio de 28 °C y humedad relativa del 50 %. Otras muestras se guardaron en una estufa a condiciones controladas de 35 °C y 80 % de humedad relativa. Estas muestras fueron evaluadas durante un tiempo de tres meses en donde se les realizó cada mes los análisis de pH, acidez, densidad, sólidos solubles, porcentaje de CO<sub>2</sub> y la evaluación sensorial. **Resultados** Los análisis fisicoquímicos realizados no indicaron una gran variación entre

las diferentes muestras analizadas. El porcentaje de CO<sub>2</sub> se incrementó al cabo del tiempo en la bolsa que contiene nitrógeno. El café empacado en una estructura de alta barrera (HB2T) con nitrógeno presenta un grado de rancidez (impresión global) menor que la muestra empacada en la estructura de alta barrera con válvula desgasificadora. **Conclusiones** Se comprobó que el empaque en atmósferas modificadas (AM) y con válvulas desgasificadoras mantiene la calidad del café tostado y molido durante un tiempo de almacenamiento de tres meses.

**Palabras clave:** Almacenamiento, atmósferas modificadas, café, humedad, temperatura.

### ABSTRACT

**Background** roasted and ground coffee such as a perishable product is affected by a range of environmental conditions that produce quality deterioration in general due to oxidative reactions. In search of a solution to this problem the use of modified atmosphere arises using a barrier structure (HB2T) under different climatic conditions of temperature and humidity. **Objective:** To evaluate the effect of the physicochemical and sensory storage in roast and ground coffee in a structure of high barrier and modified atmosphere conditions variables. **Methods** The study was conducted using as raw material a sublime of Colombian exports (UGQ) was subsequently processed in the laboratory coffee Caldas University; coffee was roasted and ground to a medium, then degassed and was packaged under two conditions: degassing valve and gas packaging. It was counted with a standard sample stored under normal conditions. The samples were sent to the

<sup>1</sup> Magister. Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

<sup>2</sup> Magister. Profesor Titular, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: felix.diaz@ucaldas.edu.co

cities of Manizales with an average temperature of 16.5 ° C and relative humidity of 90%, Cali with average temperature of 25 ° C and relative humidity of 70%, Barranquilla with average temperature of 28 ° C and humidity 50% relative. Other samples were stored in an oven at controlled conditions of 35 ° C and 80% relative humidity. These samples were evaluated for a period of three months where each month underwent tests PH, acidity, density, soluble solids, percentage of CO<sub>2</sub> and sensory evaluation. **Results** The physicochemical analyzes indicated no great variation between different samples analyzed. The percentage of CO<sub>2</sub> increased over time in the bag containing nitrogen. The coffee packed in a high barrier structure (HB2T) with nitrogen it has a degree of rancidity (global impression) than the sample packaged in high-barrier structure with degassing valve. **Conclusions** was found that the modified atmosphere packaging (AM) and degassing valve maintains the quality of roast and ground coffee for a period of three months storage

**Keywords:** modified atmospheres, coffee, humidity, storage, temperature.

## INTRODUCCIÓN

El café tostado se presenta comercialmente bajo dos formas, entero y molido. En estas formas fácilmente oxidables y por tanto, su calidad se debe preservar durante el almacenamiento. (1) Los métodos empleados para conservar el aroma del café son: el empaque al vacío, empaque con válvulas desgasificadoras, empaques con atmósferas inertes (modificadas (2) y en los últimos años se ha venido utilizando secuestrantes o absorbentes de gases. (3).

La degradación de las cualidades propias del café tostado ocurre cuando se almacena en condiciones no apropiadas y se atribuye principalmente a la presencia de oxígeno, humedad, luz, pérdida de volátiles y temperatura. (4).

El mayor efecto de estos valores, principalmente el oxígeno, sobre los productos alimenticios es la alteración de las propiedades organolépticas y su descomposición fisicoquímica; las técnicas de empaque ayudan a controlar en mayor o menor grado estos problemas (5). Con el fin de asegurar la calidad de los productos por largos periodos se han venido investigado diferentes técnicas fisicoquímicas para controlar el nivel de oxígeno en el empaque, tales como: remoción de gases residuales con otro gas

inerte, empaçado en vacío, desgasificación a través de válvulas adheridas. (6). Esta investigación tuvo como propósito evaluar las pérdidas de calidad a través del tiempo de café tostado y molido almacenado utilizando el empaque alta barrera y bajo atmósferas modificadas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Procesamiento del Café

Se recibieron 20 kilos de café verde excelso (UGQ) seleccionado y clasificado. se realizó su caracterización (fisicoquímica y sensorial, según la resolución 2 del 2002) (5) posteriormente se realizó la correspondiente tostión media (18 -20 de merma) (5) a una temperatura de 200°C y color medio (equivalente a 230 medido con un colorímetro Quantik según NTC 3534) y se realizó además la molienda en granulometría media (619 micras). (5) Según NTC 3534.

### Proceso de Desgasificación

El café molido se dejó durante 12 horas en un silo hermético, con el fin de llevarlo al proceso de desgasificación, una parte de este café tostado y molido se empaco directamente con válvulas desgasificadoras (unidireccional); otra parte fue sometida al proceso de desgasificación y empaque en una estructura de alta barrera (HB2T) (PET (Poliéster)(17 g/m<sup>2</sup>-12 micras)+ TINTA (1g/m<sup>2</sup>-1 micras) + ADHESIVO (2 g/m<sup>2</sup>-2 micras) + BOPP METALIZADO (HB2T) (16 g/m<sup>2</sup> – 18 micras) + ADHESIVO (2 g/m<sup>2</sup> – 2 micras) + PX6 (Polipropileno coextruido monoorientado)(20 g/m<sup>2</sup> – 25 micras). La otra parte del café se sometió al proceso de empaque roto (chuzada, método común para desgasificar). Después de ser desgasificado el café se empacó en una maquina envasadora de tipo vertical (que consta de una adaptación para inyectar gases), en unidades de 500 gramos, utilizando una estructura de alta barrera (HB2T), quedando el producto con un porcentaje final de oxígeno de 1.2 %. El café empacado fue enviado a las diferentes ciudades a las condiciones de temperatura y humedad relativa de cada ciudad.

### Análisis de calidad

Cada mes se evaluó las muestras por un periodo de tres meses en el laboratorio de café Análisis de calidad tanto fisicoquímicos como sensorialmen-

te. Los análisis fisicoquímicos realizados fueron: acidez, (ISO modificado) y pH, densidad por compactación (NTC 3534), humedad, (NTC 3534) CO<sub>2</sub>. (Medidor marca OXAN 10P). Para el análisis sensorial de las mezclas se prepararon las bebidas según la NTC 3566 (5), estas se evaluaron por medio de una prueba de perfil de sabor QDA (*Análisis Sensorial Cuantitativo Descriptivo*). Se evaluaron los siguientes atributos: Fragancia, aroma, acidez, amargo, cuerpo, rancidez e impresión global (5).

### Análisis Estadístico

El análisis estadístico que se hizo a los datos obtenidos en la evaluación sensorial, se efectuó utilizando métodos no paramétricos. Para ello se hicieron las pruebas del DNS y Kruskal- Wallis y la de Friedman.

## RESULTADOS

### Análisis Fisicoquímicos

**Tabla 1.** Análisis Fisicoquímicos y de volatilidad promedio en las condiciones de estufa y de las ciudades de Cali, Barranquilla, y Manizales por el método de Válvula y Gas.

Método	Condición	pH	Acidez	Densidad	Humedad	Sólidos Solubles	% CO <sub>2</sub>	
Método Válvula	Barranquilla	4,97	6,133	448,70	1,666	0,946	0,30	
		4,86	6,100	448,00	1,677	0,950	0,45	
		4,94	5,800	448,00	2,00	0,900	0,47	
	Cali	4,62	5,866	448,70	2,00	0,906	0,20	
		4,78	6,200	448,70	2,00	0,906	0,30	
		4,77	6,200	448,70	2,20	0,950	0,30	
	Manizales	4,98	6,533	448,70	1,13	0,950	0,30	
		4,80	6,500	448,70	1,20	0,950	0,30	
		4,80	6,490	448,70	1,20	0,940	0,30	
	Método Gas	Ciudad	pH	Acidez	Densidad	Humedad	Sólidos Solubles	% CO <sub>2</sub>
		Cali	4,956	5,833	448,70	1,933	0,900	1,005
			4,900	5,788	448,70	1,940	0,901	2,00
Barranquilla		4,700	5,800	448,70	1,950	0,906	2,500	
		4,900	5,800	447,00	1,90	0,900	2,5	
		4,800	5,700	448,00	1,90	0,901	2,6	
		4,700	5,600	447,0	2,00	0,900	2,6	
Manizales		5,003	6,066	446,80	1,566	0,936	1,45	
		4,999	5,000	447,00	1,600	0,900	1,50	
		5,001	6,000	447,0	1,600	0,92	1,50	
Método Estufa		Estufa Válvula	4,936	6,366	448,13	2,8	0,903	0,64
			4,800	6,900	450,00	3,0	0,900	1,00
	4,900		6,700	448,00	3,8	0,890	2,00	
Estufa Gas	4,936	6,366	448,13	2,8	0,903	0,64		
	4,700	6,600	448,0	3,0	0,900	1,00		
	4,800	6,600	450,0	3,0	0,890	1,16		

### Análisis de Volátiles y CO<sub>2</sub>

Los análisis de volátiles se determinaron por cromatografía de gases y CO<sub>2</sub>. El análisis de volátiles por cromatografía no funcionó ya que la muestra se encuentra muy diluida, originando muy pocas o malas señales en el cromatograma. (Ver tabla 1)

### Análisis Sensorial

Se tomaron los datos obtenidos por medio de la prueba de taza y se hace el cálculo de cada una de las muestras evaluadas sumando todos los rangos asignados en cada calificación y dividiendo por el número de catadores. Con los promedios de los rangos para las diferentes muestras y con los datos obtenidos se hace un perfil de cada uno de los atributos, mediante grafica radial que se muestran en las figuras 1, 2, 3 y 4.

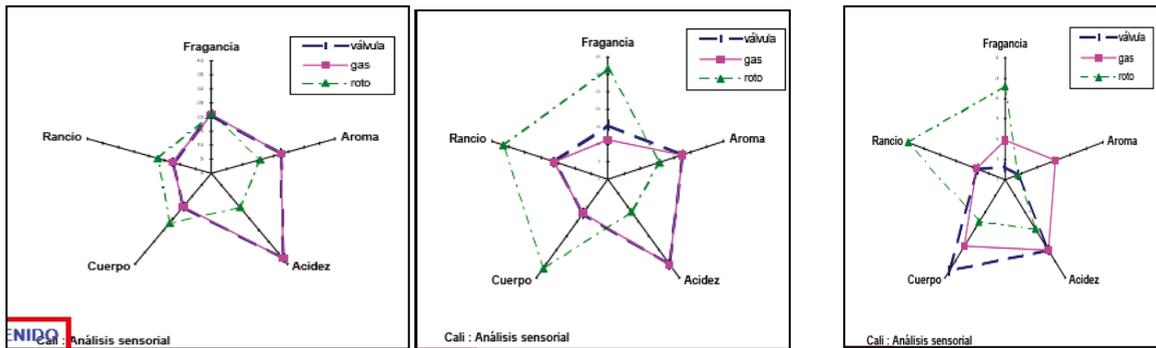


Figura 1. Análisis Sensorial Cali

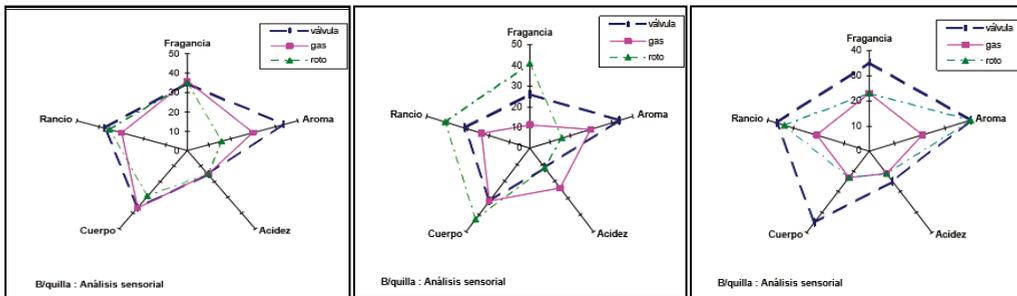


Figura 2: Acidez - Análisis Sensorial Barranquilla

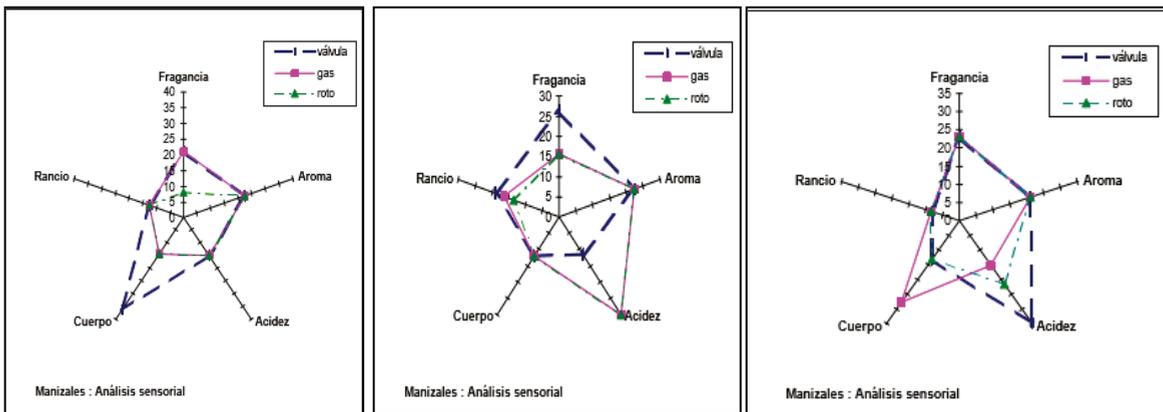


Figura 3: Acidez Análisis Sensorial – Manizales

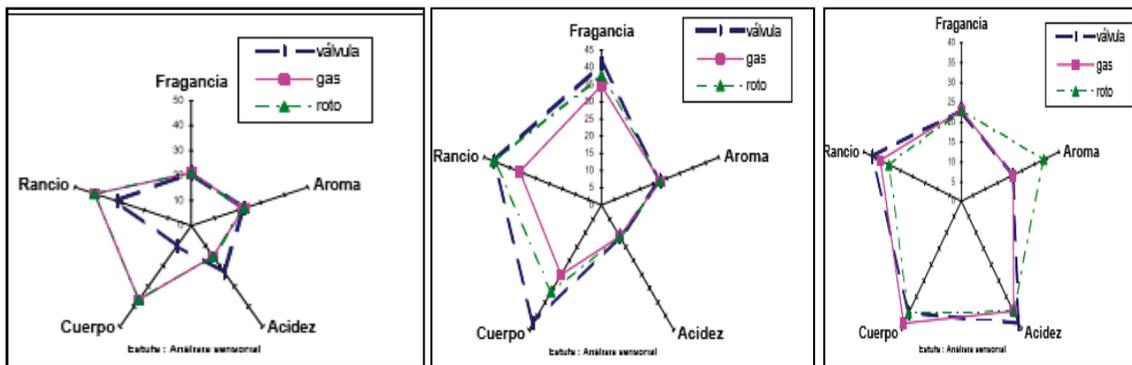


Figura 4: Análisis sensorial estufa

## Análisis Estadístico

### PRUEBA DE KRUSKAL – WALLIS

Numero de datos = 45 Numero de catadores = 3 Numero de Muestras = 9

Ho = Tcal, Ttab, las muestras son iguales

H1 = Tcal  $\geq$  Ttab, por lo menos una es diferente.

MUESTRA	FRAGANCIA Tcal	AROMA Tcal	ACIDEZ Tcal	CUERPO Tcal	RANCIO Tcal
CATACION 1	12.6	10.9	28.3	28.27	33.72
CATACION 2	33.38	30,43	35.17	33.12	36.51
CATACION 3	20.36	31.19	30.83	27.16	27.02

El valor de Ttab para todos los análisis es de 19.68.

### PRUEBA DE FRIEDMAN

Numero de datos = 12 Numero de catadores = 3 Numero de Muestras = 4

Ho= Tcal Ttab . Los tratamientos tienen efecto idéntico

H1= Tcal > Ttab .Por lo menos un tratamiento tiene efecto diferente

MUESTRA	IMPRESIÓN GLOBAL (Tcal)	RANCIDEZ (Tcal)
CATACION 1	20.27	20.33
CATACION 2	20.25	20.22
CATACION 3	20.22	20.53

El valor de Ttab para todos los análisis es de 3.86

## DISCUSIÓN

En la tabla 1 se observa que las muestras a las diferentes condiciones de almacenamiento (Estufa, Cali, Barraquilla y Manizales) y empaque (válvula, gas, y estufa) no sufren cambios significativos en las características fisicoquímicas de humedad, PH, acidez, sólidos solubles y densidad. Al muestras almacenadas en estufa de aceleración (35 C y 100 %HR) presentan unos cambios más altos en humedad. Analizando las graficas de estrellas para las cuatro condiciones se encontró que la acidez es constante en las muestras que se almacenaron durante el tiempo estipulado de estudio, en las diferentes ciudades, a las tres condiciones de empaque (válvula, gas, roto). La impresión global presenta cambios considerables en las muestras para las ciudades y las condiciones dadas, se observó que la muestra con roto baja impresión global. Se encontró que los atributos de acidez, fragancia y cuerpo no variaron considerablemente en los meses de la evaluación. En las muestras empacadas con gas no se encontraron variaciones considerables, para las diferentes ciudades, se observa que el comportamiento es mejor para la calidad sensorial.

Dado que los resultados obtenidos en la (DMS) diferencia mínima significativa entre las diferentes muestras evaluadas, arrojaron la hipótesis: Ho = Tcal < Ttab, todas las muestras son idéntica matemáticamente, pero se observa que las mejores características se presentan cuando se empaqueta el café con gas en las condiciones mencionadas. Se puede entonces afirmar que las mejores características se presentan cuando se empaqueta el café tostado y molido con válvula y gas influyendo favorablemente sobre el tiempo de almacenamiento

## CONCLUSIONES

Se concluyó que la conservación del café en una estructura de alta barrera está directamente influenciada por las condiciones de almacenamiento, condiciones de las atmosferas internas del producto y condiciones del empaque.

La mejor impresión global se obtuvo en las bolsas empacadas con válvula y gas, especialmente la ciudad de Manizales, para el caso de válvula y la muestra de Barraquilla para el caso de gas. Matemáticamente no se encontró diferencias significativas entre las diferentes muestras, pero al hacer el

análisis de las gráficas radiales se observó por medio de suma de promedios de los rangos (método de Kruskal-wallis) y los rango en las prueba de Friedman, las diferencias existentes entre las ciudades y aun entre los atributos de una misma ciudad.

## REFERENCIAS

1. Brody, Aaron I, Ph. d. Envasado de Alimentos en atmosferas Controladas, modificadas y a vacío, Editorial Acribia S.A., España. 2014,
2. Centro de preparación de café. Café Generalidades de su Proceso. 1 ed. Bogotá. 2010. 13-288 p.
3. Mesa Redonda. Envasado de Alimentos en atmosferas modificadas en Alimentación, equipos y tecnología. 2014 Julio;12(5): 53- 63p.
4. Rodríguez, M Envasado bajo atmósfera protectora en: Alimentación, equipos y Tecnología. 2015 Enero- Febrero; 3(1): 43-49p.
5. Vademecum del tostador colombiano. División de estrategia y proyectos especiales de comercialización. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. 2000.
6. Sarmiento, L.G. Envasado y empaques para la conservación de Alimentos. Editorial Acribia. 1 ed. Bogotá. 2014.

# DESARROLLO DE CAFÉ EXPRESS A PARTIR DE MEZCLAS DE CAFÉ COLOMBIANO

## DEVELOPMENT OF ESPRESSO FROM MIXTURES OF COLOMBIAN COFFEE

Félix Octavio DÍAZ ARANGO<sup>1\*</sup>, Luis Fernando MEJÍA<sup>1</sup>, Libardo LEÓN AGATÓN<sup>2</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes:** Una de las bebidas de café más tomada en el mundo es el café express. Por ello con esta investigación se desarrolló un café expresso a partir de mezclas de café colombiano en el laboratorio de café de la Universidad de Caldas. Se pretende desvirtuar el supuesto que a nivel internacional se tiene, en donde el café colombiano es reconocido por su suavidad y aroma, no siendo acto para producir bebidas de café de este tipo expés. **Objetivos:** Se tiene como objetivo general caracterizar una mezcla de café 100% colombiano para café expresso. **Método:** Inicialmente se realizó la caracterización fisicoquímica y sensorial de la materia prima (Café Excelso, pasilla y guayaba) y patrón italiano tipo expresso seleccionado. Posteriormente se prepararon mezclas de café colombiano. A estas mezclas se realizaron pruebas triangulares con diferentes porcentajes de mezcla frente al patrón italiano, con el fin de detectar diferencias. Se seleccionaron tres mezclas definidas, estas se evaluaron por medio de una prueba de perfil de sabor (Q.D.A) para café Expresso. Se verificaron los resultados a través de un análisis de varianza, pruebas comparativas de Tukey con nivel de confianza del 95% con respecto a los atributos de cremosidad, aroma, acidez y cuerpo. Los datos se corrieron en el paquete estadístico Statgraphics Plus Versión 5.1. El comportamiento de cada bebida escogida, se valoró de acuerdo a las técnicas de la WBC (World Baristas Championship). **Resultados:** Las mezclas seleccionadas generan características similares y superiores al café Italiano destacándose en su dulzura, aroma, acidez,

cuerpo, cremosidad, evidenciando que el café guayaba de baja altura al ser mezclado proporciona el cuerpo o consistencia en taza, y el excelso al ser de altura añade el toque de acidez. **Conclusiones** Es posible crear una mezcla con café 100% arábicas de diferentes regiones del país, logrando un excelente expresso.

**Palabras clave:** café, sensorial, café express.

### ABSTRACT

**Background:** One of the more coffee drinks in the world is made espresso. Therefore this research an espresso from mixtures of Colombian coffee in the coffee laboratory at the University of Caldas coffee development. It is intended to undermine the assumption that internationally have, where Colombian coffee is known for its softness and aroma, not being the act to produce this coffee drinks espresso type. Its general objectives are to characterize a mixture of 100% Colombian coffee for espresso. **Methods:** Initially the physicochemical and sensory characterization of the raw material (coffee High, pasilla and guava) and selected Italian espresso type pattern was performed. Later Colombian coffee blends were prepared. To these mixtures triangular tests with different mixing ratios versus Italian pattern, in order to detect differences were conducted. Three defined mixtures were selected, they are evaluated by a test flavor profile (QDA) Coffee Expresso. Results through a variance analysis, Tukey comparative tests with confidence level of 95% with respect to the attributes of creaminess, aroma, acidity and body were checked. The data

<sup>1</sup> Magister. Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

<sup>2</sup> Magister. Profesor Titular, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: felix.diaz@ucaldas.edu.co

were run in the statistical package Statgraphics Plus version 5.1. The behavior of each chosen drink was assessed according to the techniques of WBC (World Barista Championship). **Results** Selected mixtures with similar and superior Italian coffee standing in her sweetness, aroma, acidity, body, creaminess characteristics, showing that the low-rise guava coffee when mixed provides consistency in the body or cup, and exalted to be height adds a touch of acidity. **Conclusions:** It is possible to create a blend with 100% Arabica coffee from different regions of the country, making excellent espresso.

**Keywords:** Coffee, sensory, espresso

## INTRODUCCION

El Espresso (también conocido como “Expreso”) es una de las variedades de cafés italianos más famosos que se ha propagado alrededor del mundo. El nombre de este café, se debe a dos factores: el primero de ellos es el método de preparación y el segundo factor es su elaboración a partir de mezclas de café robustas y arábicas (3), exceptuando hasta hace unos años las variedades producidas en nuestro país por carecer supuestamente de las características necesarias exigidas para un buen expreso (1). Por lo anterior nace la idea de investigar sobre el desarrollo de mezclas de café para la elaboración de café expreso a base de materias primas 100% colombianas con características similares al preparado con mezclas de café de otros países productores del grano y que cumplan los requisitos en taza para este tipo de bebida.

Se tiene como objetivo generar caracterizar una mezcla de café 100% colombiano para café expreso y objetivos como objetivos específicos: determinar mezcla de productos y subproductos de café para café expreso, caracterización fisicoquímica y sensorial de la mezcla de café expreso a partir de la mezcla definida y evaluar el comportamiento de la bebida escogida de acuerdo a las técnicas de la WBC (*World Baristas Championship*). (8).

## MATERIALES Y METODOS

Para la realización de ésta investigación se seleccionaron 5 kilos de café colombiano de acuerdo a su calidad (excelso, pasilla, guayaba) (7). El grano de café excelso fue traído de una finca de San Pablo Nariño ubicada a altitud de 1800 m. El grano de café pasilla y la guayaba fueron enviados de la región de

Chinchiná a una altitud de 1400 m. Se utilizó como patrón de café expreso un café tostado y molido proveniente de una tostadora Italiana. La investigación se llevó a cabo en tres etapas: **En la primera etapa** se adecuó la materia prima, se sometió al proceso de trilla (Marca Quantik de 100 gramos +/- 1 g), posteriormente se determinó la humedad (Marca Quantik de 500 gramos +/- 1 g) (NTC 2558) (5). Posteriormente se determinó la densidad para el café verde y finalmente se determinó el tamaño de grano utilizando unas mallas en dieciseisavo de pulgadas. (7). **En la segunda etapa** se procedió a generar mezclas en diversas combinaciones con porcentajes de distintos tipos de grano con excelso, pasilla, guayaba hasta que se llegó a la deseada. Partiendo de porcentajes M160/40, M270/30, M380/20, M490/10 de excelso-guayaba, excelso-pasilla con un grado de tuestión similar a la muestra patrón. La tuestión de las mezclas se realizó en un tostador de laboratorio marca IR-150 Quantik con capacidad máxima de 150 +/- 1 g a 210 °C determinándose el grado de tuestión (5)(7) y la pérdida de peso (colorímetro IR- 800 marca quantik,) la **pérdida de peso** (% merma) se determinó en una balanza de presión Fenix-Plus con una precisión de +0.01g y la humedad para el café tostado se llevó a cabo en un horno a 105 °C (NTC 3534) (7). La densidad se determinó en una probeta de 100 ml, el tamaño de partícula con una serie Tayler, NTC 3534 (5). El pH se determinó para el café Italiano y la mezclas 1, 2 y 3, medidos en el potenciómetro (7). **En la tercera etapa** se seleccionaron las mezclas según porcentajes y caracterización de café a nivel sensorial. Para el análisis sensorial de las mezclas se prepararon las bebidas según la NTC 3566 (5) seguidamente se realizó una prueba triangular con el fin de detectar diferencias entre las mezclas, esto según la NTC 2681 (5). Se definieron tres mezclas como similares al patrón, estas se evaluaron por medio de una prueba de perfil de sabor QDA (*Análisis Sensorial Cuantitativo Descriptivo*) para café Expreso (7). Las muestras seleccionadas se prepararon con café tipo expreso siguiendo la metodología de la WBC (8). Los atributos calificados fueron: color, cremosidad, aroma, sabor, dulzura, acidez, amargo, cuerpo, astringencia, impresión global.

Teniendo en cuenta las calificaciones del QDA para cada atributo de las mezclas y muestra patrón, se les realizó análisis de varianza ANOVA (con el paquete estadístico Statgraphics plus versión 5.1), pruebas comparativas de Tukey a un nivel de con-

fianza de 95%, con el fin de encontrar diferencia entre las muestras con respecto a sus medias en los atributos principales de cremosidad, aroma, acidez y cuerpo. (4).

## RESULTADOS

### Primera etapa, análisis fisicoquímicos de la materia prima

En la tabla 1 se presentan los resultados de la caracterización de la materia prima y el patrón de café Italiano.

**Tabla 1.** Caracterización fisicoquímica de la materia prima

Materia prima	Excelso	Pasilla	Guayaba	Patrón
Humedad	12,0 %	10,7 %	11 %	2,0%
Densidad	722 g/l	684 g/l	657 g/l	620 g/l
Color				199
Granulometría				613,4
pH				5,41
Merma por tostión	17	18		17

### Segunda Etapa Mezclas

Las mezclas preparadas se sometieron a una catación por 30 jueces quienes dieron los siguientes resultados:

**Tabla 2.** Número total de aciertos y no aciertos para las mezclas.

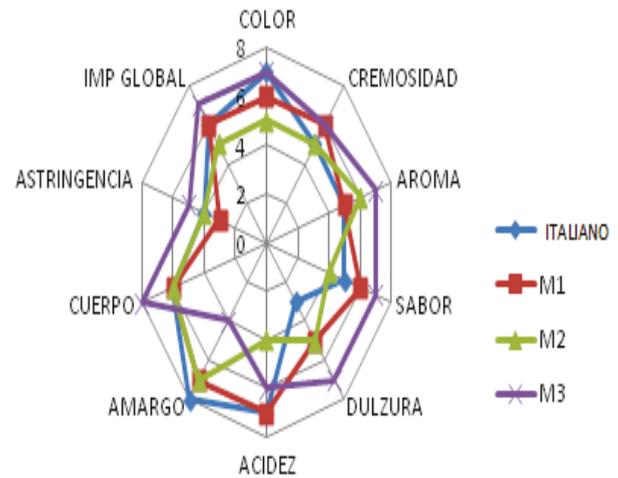
Mezclas	Excelso-guayaba excelso - pasilla				Total
	Patron italiano	Mezcla	Aciertos	No aciertos	
1	100%	60/40	13	17	30
2	100%	70/30	18	12	30
3	100%	80/20	16	14	30
4	100%	90/10	21	9	30
5	100%	60/40	26	4	30
6	100%	70/30	24	6	30
7	100%	80/20	20	10	30
8	100%	90/10	23	7	30

### Tercera Etapa caracterización fisicoquímica y sensorial de las mezclas

**Tabla 3.** se presentan los resultados de la caracterización fisicoquímica de las tres mezclas escogidas por el panel.

Caracterización	Mezcla 1 (Excelso-guayaba)	Mezcla 2 (Excelso-pasilla)	Mezcla 3 (Excelso-pasilla)
Color	190	182	193
Humedad	1,0	1,1	1,0
Densidad	1,11	1,05	1,11
Granulometria	600,9	600,9	600,9
pH	5,16	5,04	5,41

En el figura 1 se presentan los resultados del perfil sensorial de las tres muestras seleccionadas y el patrón Italiano.



**Figura 1.** Perfil sensorial para las muestras calificadas por los jueces semientrenados y el juez entrenado y express

### Análisis Estadísticos para las mezclas de café expresso

En la tabla 4 se reportan los resultados obtenidos del análisis estadístico.

**Tabla 4.** Tabla ANOVA y Tukey para la Cremosidad, acidez y cuerpo según el tratamiento por el paquete estadístico Statgraphics plus versión 5.1

Fuente	Sumas de Cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor	Total	(Corrección)
Entre grupos	22,6342	3	7,54474	3,64	0,0177	cremosidad	147,132
Intra grupos	124,498	60	2,07497				63
Entre grupos	236719	3	0,0789063	0,07	0,9773	acidez	71,1236
Intra grupos	70,8869	60	1,18145				63
Entre grupos	336875	3	0,112292	0,06	0,9822	cuerpo	119,474
Intra grupos	119,138	60	1,98563				63

Tabla Tukey \* indica una diferencia significativa.

Método: 95,0 porcentaje Tukey						
TTO	Frec.	Media	Grupos	Contraste	Diferencias	limites
Patrón	16	4,99375	X	M1- M2	0,51875	1,01872
M1	16	5,95	XX	M1- M3	0,48125	1,01872
M3	16	6,43125	X	M1 – Patrón	0,9526	1,01872
M2	16	6,46875	X	M1 – M3	0,0375	1,01872
				M2 – patrón	*1,475	1,01872
				M3 – patrón	*1,475	1,01872

## DISCUSIÓN

Las muestras de Excelso, Pasilla y Guayaba se encuentran dentro de los rangos establecidos de humedad (10% - 12%) (7). La densidad del café se encuentra dentro de los rangos establecidos para este tipo de materia prima (7). (Tabla 1). El patrón Italiano presento color Oscuro (NTC 3534) (5), granulometría media (NTC 3534) (5) y una densidad normal y pH medio. (Tabla 1). Los porcentajes de merma de las tostiones de las tres materias primas (Excelso, pasilla y Guayaba), se encuentran dentro de la merma de tostión promedio (18- 22%). (7) y similitud al patrón Italiano.

Las tablas de interpretación estadística, (Amerine y Col) (7) (6) para la prueba triangular (tabla 2) para un nivel de significancia 5%, 1%, 0.1%, para 30 evaluaciones se aprecia que la mezcla 1 presentó una mayor significancia a nivel estadístico. A partir de la mezcla (Excelso-guayaba) se escogieron las mezclas que mejor similitud presentaron, las cuales fueron la mezcla 1 y 3.

Las tres mezclas definidas como la similar al patrón se evaluaron fisicoquímica y sensorialmente (tabla 3). Se aprecia que los análisis realizados a las tres muestras seleccionadas y el patrón son muy similares. Sensorialmente se destacó la mezcla 1 en cuanto a su crema, dulzura, acidez, cuerpo y poca

astringencia, tuvo mejores preferencias por esta por encima que la muestra patrón por ser una taza aromática con un equilibrio y crema (figura 1.) La crema es parte irremplazable del atractivo visual en un expreso, donde se concentran los aromas, la sensación en la boca y, el sabor (4).

En un blend de café expreso, la mayor excelencia residirá en una taza aromática, con un cuerpo completo y una acidez media-baja. Una taza redonda en la que no sobresalgan ni la acidez ni el cuerpo ni el amargor (1).

En la tabla 4 el ANOVA descompone la varianza de cremosidad en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de los grupos. El F-ratio, que en este caso es igual a 3,63607, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0,05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de la cremosidad para un nivel de tratamiento a otro con un nivel de confianza del 95,0%. Por lo tanto se hace necesario aclarar los resultados por medio de la prueba tukey, indicando que la muestra patrón y M1 son iguales con respecto a sus medias, con menor cremosidad la muestra patrón. (figura 1). Los tratamientos M2 y M3 son diferentes a la muestra patrón presentando mayor cremosidad.

## CONCLUSIONES

Es posible crear una mezcla para café expres con café 100% arábicas de diferentes regiones del país, comprobándose que el café guayaba de baja altura proporcionan el cuerpo o consistencia en taza, y el excelso al ser de altura dan el toque de acidez, sabor y aroma necesarios.

Un solo tipo de calidad de café no podría brindar el resultado de la mezcla obtenida, el utilizar excelso o subproductos de pasilla y guayaba por sí solas, creaba un café “desafinado” para el paladar y el olfato, no quedando plenamente satisfechos con el resultado de un café de una misma procedencia.

En el análisis de varianza y pruebas de tukey, se pudieron encontrar las diferencias significativas y su similitud de atributos con respecto a la muestra patrón siendo la mezcla 1 (60/40 Excelso-guayaba) la mejor opción, creándose un café de origen único especial con notas distintivas que fueron apreciadas en la taza.

El origen del café y sus porcentajes de mezcla adecuada, hizo que el café tuviera su propia personalidad, generando características similares y superiores al café Italiano destacándose en su dulzura, aroma, acidez, cuerpo, cremosidad.

## AGRADECIMIENTO

Especial agradecimiento a la Universidad de Caldas, al laboratorio de café de la Universidad de Caldas, y a la Ingeniera Kerly Andrea Marmol Realpe.

## REFERENCIAS

1. Aroma y sabor: El café espresso y las mezclas (II). En: <http://www.aromaysabor.com/el-cafe-espresso-y-las-mezclas-ii/1274/>. (17, Octubre 2015; 1p.
2. Clarke, r.j; Macrae, R. Coffe Techonology, London, Elsevier Applied Sciences. (Editors).1987; 2: 321p.
3. Díaz Arango, Félix Octavio. Caracterización Fisicoquímica y Organoléptica de un café expreso a partir de café colombiano. Trabajo de pregrado. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional Abierta y Distancia: 1994. 14p.
4. Instituto Nazionale Espresso Italiano. [Certificado espresso italiano]. En: [http://www.espressoitaliano.org/index\\_en.asp?lang=en](http://www.espressoitaliano.org/index_en.asp?lang=en). [ANONIMO]. [s.f.]. 2015 Agosto; 19: 1 p.
5. Instituto Colombiano De Normas Técnicas Icontec. Bogotá. Colombia. (COMPENDIO DE NORMAS (Norma Técnica Colombiana NTC No. 2441, NTC 2558, NTC 3534, NTC 2681, NTC 2442, NTC 3566) Bogotá, ICONTEC 2013.
6. Sas Institue inc., sas/stat. Statistical Analisis System. SAS. User´s Guide Version 8.0. U.S.A: Edition Cary. N.C. 2002.
7. Vademecum del tostador colombiano. División de estrategia y proyectos especiales de comercialización. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. 2000.
8. Word barista championship En: <http://www.worldbaristachampionship.org/> Mayo de 2015.

# APORTE RADIANTE DURANTE EL SECADO POR VENTANA DE REFRACTANCIA DE RODAJAS DE ZAPALLO (*Cucurbita maxima*)

RADIANT CONTRIBUTION DURING REFRACTANCE WINDOW DRYING OF PUMPKIN (*CUCURBITA MAXIMA*) SLICES

M. J. ORTIZ-JEREZ<sup>1</sup>, Ph.D.; C. I. OCHOA-MARTÍNEZ<sup>1\*</sup>, Ph.D.

## RESUMEN

**Antecedentes:** El secado por ventana de refractancia se ha utilizado principalmente para deshidratar frutas y verduras en forma de purés, jugos, y rodajas. El método usa agua caliente para transferir energía a un material sobre una lámina de un material transparente al infrarrojo que está en contacto directo con el agua. De acuerdo a la teoría todas las formas de transferir calor desde el agua caliente están presentes: conducción, convección y radiación. La contribución de cada forma de transferir calor y masa se ha comenzado a investigar. En un estudio reciente de las autoras, el análisis de las formas de transferir calor indicó que la conducción tiene un papel importante mientras que la contribución de la radiación es insignificante en muestras gruesas y aún en aquellas de bajo espesor. **Objetivo:** Establecer la cantidad de energía radiante global durante el secado RW de rodajas de zapallo. **Métodos:** Se registró la cantidad de radiación global superficial en rodajas delgadas de zapallo durante 3.3h de exposición a energía térmica provista por un baño con agua caliente sobre membranas tipo Mylar<sup>TM</sup> y LDPE (Poliétileno de Baja Densidad). Las mediciones se tomaron sobre las muestras dispuestas en las membranas a una distancia de 1 cm usando un potenciómetro láser con detección en el rango UV-VIS a FIR (infrarrojo lejano) en seis puntos sobre el área de secado. **Resultados:** El tiempo de secado hasta humedad constante coincidió con el tiempo en que el flux de calor radiante fue ascendente (50 min para LDPE y 70 min para Mylar<sup>TM</sup>), luego y hasta el final de la exposición la medición permaneció aproximadamente constante. Los valores más

altos de radiación global se obtuvieron con LDPE. El incremento de radiación con LDPE fue 53.1% y con Mylar fue 30.3%. Al final de la exposición, las muestras sobre LDPE presentaron mayor desecación. **Conclusiones:** Se evidenció energía radiante durante el secado RW. Las muestras delgadas sobre membranas transparentes a la radiación térmica absorben altas porciones de energía radiante y transmiten bajas cantidades durante el secado. El LDPE presenta mejores características de transparencia a la radiación térmica que el Mylar<sup>TM</sup>.

**Palabras clave:** Secado, ventana de refractancia, Radiación térmica, INFRARROJO, conservación de alimentos

## ABSTRACT

**Background:** Refractance window drying has been used to dehydrate fruits and vegetables from purees, juices, and slices. The method uses hot water to transfer energy to a material onto a sheet of infrared transparent material that is in direct contact with water. According to the theory all forms of transferring heat from the hot water are present: conduction, convection and radiation. The contribution of each form of heat and mass transfer has begun investigating. In a recent study by the authors, analysis of the ways to transfer showed that heat conduction plays an important role while the contribution of radiation is negligible in thick samples and even in those of low thickness. **Objective:** To determine the overall amount of radiant energy during RW drying pumpkin slices. **Methods:** The amount of surface global radiation in thin slices of pumpkin was recorded during 3.3h of exposure to

<sup>1</sup> Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: claudia.ochoa@correounivalle.edu.co

thermal energy provided by a bath with hot water on Mylar™ and LDPE (Low Density Polyethylene) membranes. Measurements were taken 1 cm over the samples using a laser sensing potentiometer in the UV-VIS range to FIR (far infrared) at six points on the drying area. **Results:** Drying time to constant humidity coincided with the time when the radiant heat flux was up (50 min to 70 min for LDPE and Mylar™). After that, the flux was approximately constant. Higher values of global radiation were obtained with LDPE. The increase of radiation was 53.1% for LDPE and 30.3% for Mylar. At the end of the test, samples dried over LDPE had higher drying. **Conclusions:** Radiant energy was evident during RW drying. Thin samples on transparent membranes absorbed high portions to thermal radiation, and they transmit low amounts of radiant energy during drying. The LDPE showed better transparent characteristics to thermal radiation than Mylar™.

**Keywords:** Drying, Refractance Window, *Thermal Radiation*, Infrared, *Food Preservation*

## INTRODUCCIÓN

Considerando el secado de ventana de refractancia (RW) como un proceso combinado principalmente de energía infrarroja (IR) y conducción de calor (1), el entendimiento del fenómeno radiante es indispensable. No obstante, la transferencia de calor y masa durante el secado de alimentos con energía infrarroja no está bien descrita en la literatura.

Los cuerpos sólidos emiten radiación térmica porque generan calor que está localizado en el rango de longitud de onda de 0.1-100  $\mu\text{m}$  dentro del espectro. La radiación infrarroja cae en esta categoría. La región de longitud de onda para los alimentos puede restringirse al rango IR de 0.75 a 15  $\mu\text{m}$ . Un material secado por IR requiere una baja reflectividad para minimizar la potencia requerida para calentarlo y, dependiendo del proceso de secado específico, una absorptividad media y una transmisividad alta para evitar un calentamiento intensivo y daño térmico de la superficie (2). Sin embargo, estas propiedades dependen de la longitud de onda, el espesor del material y el contenido de agua.

Teóricamente, los cuerpos sólidos absorben todo tipo de radiación en una capa muy pequeña cerca de la superficie expuesta, que se convierte en calor. En cuerpos húmedos como los alimentos, la temperatura más alta se produce en la capa de

superficie irradiada y depende del coeficiente de extinción. Por lo tanto, el flux de calor generado en una capa debajo (o encima) de la superficie es conducido hacia el centro del cuerpo, así como a su superficie y dependiendo de su magnitud, la humedad interna migra a la superficie a diferentes tasas. El calor de la superficie al aire circundante se transfiere por convección. Cuando se permite una temperatura superior en la superficie del producto, el contenido de humedad de las muestras se reduce a un ritmo mayor (3).

Según (4), la eficacia de cualquier sistema de calentamiento basado en infrarrojo depende principalmente del tipo de fuente de calor utilizado. Dado que la energía infrarroja se convierte en calor sólo cuando el material absorbe la radiación, es esencial seleccionar una fuente de calor que emita radiación en el rango en el que el material a procesar tiene una absorción máxima. Los estudios sobre la absorción de la radiación infrarroja por los productos alimenticios han demostrado que presentan una fuerte absorción en el rango de 2.5-3.0  $\mu\text{m}$  (5). El secado RW se ha fundamentado en que una absorción máxima de radiación IR de las muestras ocurre en los picos de máxima transmisión del Mylar™ en 3.0, 4.7 y 6.0  $\mu\text{m}$  (6), contradiciendo lo expuesto por Sandu (1986). El objetivo de este estudio es conocer magnitudes aproximadas de radiación global medida muy cerca de muestras delgadas de zapallo secadas mediante RW y analizar su comportamiento en el tiempo de secado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se cortaron láminas de zapallo de 1.5 mm de espesor con un contenido de sólidos solubles aproximado de 5.2°Brix, y un contenido de humedad de 93.5 % (bh). Para el secado RW se utilizó un baño termostático. La temperatura del baño se fijó en  $90 \pm 5^\circ\text{C}$  y las condiciones del laboratorio fueron cercanas a  $24^\circ\text{C}$  y 73% HR.

El agua del baño se puso en contacto con una membrana de plástico sobre la cual se dispusieron las muestras. El diseño experimental consistió en un factor (tipo de membrana) con dos niveles (Mylar™ y LDPE o plástico estirable conocido como papel film). Las variables de respuesta fueron la radiación global y el contenido de humedad en el tiempo. La radiación global se midió con un potenciómetro láser PowerMax™ modelo 5200 (Moletron Detector Inc.) con detección en el rango espectral

0.25-11  $\mu\text{m}$  cubriendo todas las formas de radiación en las regiones ultravioleta-visible (0.2-0.75  $\mu\text{m}$ ) e infrarrojo cercano NIR, medio MIR y parte del lejano FIR (0.75-11  $\mu\text{m}$ ). El equipo consta de un medidor análogo que contiene el sensor láser y una pantalla digital de datos de tres dígitos en el rango de 30 mW-10 kW, con precisión de  $\pm 3\%$  (7). El contenido de humedad se calculó a partir de la pérdida de peso en el tiempo evaluada en intervalos de 10 min empleando una balanza digital (Ohaus® Adventurer™) con precisión de 0.01 g.

Debido a la poca información asociada a la cantidad de radiación en el proceso de secado RW, se diseñaron dos experimentos preliminares. El primero consistió en medir la radiación emitida desde la

superficie del agua caliente en el baño sin membrana y el segundo cubriendo el baño con la membrana de secado según cada tipo. Posteriormente, se hicieron pruebas para detectar la cantidad de radiación global superficial en las muestras de análisis.

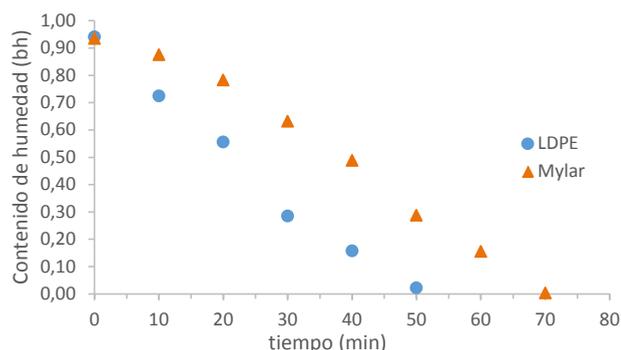
En todos los experimentos, el medidor se dispuso a una distancia promedio de 1 cm por encima de las muestras (o de la superficie del baño), y se realizaron mediciones en seis (6) puntos sobre el área de secado con el fin de tomar el promedio aritmético de las mismas. La radiación promedio (en Watts) se dividió por el área circular del detector ( $A_d = 2.35 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ) para obtener el flux de calor radiante en  $\text{W/m}^2$  (8). La figura 1 presenta imágenes del montaje.



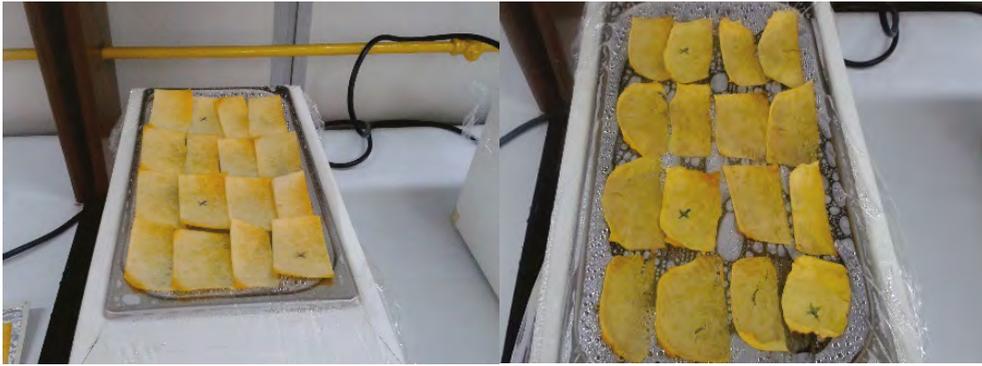
**Figura 1.** Medición de la radiación global de muestras delgadas de zapallo sobre Mylar

## RESULTADOS

El contenido de humedad de las muestras de zapallo durante los tratamientos con lámina de Mylar™ y LDPE se muestra en la figura 2. Se evidencia que la velocidad de secado sobre LDPE es mayor que sobre Mylar™. Por esa razón, el tiempo aparente de secado con LDPE fue menor alcanzando valores de humedad constante a 50 min, mientras que en el secado con Mylar™ se alcanzó a 70 min. Sin embargo, a pesar de presentar mayor pérdida de humedad y menor tiempo de secado, las muestras sobre LDPE experimentaron mayor degradación evidenciada en el cambio de aspecto y color (ver figura 3).

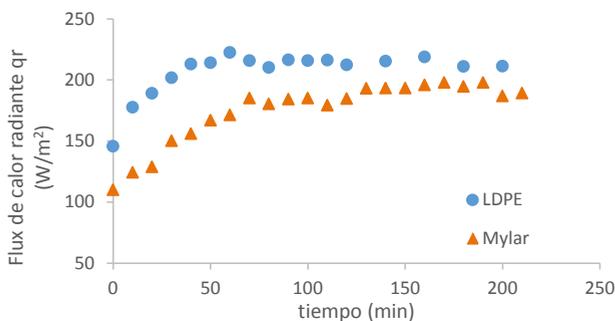


**Figura 2.** Curvas de secado RW de rodajas delgadas de zapallo sobre diferentes membranas



**Figura 3.** Rodajas de zapallo en diferentes instantes del secado sobre LDPE

El comportamiento de la radiación global medida cada 10 minutos durante 3.3 h (200 min) se presenta en la figura 4. Se observa la diferencia que resulta de utilizar una u otra lámina de plástico. Los valores más altos de flux de calor radiante global se obtuvieron con LDPE, superando notoriamente a los obtenidos con Mylar™. Aunque la diferencia es alta al principio, ésta se va reduciendo hacia el final del tiempo de exposición. En ambos casos, es evidente una tendencia ascendente durante aproximadamente la primera hora de exposición pero luego se estabiliza alrededor de 213 W/m<sup>2</sup> para el LDPE y 188 W/m<sup>2</sup> para el Mylar™. Estos valores coinciden con el tiempo en que se alcanzó el mínimo de humedad (en cada caso), como se observó en la figura 2.



**Figura 4.** Efecto de la membrana sobre el flux de calor radiante global durante el secado RW

## DISCUSIÓN

Teóricamente, a medida que ocurre el secado aumenta las reflexión desde el material y disminuye la refracción (absorción y transmisión). Sin embargo, la figura 4 muestra que durante el secado el flux de calor radiante es ascendente; entonces es posible que haya igual refracción pero repartida en

porciones diferentes (mayor transmisión y menor absorción). Cuando ya no hay humedad en el material y el secado ha terminado, toda la energía se transmite y nada se absorbe, por eso toma un valor constante la lectura del potenciómetro.

Otra posible explicación es que idealmente se puede asumir el alimento como un cuerpo negro; como si toda la radiación incidente se absorbiera en su superficie y no reflejara o transmitiera porción alguna. Esto puede aplicarse a las muestras de zapallo analizadas debido a su muy bajo espesor, entonces la radiación detectada por el sensor se debe posiblemente a que toda la energía absorbida es emitida desde la superficie en todas las direcciones y a todas las longitudes de onda (2). Esta energía emitida depende únicamente de la temperatura de las muestras y de las características de su superficie. No obstante, esto necesita investigarse más.

Aunque no es posible determinar si la radiación de la detectada es por infrarrojo, los valores globales obtenidos para el secado RW (Mylar™) son bajos (aumentan 30.3%, desde 109 hasta 185 W/m<sup>2</sup> en 70 min) comparados con los obtenidos con papel film (aumenta 53.1% desde 145 hasta 213 W/m<sup>2</sup> en 50 min). Esto refuerza discusiones previas indicando que hay materiales poliméricos con mejores propiedades ópticas que el Mylar™ (9), aunque en este caso el papel film no es el más adecuado por la desecación que provoca en las muestras.

En cuanto a las mediciones preliminares al secado, los resultados indicaron que al poner la lámina de Mylar™, la radiación detectada por el dispositivo (158.9 W/m<sup>2</sup>) es ligeramente menor que en el estado inicial sin membrana (162.1 W/m<sup>2</sup>) y por el contrario al poner el LDPE la detección aumenta casi 60% (258.5 W/m<sup>2</sup>). Luego, esta radiación disminuye por la formación de burbujas y vapor de agua bajo

la membrana que impiden el paso de la radiación. En ambos casos, sólo la radiación vuelve a incrementarse cuando se ponen las muestras húmedas sobre la membrana. Este aumento en la detección de la radiación sobre el LDPE se entiende como la máxima transmisión capaz de detectar el potenciómetro a las condiciones dadas del agua, pero en el caso del Mylar<sup>TM</sup> la leve disminución del valor detectado puede significar que en lugar de transmitirse radiación, ésta se absorbera por el material.

## CONCLUSIONES

La radiación refractada (absorbida y transmitida) por las muestras secadas sobre Mylar<sup>TM</sup> es menor que en las secadas sobre papel film. Este último, por sus características, es aparentemente transparente no sólo a la radiación visible sino a la IR. Tal como lo afirma la teoría del secado RW, hay incidencia de la radiación IR. Cuando el alimento está dispuesto en la membrana hay alta absorción y baja transmisión pero esta proporción va cambiando a medida que se va secando. Diversos materiales poliméricos transparentes a la radiación infrarroja pueden servir como membrana de secado RW, sin embargo no todos proveen las mejores características de calidad del producto final.

## AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece a COLCIENCIAS por la beca otorgada para sus estudios doctorales.

## REFERENCIAS

1. Ortiz-Jerez M.J., Ochoa-Martínez C.I. Heat transfer mechanisms in conductive hydro-drying of pumpkin (*cucurbita maxima*) pieces. *Dry Technol.* 2015; 33(8): 965-972.
2. Ratti C, Mujumdar A.S. Infrared Drying. En Mujumdar A., *Handbook of Industrial Drying*. New York: Ed. Marcel Dekker; 1995 1: 1-39.
3. Chua K.J., Chou S.K., Mujumdar A.S., Ho J.C., Hon C.K. Radiant-convective drying of osmotic treated agro-products: effect on drying kinetics and product quality. *Food Control.* 2004; 15, 145-158.
4. Hebbar H.U., Vishwanathan K.H., Ramesh M.N. Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *J Food Eng.* 2004; 65, 557-563.
5. Sandu C. Infrared radiative drying in food engineering: A process analysis. *Biotechnol Progr.* 1986; 2: 109-119.
6. Nindo C.I., Tang J. Refractance Window dehydration technology: a novel contact drying method. *Dry Technol.* 2007; 25 (1): 37-48.
7. Molecron Detector, Inc. (1 de Abril de 1993). Manual de operación PM5200.
8. Ortiz, M.J. Modelación matemática del secado de alimentos por el método de ventana de refractancia. [Tesis Doctoral]. [Cali, Colombia]: Universidad del Valle: 2014. 126 p.
9. Ortiz-Jerez, M.J., Gulati, T., Datta, A., & Ochoa-Martínez, C.I. Quantitative Understanding of Refractance Window<sup>TM</sup> Drying. *J Food & Bioproducts Processing.* 2015; 95: 237-253.

# EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE HUMEDAD Y CAMBIOS DE COLOR EN AHUYAMA (*Cucúrbita moschata*) SOMETIDA A OSMODESHIDRATACIÓN Y FRITURA POR INMERSIÓN

EVALUATION OF MOISTURE LOSS AND COLOR CHANGES IN SQUASH (*Cucúrbita moschata*) SUBJECTED TO OSMOTIC DEHYDRATION AND DEEP FRYING.

Jhonatan RODRÍGUEZ Esp. G.E.<sup>1\*</sup>, Francisco J. CASTELLANOS Ph.D.<sup>2</sup>, Armando ALVIS B. Ph.D.<sup>3</sup>, Luis F. GUTIÉRREZ Ph.D.<sup>4</sup>, William Y. DÍAZ Ing. Alimen.<sup>5</sup>, Danny GARZÓN J. Ing. Alimen.<sup>6</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** La ahuyama es un producto que en la región Caribe se ha consumido como vitualla en sopas o cremas, hecho que ha sido motivo de rechazo para niños y jóvenes y causa de desinterés de su producción y bajo consumo. Dado ello, la fritura por inmersión puede ser un método alternativo de procesamiento en ahuyama, donde los alimentos adquieren características particulares en aroma, humedad, color y sabor deseables. **Objetivos:** Se evaluó el efecto de distintas condiciones de operación (tiempo, temperatura y presión absoluta) en la fritura por inmersión de rodajas de ahuyama osmodeshidratada variedad "*Cucúrbita moschata*", analizando parámetros como el contenido de humedad y los cambios de color. **Métodos:** Se realizó un proceso de osmodeshidratación durante 150 minutos a rodajas de ahuyama con una solución ternaria al 60% constituida por agua, sacarosa y NaCl con agitación constante de 160 rpm, luego un freído por inmersión donde se aplicó un experimento factorial con tres factores denominados temperatura con dos niveles 150 y 190°C, presión 40 y 80 kpa y tiempo 30, 90, 150, 210 y 270 segundos,

luego se realizó un test de Tukey ( $\alpha=0,05$ ) para determinar el mejor tratamiento con referente a las variables de respuesta humedad, luminosidad ( $L^*$ ), absorbancia ( $a^*$ ) y transmitancia ( $b^*$ ). **Resultados:** La osmodeshidratación disminuyó un  $27,1\pm 2\%$  la humedad inicial del producto. El menor valor de humedad fue de 1,83%, se alcanzó con la interacción de 190°C, 40 kpa y 270 segundos considerándose como mejor tratamiento. En los aspectos de color para  $L^*$  y  $a^*$  la interacción temperatura, presión y tiempo resultó ser altamente significativa, mientras que para  $b^*$  solo la interacción temperatura y tiempo. **Conclusiones:** En los parámetros  $L^*$  y  $a^*$ , la presión de vacío tuvo mejor influencia en el producto cuando interactuó con la temperatura de 190°C, obteniéndose productos más agradables que cuando se utiliza freído atmosférico. Para el parámetro  $b^*$ , la temperatura de 190°C interactuando con niveles elevados de tiempo (150, 210 y 270 segundo) no es recomendable, ya que presenta tonos azules y oscuros indeseables para la apariencia organoléptica del producto.

**Palabras clave:** Color, deshidratación, fritura, humedad.

<sup>1</sup> Profesor Auxiliar, Corporación Universitaria del Caribe (CECAR), Sincelejo, Colombia, Estudiante Maestría, Universidad de Córdoba, Montería Córdoba.

<sup>2</sup> Profesor Asociado, Director Maestría en Ingeniería de Alimentos, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingenierías.

<sup>3</sup> Profesor Asociado, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia, Facultad de Ingenierías, Grupo de Investigación en Procesos y Agroindustria de Vegetales.

<sup>4</sup> Profesor Asistente, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingenierías.

<sup>5</sup> Estudiante Maestría en Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Córdoba, Montería Córdoba.

<sup>6</sup> Estudiante Maestría en Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingenierías Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

\* Autor a quien debe dirigirse la correspondencia: francisco.castellanos@ucaldas.edu.co

## ABSTRACT

**Background:** The pumpkin is a product in the Caribbean region has been consumed as victuals in soups or creams, a fact that has been the cause of rejection for children and youth, and because of lack of production and low consumption. Given this, deep frying can be an alternative method of processing squash where foods have properties in aroma, moisture, color and desirable flavor.

**Objectives:** the effect was evaluated of different operating conditions (time, temperature and absolute pressure) in the deep-frying of sliced squash variety osmodeshidratada "*Cucúrbita moschata*", analyzing parameters such as moisture content and color changes. **Methods:** One osmotic dehydration process was performed for 150 minutes at squash slices with a ternary solution consisting of 60% water, sucrose and NaCl with constant stirring at 160 rpm, then a fried by immersion where a factorial experiment was applied three factors called temperature with two levels 150 and 190°C, pressure 40 to 80 kpa and time 30, 90, 150, 210 and 270 seconds, then Tukey test ( $\alpha = 0.05$ ) it was performed to determine the best treatment with respect to the response variables humidity, luminosity ( $L^*$ ), absorbance ( $a^*$ ) and transmittance ( $b^*$ ). **Results:** The osmotic dehydration decreased by  $27.1 \pm 2\%$  initial product moisture. The lower moisture value was 1.83%, was reached with the interaction of 190°C, 40 kPa and 270 seconds regarded as the best treatment. In aspects of color  $L^*$  and  $a^*$  the temperature, pressure and time interaction was found to be highly significant, while for  $b^*$  only temperature and time interaction. **Conclusions:** Regarding the  $L^*$  and  $a^*$  parameter, the vacuum pressure had better influence on the product when it interacted with the temperature of 190°C to obtain products more pleasant when using atmospheric frying. For the parameter  $b^*$ , the temperature of 190°C interacting with high levels of time (150, 210 and 270 seconds) is not recommended because it has undesirable organoleptic product appearance and dark blue tones.

**Keywords:** Colour, dehydration, frying, moisture.

## INTRODUCCIÓN

La producción de ahuyama durante los años 2011 al año 2013, ha presentado un crecimiento del 44,5% a nivel nacional (1). En Colombia, en especial en la región Caribe, se consume de forma

directa como "vituala" en la preparación de sopas o elaboración de cremas (2), hecho que muchas veces es motivo de rechazo sensorial por niños y jóvenes por aspectos de sabor, por tal razón, se disminuye el consumo lo que afecta a su vez la producción en la zona (3). Dado esto, la propuesta de realizar pasabocas utilizando el proceso de deshidratación vía fritura por inmersión puede ser presentada como una alternativa para la ahuyama, debido a que los alimentos transformados por este proceso adquieren características particulares en aroma y textura que difícilmente se pueden conseguir con otras técnicas (4). Durante la fritura por inmersión, se produce una costra crujiente alrededor del alimento que otorga características sensoriales aceptables para su consumo (5). Además, se resalta el mejoramiento del sabor que otorga el ingreso del aceite al alimento como parámetro de calidad (6). Otro parámetro de calidad es el color final del producto, ya que con este se controla en forma visual su particularidad organoléptica. La ahuyama posee un contenido de humedad alto 90% (7) (8), por tanto, para se propone utilizar la deshidratación osmótica disminuir este valor (9). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de distintas condiciones de operación (tiempo, temperatura y presión absoluta) en la fritura por inmersión de rodajas de ahuyama osmodeshidratada de variedad "*Cucúrbita moschata*", analizando distintos parámetros de calidad como el contenido de humedad y los cambios de color.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Acondicionamiento de la materia prima y pretratamiento osmótico.

Se utilizó ahuyama de variedad "*Cucúrbita moschata*" adquirida en un almacén de cadena de la localidad con similar índice de madurez y con un sacabocados se formaron cilindros finitos con diámetros de  $2,0 \pm 0,5$ cm y espesores de  $7 \pm 0,2$  mm. Luego se introdujeron en una solución osmótica preparada con sacarosa comercial, agua y cloruro de sodio (NaCl) con concentración de sólidos del 60%, constituida por 55% de sacarosa y 5% NaCl (10), se manejó una relación producto-solución de 1:20p/v, con agitación constante de 160 r.p.m. durante 150 minutos.

### Proceso de freído por inmersión.

La fritura se realizó en un reactor de fritura con capacidad de 10 L; equipado con tres termocuplas tipo k, un tablero de control automatizado, una bomba de vacío y un software. La relación producto-aceite fue de 1:100 p/v, es decir, se cargaron 106 g de rodajas de ahuyama en 7 litros de aceite, se utilizó una mezcla de aceites vegetales refinados. Para el proceso de fritura por inmersión, primero se aislaron las muestras, luego se obtuvo la temperatura de referencia del aceite (150 °C y 190 °C), después se procedió a ubicar las muestras de ahuyama en la canastilla y a obtener la presión de referencia del sistema de freído (40 y 80 kpa). Luego se realizó la inmersión hasta cinco tiempos de referencia (30, 90, 150, 210, 270 segundos) con tres repeticiones para cada condición de fritura, una vez finalizada la fritura se procedió al enfriamiento por 1 minuto, luego las muestras se empacaron en bolsas resellables y se determinó el contenido de humedad y de color de las muestras fritas.

**Análisis físico-Químicos**

A los productos obtenidos se les realizaron pruebas de humedad según el método de la AOAC 23.003 (11) y las mediciones de color se realizaron utilizando un colorímetro marca Konica Minolta de referencia CM5.

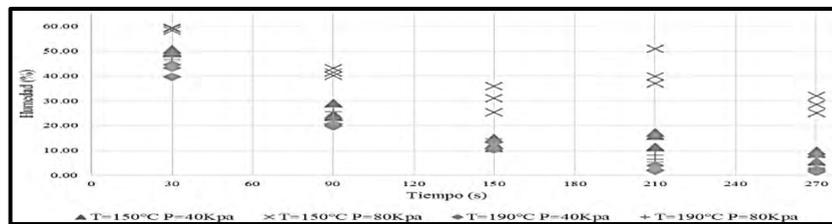
**Análisis estadísticos**

Los datos obtenidos se analizaron utilizando un experimento factorial 2x2x5 bajo arreglo completamente al azar, por triplicado, los factores fueron la temperatura del aceite con dos niveles (150, 190°C), la presión del sistema (40, 80 kpa) y el tiempo de fritura (30, 90, 150, 210, 270 segundos), se realizó un análisis de varianza y se realizó un Tukey ( $\alpha=0,05$ ). Las variables de respuestas fueron el contenido de humedad y las coordenadas de color luminosidad ( $L^*$ ), absorbancia ( $a^*$ ) y transmitancia ( $b^*$ ).

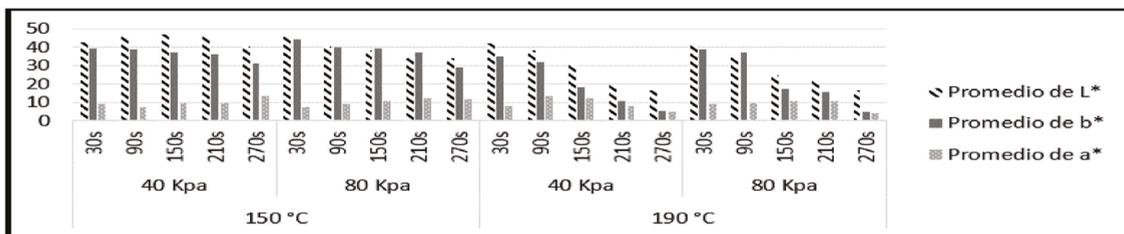
**RESULTADOS**

**Tabla 1.** Resumen del Análisis de varianza para las variables de respuesta.

Factores e interacciones	Humedad	$L^*$	$a^*$	$b^*$
	Valor P	Valor P	Valor P	Valor P
Temperatura	<2,2e-16***	< 2e-16***	0,012778*	<2e-16***
Presión	<2,2e-16***	1,19e-05***	0,799962	0,0454 *
Tiempo	<2,2e-16***	< 2e-16***	0,000124***	<2e-16***
Temperatura: Presión	9,16e-14***	0,00589**	0,331937	0,5366
Temperatura: Tiempo	1,06e-07***	7,71e-10***	7,38e-11***	9,29e-11***
Presión:Tiempo	0,00450**	0,03004*	0,035236*	0,2386
Temp: Presión:Tiempo	0,00127**	0,00572**	0,023240*	0,5886



**Figura 1.** Pérdida de humedad con respecto al tiempo.



**Figura 2.** Valor medio de los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  para los tratamientos.

**Tabla 2.** Resultados de test comparaciones múltiples de Tukey para la humedad (L\*) y (a\*)

Presión (kpa)	Tiempo (s)	Temperatura (°C)	Humedad media %	L*	a *	
40	30	150	49,85 <sup>a</sup>	42,72 <sup>a</sup>	8,89 <sup>a</sup>	
		190	42,44 <sup>b</sup>	42,36 <sup>a</sup>	8,24 <sup>a</sup>	
	90	150	25,67 <sup>a</sup>	45,83 <sup>a</sup>	7,64 <sup>a</sup>	
		190	20,34 <sup>b</sup>	38,07 <sup>a</sup>	13,23 <sup>a</sup>	
	150	150	12,81 <sup>a</sup>	46,89 <sup>a</sup>	9,57 <sup>a</sup>	
		190	12,41 <sup>a</sup>	29,95 <sup>a</sup>	12,55 <sup>a</sup>	
	210	150	14,84 <sup>a</sup>	46,29 <sup>a</sup>	10,49 <sup>a</sup>	
		190	2,67 <sup>b</sup>	19,8 <sup>a</sup>	10,82 <sup>a</sup>	
	270	150	8,066 <sup>a</sup>	40,40 <sup>a</sup>	13,15 <sup>a</sup>	
		190	1,836 <sup>b</sup>	16,67 <sup>a</sup>	4,80 <sup>a</sup>	
	80	30	150	58,94 <sup>a</sup>	45,76 <sup>a</sup>	7,43 <sup>a</sup>
			190	47,23 <sup>b</sup>	40,81 <sup>a</sup>	8,93 <sup>a</sup>
90		150	41,55 <sup>a</sup>	40,44 <sup>b</sup>	8,99 <sup>a</sup>	
		190	22,95 <sup>b</sup>	35,20 <sup>a</sup>	9,73 <sup>b</sup>	
150		150	30,74 <sup>a</sup>	38,26 <sup>b</sup>	10,77 <sup>a</sup>	
		190	12,94 <sup>b</sup>	24,53 <sup>b</sup>	10,83 <sup>b</sup>	
210		150	42,61 <sup>a</sup>	33,98 <sup>b</sup>	12,25 <sup>a</sup>	
		190	6,60 <sup>b</sup>	21,94 <sup>a</sup>	7,88 <sup>b</sup>	
270		150	28,51 <sup>a</sup>	34,17 <sup>b</sup>	11,67 <sup>a</sup>	
		190	2,84 <sup>b</sup>	16,59 <sup>a</sup>	4,08 <sup>a</sup>	

**Tabla 3.** Resultados de test de Tukey para la variable de respuesta \*b.

Temperatura (°C)	Tiempo (s)	*b
150	30	41,85 <sup>a</sup>
	90	39,32 <sup>a</sup>
	150	38,35 <sup>a</sup>
	210	36,60 <sup>a</sup>
	270	30,06 <sup>b</sup>
190	30	37,03 <sup>a</sup>
	90	34,42 <sup>a</sup>
	150	17,75 <sup>b</sup>
	210	12,97 <sup>b</sup>
	270	4,91 <sup>c</sup>

## DISCUSIÓN

La deshidratación osmótica solo contribuyó con la disminución del  $27,1 \pm 2\%$  del total de humedad inicial ( $96,1 \pm 0,11\% - 69 \pm 3,08\% = 27,1 \pm 2\%$ ), ya que se detuvo el proceso a los 150 minutos y no se alcanzó el equilibrio osmótico hasta peso constante en la muestra (12). En la pérdida de humedad con respecto al tiempo (figura 1) se observa que con  $190^\circ\text{C}$  y 40 kpa se alcanzó un valor medio inferior a los demás tratamientos, hecho atribuido a que la presión de vacío genera la mayor fuerza térmica ( $190^\circ\text{C} - 75,9^\circ\text{C} = 114^\circ\text{C}$ ) y complementada con

temperaturas superiores extrae mayor humedad por la apertura de la estructura porosa de la matriz por efecto del vacío (13). Para la pérdida de humedad, se realizó un test de Tukey (ver tabla 2), obteniéndose que a 40 kpa existen diferencias entre los valores medios de humedad dentro de los niveles de temperatura y todos los niveles de tiempo a excepción del tratamiento con 150 segundos. Con la presión de 80 kpa también se presentaron diferencias, obteniéndose valores medios más bajos con  $190^\circ\text{C}$ . De forma general, el tratamiento que arrojó mejores resultados fue la interacción de  $190^\circ\text{C}$ , 40 kpa y 270 segundos, obteniendo una humedad media del 1,84%, por tanto, a una presión de 40 kpa entre mayor sea el tiempo y la temperatura de proceso se va a extraer mayor humedad del producto (14).

En la figura 2, se muestra un gráfico descriptivo de las mediciones de las coordenadas de color L\*, a\* y b\* obtenidos para cada tratamiento, se observan valores medios similares para el parámetro de luminosidad. En la tabla 1, se muestra un resumen de los resultados del anova para los parámetros de color, en las coordenadas L\* y a\* las interacciones temperatura, presión y tiempo resultaron ser significativas, en la tabla 2, se observa que a  $150^\circ\text{C}$  existen diferencias en los niveles de presión dentro de los niveles de tiempo para L\*, a excepción del nivel de 30 segundos por considerarse un tratamiento leve, por tanto, resulta indiferente utilizar presión de vacío o presión atmosférica, pero en los demás tratamientos con la presión de vacío se obtuvieron valores medios de luminosidad más elevados con referente a la presión atmosférica, por tanto, cuando se utiliza presión atmosférica se obtienen colores más oscuros en el producto que cuando se utilizan presiones de vacío (15). Con la temperatura de  $190^\circ\text{C}$  se obtuvo que es indiferente utilizar presiones de vacío o presión atmosférica, ya que no se encontraron diferencias significativas. De forma general con  $190^\circ\text{C}$ , se obtuvieron valores medios de luminosidad más bajos con referente a los de  $150^\circ\text{C}$ . Además, después de los 90 segundos esta temperatura ( $190^\circ\text{C}$ ) es muy elevada para el procesamiento de la ahuyama, puesto que se obtuvo producto quemado y oscuro. Para el parámetro a\* solo se obtuvieron diferencias utilizando la temperatura de  $190^\circ\text{C}$  entre los niveles de tiempo de 90, 150 y 210 segundos utilizando las presiones de vacío y atmosférica. Se observan cambios visuales dado que en este punto el producto ya estaba obteniendo la crocancia característica de la fritura relacionada con

los tonos caramelo efecto de la reacción de Maillard favorecida por el enriquecimiento de sólidos de la sacarosa (15). Para los tratamientos 150°C no se presentaron diferencias en los valores medios de  $a^*$ . Por otro lado, Para  $b^*$  los cambios estuvieron condicionados por la interacción temperatura y tiempo, solo se encontraron diferencias entre la interacción de 150°C y el nivel de 270 segundos (tabla 3), por tanto, la presión no tiene ningún efecto en  $b^*$ , además, existe una relación inversamente proporcional entre el incremento del tiempo y los valores medios de  $b^*$ , es decir, que con el incremento del tiempo del freído el color amarillo tiende a disminuir apareciendo colores más azulados, fenómeno atribuido a la aparición de colores oscuros producto de la intensidad del efecto térmico.

## CONCLUSIONES

La deshidratación osmótica puede ser considerada como un método viable para la disminución del contenido de humedad en la ahuyama, ya que logró disminuir un  $27.1 \pm 2\%$  el porcentaje total de humedad. En la fritura por inmersión de ahuyama se obtiene menor porcentaje de humedad con una interacción de 190°C, 40 kpa de presión y 270 segundos. Sin embargo, para la transmitancia, la temperatura de 190°C interactuando con niveles elevados de tiempo (150, 210 y 270 segundos) no es recomendable, ya que presenta quemado en el alimento y con ello tonos de color oscuros indeseables para la apariencia organoléptica del producto. Con referente al parámetro de color  $a^*$ , la presión de vacío tienen una mejor influencia en el producto cuando interactúa con la temperatura de 190°C con referente a la presión atmosférica e igual temperatura, fenómeno similar ocurre con el parámetro  $L^*$ .

## AGRADECIMIENTOS

Jhonatan A. RODRÍGUEZ M agradece al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias).

## REFERENCIAS

1. Agronet. AGRONET con base en Evaluaciones Agropecuarias - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. [internet]. Bogotá, Colombia. 2015 [citado: 07 01 2015]. Disponible en : <http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/ReportesAjax/VerReporte.aspx> (2) Espitia C, Vallejo F, Baena, G. Correlaciones fenotípicas, genéticas y ambientales en Cucurbita moschata Duch. Acta agronomica. 2009; 1(54): 5-13.
2. Duque M. Practicas en el consumo de frutas y hortalizas en un grupo de familias de Turbo, Uraba Antioqueño. Sabaneta: Universidad de Manizales. 2010.
3. Azmil A, Keshavan M. Physico-chemical changes occurring in oil when atmospheric frying is combined with post-frying vacuum. J. Agric. Food Chem. 2013;136(2): 902-908.
4. Menendez J, Vazquez A, Oliveras C, García R, Carrasco A, Fernandez A, Segura A. Analyzing effects of extra-virgin olive oil polyphenols on breast cancer-associated fatty acid synthase protein expression using reverse-phase protein microarrays. Int j mol med. 2008; 22(4): 433-439.
5. Moyano P, Pedreschi F. Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: Effect of pre-treatments. LWT-Food sci technol. 2006;39(3): 285-291.
6. González M, Prado S. Evaluación de cuatro métodos para el secado de la pulpa de zapallo C. moschata Duch. cultivar Unapal mandarino. [Trabajo dirigido de pregrado]. [Palmira, Colombia]:Universidad Nacional de Colombia: 2003. 75p.
7. Ortiz G, Sánchez J, Valdés P, Baena G, Vallejo F. Retención de caroteno total en fruto de zapallo Cucurbita moschata Duch acondicionado por osmodeshidratación y secado. Acta Agronómica. 2008; 57(4): 269-274.
8. Shi J, Le M, Osmotic dehydration of foods: mass transfer and modeling aspects. Food rev int. 2002; 18(4): 305-335.
9. Singh B, Kumar A, Gupta A K. Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cubes. J food eng. 2007; 79(2): 471-480.
10. AOAC. Métodos de análisis de la asociación oficial de química analítica para determinar humedad, fibra, cenizas, grasa y proteína, Washington, U.S.A., Chapter 32: 1, 2, 5 y 14. 2003.
11. Chips, Reduction of oil absorption creole. Disminución de la absorción de aceite en papas criollas fritas. Vitae. 2012; 19(1):312-313.
12. Arreola S, Rosas M. Aplicación de vacío en la deshidratación osmótica de higos (ficus carica). Inf. Tecnol. 2007; 18(2): 43-48.
13. Morales J, Vélez J. Estudio del Efecto Combinado del Secado y Freído en las Propiedades de Tortillas Tostadas. Inf. Tecnol. 2011; 22(2): 55-68.
14. Gökmen V, Şenyuva H. Acrylamide formation is prevented by divalent cations during the Maillard reaction. J. Agric. Food Chem. 2007; 103(1): 196-203.

# EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE HUMEDAD Y CAMBIOS DE COLOR EN UNA HAMBURGUESA DE RES COMERCIAL SOMETIDA A FRITURA POR INMERSIÓN

## EVALUATION OF MOISTURE LOSS AND COLOR CHANGES IN A BURGER UNDER DEEP FRYING BEEF TRADE

Pedro ROMERO M.Sc.<sup>1</sup>, Francisco J. CASTELLANOS Ph.D.<sup>2\*</sup>, Luis F. GUTIÉRREZ Ph.D.<sup>3</sup>, William Y. DÍAZ Ing. Alimen.<sup>4</sup>, Jhonatan RODRÍGUEZ Esp. G. E.<sup>5</sup>, Santiago RESTREPO Ing. Alimen.<sup>6</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes:** El color y la humedad en los productos fritos están influenciados por las condiciones del proceso, en especial por el tiempo, la temperatura del aceite, presión del sistema y el tipo de aceite, así como por las características físicas del alimento (1) (2) (3). **Objetivo:** En la presente investigación se realizó un estudio de las pérdidas de humedad y la variación del color, en la fritura por inmersión atmosférica y a vacío de una hamburguesa de res comercial. **Métodos:** Se adquirieron hamburguesas de res de una marca comercial con un peso promedio de  $189 \pm 5,4$  g y unas dimensiones de 12 cm de diámetro por 1,56 cm de espesor. Las condiciones de operación fueron: Temperatura de 140°C, con presiones de 40 kPa (presión de vacío) y 80 kPa (presión atmosférica de Manizales) y una temperatura de 180°C manejando las mismas presiones. Los tiempos para la toma de muestra fueron 30, 90, 150, 210 y 270 segundos, realizando dichos procedimientos por triplicado. La humedad se determinó según el método de la AOAC 23.003 (4) y las mediciones de color se realizaron utilizando un colorímetro marca Konica Minolta referencia CM5. **Resultados:** Teniendo presente los resultados hallados de pérdida de humedad con respecto al tiempo para las diferentes temperaturas y presiones aplicadas es posible asegurar que el tiempo de fritura al cual fueron sometidas las muestras de

hamburguesas, no fueron significativos. En cuanto a los parámetros de color, el tiempo y la temperatura afectan de manera negativa la luminosidad de las muestras de hamburguesas asociándolo a tonalidades oscuras conforme estos factores sean mayores, dicho fenómeno se presenta de manera inversa para el parámetro  $a^*$ , mientras que el parámetro  $b^*$  se ve afectado por la presión aplicada al sistema y la interacción entre la presión y el tiempo. **Conclusiones:** El tiempo de fritura al cual fueron sometidas las muestras de hamburguesas, no afectó la humedad. La fritura por inmersión a presiones de vacío afectó el color de la hamburguesas principalmente en la coordenada  $b^*$ , en el cual se presentaron diferencias significativas ( $\alpha=0,05$ ) con respecto a la fritura a presión atmosférica.

**Palabras clave:** Color, fritura, inmersión, humedad.

### ABSTRACT

**Background:** The color and the moisture in the fried products are influenced by the conditions of the process, especially by: the time, the oil temperature, pressure of the system and the type of oil, as well as by the physical characteristics of the food (1, 2, 3). **Objectives:** The present investigation was carried out a study about the loss of moisture and the change of the color, in the frying process by atmospheric and vacuum immersion of

<sup>1</sup> Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingenierías, Grupo de Investigación en Procesos y Agroindustria de Vegetales, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia,

<sup>2</sup> Profesor Asociado, Director Maestría en Ingeniería de Alimentos, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingenierías, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia,

<sup>3</sup> Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingenierías, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

<sup>4</sup> Estudiante Maestría en Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Córdoba, Montería Córdoba.

<sup>5</sup> Profesor Auxiliar, Corporación Universitaria del Caribe (CECAR), Sincelejo, Colombia,

<sup>6</sup> Estudiante Maestría en Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingenierías Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

\* Autor a quien debe dirigirse la correspondencia: francisco.castellanos@ucaldas.edu.co

a commercial beef hamburger. **Methods:** The beef hamburgers were acquired of a commercial mark with an average weight of  $189 \pm 5.4$  g, dimensions of 12 cm in diameter and 1.56 cm for thickness. The operation conditions were: Temperature of  $140^{\circ}\text{C}$ , with pressures of 40 kPa (vacuum pressure) and 80 kPa (atmospheric pressure of Manizales) and a temperature of  $180^{\circ}\text{C}$  handling the same pressures. The times for taking the sample were 30, 90, 150, 210 and 270 seconds, realizing the above mentioned procedures for triplicate. Moisture was determined according to the AOAC 23.003 method (4) and color measurements were performed by using a colorimeter brand called Konica Minolta, with reference CM5. **Results:** According to the results found from moisture loss over time for different temperatures and pressures applied, it is possible to ensure that the frying time of the sampling hamburgers were not significant. In regard to the color parameters, time and temperature, these were affected negatively by the luminosity of the samples of hamburgers, associating it with higher dark tonalities in accordance with these factors, this phenomenon occurs in the opposite way for the parameter  $a^*$ , while the parameter  $b^*$  is affected by the pressure applied to the system and the interaction between the pressure and time. **Conclusions:** The frying time to which the hamburgers samples were submitted did not affect the moisture. The frying by vacuum immersion affected the color of the burgers mainly in the coordinate  $b^*$ , which presented significant differences ( $\alpha = 0.05$ ) with respect to the atmospheric pressure frying.

**Keywords:** Color, frying, immersion, moisture.

## INTRODUCCIÓN

En gran parte del mundo, en especial países desarrollados, la carne de vacuno forma un segmento importante de la dieta habitual de los seres humanos. El mundo produjo en 2015 casi 320 millones de toneladas de carne, representado en un aumento del 1,3% con respecto al año anterior (5). La carne de ganado vacuno se consume en diferentes preparaciones entre las que se incluye asada, cocida, salada, y frita. La fritura de alimentos es un proceso importante y ampliamente usado en la industria de alimentos procesados, convirtiendo esta operación en un área de gran interés para los investigadores y científicos, así como a diseñadores, desarrolladores de procesos y fabricantes (6).

Sin embargo, la ingesta excesiva de carne de vacuno puede provocar problemas cardiovasculares y de obesidad (7, 8), especialmente cuando se consume carne con un alto contenido de grasa. La mayoría de los productos incluidos en la comida rápida contienen altas concentraciones de grasa, azúcar, sal, colesterol y ácidos grasos saturados, y son deficientes en carbohidratos complejos (9). Lo anterior ha motivado a la industria de alimentos a buscar alternativas de proceso que minimicen el contenido de grasa en este tipo de productos, pero que conserven las características propias adquiridas durante la fritura (7, 8, 10, 11).

Para ello, una alternativa de fritura que está siendo muy estudiada es la fritura por inmersión a vacío. La fritura por inmersión a vacío es una operación que utiliza aceite vegetal como medio de calefacción y que opera a una presión inferior a la presión atmosférica (preferiblemente inferior a 6894,7 pascales). Bajo condiciones de presión de vacío es posible reducir sustancialmente la temperatura de fritura ya que la presión del sistema se iguala a la presión de vapor del agua contenida en la matriz alimentaria, para provocar un cambio de fase del agua contenida en el alimento. Operar a baja temperatura de proceso trae beneficios que incluyen la preservación del color natural, el sabor y los nutrientes (1, 12), así como la protección de la calidad del aceite (13) y la reducción en la generación de compuestos tóxicos (14). El objetivo de la presente investigación es evaluar las pérdidas de humedad y la variación del color, en la fritura por inmersión atmosférica y a vacío de una hamburguesa de res comercial.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Acondicionamiento de la materia prima

Para la experimentación se adquirieron hamburguesas de res de una marca comercial cuyos ingredientes declarados en etiqueta consta de carne de res, agua, cebolla, material cárnico de cerdo, proteína texturizada de soya, sal, sabor artificial a humo y pimienta. Las muestras de carne de res se recibieron en el laboratorio de cereales y vegetales de la unidad tecnológica de alimentos (UTA) de la Universidad de Caldas, donde se sometieron a un proceso de descongelación en un refrigerador a una temperatura de  $4^{\circ}\text{C}$  en un tiempo de 24 horas. Cada hamburguesa contaba con un peso promedio

de  $189 \pm 5,4$  gramos y unas dimensiones de 12 cm de diámetro por 1,56 cm de espesor.

### Proceso de freído por inmersión

La fritura se realizó en la Universidad de Caldas, en un reactor de fritura con capacidad de 10 L, el cual consta de tres termocuplas tipo k, un tablero de control automatizado, una bomba de vacío y un software que registra y controla las variables de proceso (presión, temperatura y tiempo). La relación producto / aceite fue de 1:37 p/v (g de hamburguesa/mL de aceite), lo cual, corresponde a cargar 190 g de hamburguesa en 7 litros de aceite, el aceite utilizado fue una mezcla de aceites vegetales refinados. El protocolo utilizado para realizar el proceso de fritura por inmersión, se describe a continuación:

1. Alistamiento de las muestras (espesor  $1,56 \pm 0,2$  mm y diámetro  $12,0 \pm 0,3$  cm)
2. Obtención de la temperatura de referencia del aceite, ( $140^\circ\text{C}$  y  $180^\circ\text{C}$ ).
3. Ubicación de la muestra de hamburguesa en la canastilla
4. Obtención de la presión de referencia del sistema de freído, (40 y 80 kPa).
5. Inmersión de la canastilla con las muestras hasta cinco tiempos de referencia (30, 90, 150, 210, 270 segundos) con tres repeticiones para cada condición de fritura por inmersión.
6. Retiro de la canastilla del baño de aceite e inicio de período de enfriamiento (20 segundos).
7. Obtención de la presión atmosférica en del sistema de freído (cuando aplique).
8. Empaque de las muestras de hamburguesa frita en bolsas resellables y luego introducirlas en un desecador.
9. Determinación contenido de humedad y color de las muestras fritas.

### Análisis físico-Químicos

A las hamburguesas fritas obtenidas se les realizaron pruebas de humedad según el método de la AOAC 23.003 (4) y las mediciones de color se realizaron utilizando un colorímetro marca Konica Minolta de referencia CM5.

### Análisis estadísticos

Los datos obtenidos se analizaron utilizando un experimento factorial  $2 \times 2 \times 5$  bajo arreglo completamente al azar, con replicas por tripli-

cado para cada tratamiento, donde los factores fueron la temperatura del aceite con dos niveles ( $140, 180^\circ\text{C}$ ), la presión del sistema con dos niveles (40, 80 kPa (atmosférica para Manizales)) y el tiempo de fritura con cinco niveles (30, 90, 150, 210, 270 segundos), se realizó un análisis de varianza para detectar diferencias significativas entre los tratamientos y sus respectivas interacciones y se realizó una prueba de comparaciones múltiples de LSD (Diferencia mínima significativa), para determinar el tratamiento más conveniente. Las variables de respuestas fueron el contenido de humedad y las coordenadas de color luminosidad ( $L^*$ ), absorbancia ( $a^*$ ) y transmitancia ( $b^*$ ).

## RESULTADOS

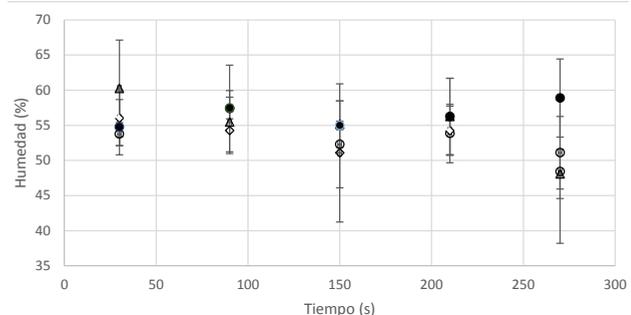
En la tabla 1, se presenta el análisis de varianza obtenido para todos los factores y sus interacciones y variable de respuesta del estudio.

**Tabla 1.** Análisis de Varianza para las variables de respuesta.

Factores e interacciones	Humedad	$L^*$	$a^*$	$b^*$
	Valor P	Valor P	Valor P	Valor P
Temperatura	0,7087	0,0000***	0,0000***	0,1576
Presión	0,8172	0,4802	0,2024	0,0004***
Tiempo	0,2046	0,0000***	0,0000***	0,0608
Temperatura: Presión	0,1172	0,1493	0,0405	0,6914
Temperatura: Tiempo	0,2957	0,5005	0,1855	0,0862
Presión: Tiempo	0,3915	0,0115	0,6310	0,0044*
Temp.: Presión: Tiempo	0,9265	0,1136	0,0002***	0,0419*

Codigos de Significancia: 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 '.' 0,1 '.' 1

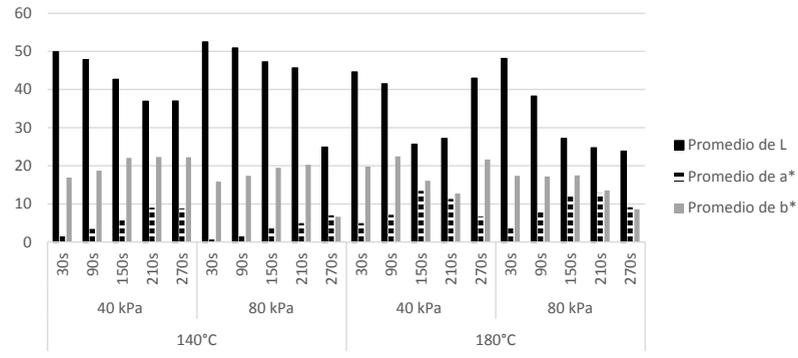
La figura 1 describe el comportamiento de la pérdida de humedad con respecto al tiempo, para las diferentes temperaturas y presiones aplicadas.



○ =  $140^\circ\text{C}$ , 40 kPa; Δ =  $140^\circ\text{C}$ , 80 kPa; ● =  $180^\circ\text{C}$ , 40 kPa; ◊ =  $180^\circ\text{C}$ , 80 kPa

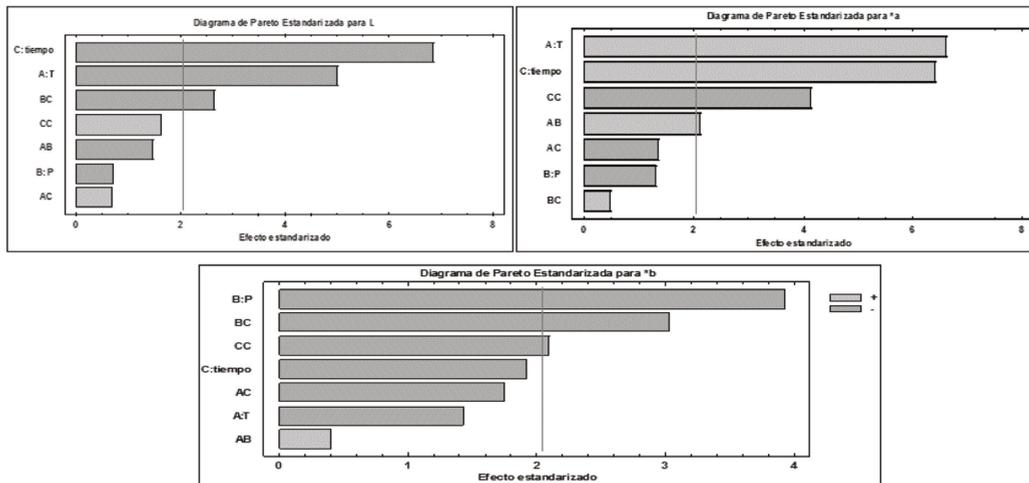
**Figura 1.** Curvas experimentales de pérdida de humedad de la hamburguesa para los diferentes tratamientos.

En la figura 2 se aprecian los parámetros de color obtenidos mediante el colorímetro Konica Minolta para los diferentes tiempos de fritura.



**Figura 2.** Valores obtenidos para los parámetros de color en el freído de hamburguesas.

Al llevar a cabo el análisis estadístico para el efecto de cada uno de los factores en estudio se obtuvieron los diagramas de Pareto para cada uno de los parámetros obtenidos en el colorímetro, como se observa en la figura 3.



**Figura 3.** Diagrama de Pareto estandarizado para las medidas de los parámetros de color

## DISCUSIÓN

Teniendo presente los resultados hallados de pérdida de humedad (entre 45 y 55%) con respecto al tiempo para las diferentes temperaturas y presiones aplicadas es posible asegurar que los tiempos de fritura a los cuales fueron sometidas las muestras de hamburguesas, no fueron significativos para que existiese una pérdida apreciable de humedad, manteniéndose prácticamente constante en el lapso de experimentación. Estudios anteriores relacionados con el comportamiento térmico y propiedades funcionales (capacidad de retención de agua) de productos cárnicos, mencionan que las pérdidas de humedad de estos productos ocurre con un tiempo

de proceso prolongado debido a la resistencia que ejercen las proteínas al escape de está del interior de la matriz, antes de ser desnaturalizadas (15, 16), también existe la posibilidad de que la formación rápida de la costra en el producto realizara una resistencia al escape de agua (17). Para finalizar este aspecto, es de recordar que una de las características más importantes en los productos cárnicos (sobre todo los no procesados y semiprocesados), es la jugosidad del producto final, siendo dicho parámetro asociado al contenido de agua de este (18).

En otro aspecto relacionado con el estudio, se observaron las variaciones de los parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), siendo los tratamientos aplicados

en el proceso de fritura significativos a dicha respuesta, para lo cual, se evidencia que la temperatura y el tiempo afectan la luminosidad y el parámetro  $a^*$  ( $P < 0,05$ ), mientras que el parámetro  $b^*$  se ve afectado por la presión aplicada al sistema y la interacción entre la presión y el tiempo; así mismo  $a^*$  se ve influida por la interacción entre los tres factores investigados. En el diagrama de Pareto de la figura 3, se observa como en el primer diagrama relacionado con la luminosidad de las muestras de hamburguesas, el tiempo y la temperatura afectan de manera negativa este parámetro, asociándolo a tonalidades oscuras conforme aumenta el tiempo y la temperatura aplicada en el proceso de fritura, dicho fenómeno se presenta de manera inversa para el parámetro  $a^*$  donde se ve afectado de forma positiva. Desafortunadamente, el color no es un indicador confiable de la cocción adecuada de la carne. De hecho, la carne toma el color marrón antes de cocinarse por completo, esto sucede especialmente con los cortes grandes.

Por otra parte, otras carnes se ven de color rosado incluso cuando están bien cocidas. Hay varios factores que afectan el color de la carne además del punto de cocción. Por ejemplo, el contenido de grasa afecta el color de la carne, así como los vegetales que se cocinan con esta, por tal motivo, para dicho estudio es necesario complementarlo con una investigación del perfil de temperatura en el centro del producto (19).

Finalmente interpretando los resultados de la figura 3, se nota que la presión no afecta los parámetros de luminosidad y  $a^*$  en el proceso de fritura, indicio que es muy importante ya que se puede decir de forma muy aproximada que la fritura a presión de vacío no afecta la calidad visual de las hamburguesas fritas comparada con la fritura atmosférica.

## CONCLUSIONES

Los tratamientos de fritura aplicados en este estudio ( $P=40$  y  $80$  kPa,  $T=140$  y  $180^\circ\text{C}$ ,  $t=30, 90, 150, 210, 270$  segundos) no afectan la pérdida de humedad de las hamburguesas durante el proceso. Los parámetros de color detectados con el equipo colorimétrico Konica Minolta se ven afectados por los tiempos de fritura y las temperaturas y presiones aplicadas, para lo cual, se observó que la luminosidad disminuye con respecto al aumento del tiempo y la temperatura aplicada, siendo esta relación directa para el parámetro  $a^*$ , mientras el parámetro  $b^*$  se encontró relacionado con la presión del sistema y la

interacción presión-tiempo habiendo una relación inversa para ambos casos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen la colaboración de la Universidad de Caldas para el desarrollo de esta investigación y al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias) por la beca otorgada en el marco de la Convocatoria para la Formación de Capital Humano de alto nivel para el Departamento de Sucre.

## REFERENCIAS

1. Mariscal M, Bouchon P. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. *Food Chem.* 2008; 107(4): 1561-1569.
2. Garayo J, Moreira R. Vacuum frying of potato chips. *J Food Eng.* 2002; 55(2):181-191.
3. Bravo J, Ruales J, San Juan N, Clemente J. Innovaciones en el proceso de fritura. *Alimentación Equipos y Tecnología.* 2006; 25: 87-94.
4. A.O.A.C. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th edition. Maryland, USA. 2003.
5. FAO. Perspectivas alimentarias. [internet]. Roma, Italia. 2015. [citado 16 de Enero 2016]. disponible en: <http://www.fao.org/3/b-i4581s.pdf>
6. Wu H, T.G Karayiannis, S.A. Tassou. A two-dimensional frying model for the investigation and optimization of continuous industrial frying systems. *Appl. Therm. Eng.* 2013; 51(1): 926-936.
7. Mellema M. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends food sci tech.* 2003; 14: 364-373.
8. Sosa M, Vélez F. Food processing and engineering topics. *Nova Sci Publis;* 2009.
9. Dunford E, Webster J, Barzi F, Neal B. Nutrient content of products served by leading Australian fast food chains. *Appetite.* 2010; 55(3): 484-489.
10. Moreira R.G, Palau J, Sun X. Deep-fat frying of tortilla chips: An Engineering Approach. *J food technol.* 1995; 4: 146-150.
11. Esturk O, Kayacier A, Singh R. K. Reduction of oil uptake in deep fried tortilla chips Reducción de la absorción de aceite en la fritura de tiras de maíz. *Food Sci. Technol. Int.* 2000; 6(5): 425-431.
12. Shyu S, and Hwang, L. S. Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips. *Food Res.* 2001; 34: 133-142.
13. Shyu S, Hau L, Hwang L. Effect of vacuum frying on the oxidative stability of oils. *J. Am. Oils Chem. Soc.* 1998; 75: 1393-1398.
14. Granda C, Moreira R, Tichy S. Reduction of acrylamide formation in potato chips by low-temperature vacuum frying. *J. Food Sci.* 2004; 69: 405-411.
15. Sandro M, Goñi V, Salvadori O. Prediction of cooking times and weight losses during meat roasting. *J. Food Eng.* 2010; 100(1): 1-11.
16. Berhe D, Engelsens S, Hviid M, Lametsch R. Raman spectroscopic study of effect of the cooking temperature and time on meat proteins. *Food Res Int.* 2014; 66:123-131.
17. Orthoefer, F T, List G R, Erickson M D. "Dynamics of frying." *Deep frying: Chemistry, nutrition, and practical applications* Ed. 2. 2006: 275p.
18. Kerns K, Fulton J, Underwood K, Blair A, Zuelly S. Determining the relationship between pH and instrumental color measurements to predict water-holding capacity and sensory juiciness. *Meat Sci.* 2016; 112.
19. Brewer S, Chapman K, Novakofski J. Carne: Medidas sanitarias para el consumidor. [internet]. Illinois. 2016. [citado 16 de enero de 2016]. Disponible en: [http://web.extension.illinois.edu/meatsafety\\_sp/cooking.cfm](http://web.extension.illinois.edu/meatsafety_sp/cooking.cfm)

# CONGELACIÓN DE ARVEJA EMPLEANDO UN SISTEMA DE CONGELACIÓN INDIVIDUAL, IQF

FREEZING PEAS USING AN INDIVIDUAL FREEZING SYSTEM, IQF

Karen LOAIZA L.<sup>1\*</sup>, Stephanía ERAZO C.<sup>1</sup>, Carlos VELEZ P. Ph.D.<sup>1</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** El sistema de congelación individual (IQF) es usado en la industria de alimentos para congelar productos en forma rápida, conservando su calidad. Su operación depende de factores como la velocidad y temperatura del medio de enfriamiento y del tipo de lecho utilizados. **Objetivo:** El objetivo de este trabajo fue establecer el efecto de las variables de operación sobre el tiempo de congelación de arveja fresca mediante un sistema de congelación individual (IQF). **Métodos:** Se utilizó un diseño factorial completamente al azar donde los factores fueron el tipo de lecho, altura del lecho y velocidad del medio de enfriamiento; la variable de respuesta fue el tiempo de congelación. Para el análisis de los resultados se utilizó el ANOVA con un 95% de confianza y el estadístico de Tukey en el post-ANOVA con un 95 % de confianza. **Resultados:** A partir de las curvas de congelación obtenidas se pudo evidenciar que el tipo de lecho y su altura influyen sobre el tiempo de congelación, en tanto que no fue posible verificar el efecto de la velocidad del medio de enfriamiento. Por otro lado, los resultados mostraron que existe una interacción entre los 3 factores según el ANOVA al ser el valor  $p < 0.05$ , siendo el tipo de lecho (fijo o fluidizado), el que influyó en mayor medida el tiempo de congelación, con una mayor eficiencia cuando se trabajó en lecho fluidizado; por su parte la altura del lecho influyó significativamente al trabajar en lecho fijo. **Conclusiones:** Las variables de operación del sistema de congelación IQF analizadas presentan efectos significativos sobre el tiempo de congelación de las arvejas verdes, y entre ellas, el más notable es el tipo de lecho, pues los tiempos son en promedio 45.5% menores al utilizar lecho fluidizado en comparación con el lecho fijo y el fluidizado no se ve afectado significativamente al variar la altura.

**Palabras clave:** Congelación rápida individual, congelación, lecho fluidizado, lecho fijo, tiempo de congelación.

## ABSTRACT

**Background:** Individual Quick Freezing (IQF) system is used in food industry to freeze products quickly preserving their quality. Its operation depends on factors such as speed and temperature of the cooling medium and the type of bed used. **Objective:** The aim of this study was to establish the effect of operating variables on the freezing of fresh green peas using a system of Individual Quick Freezing (IQF). **Methods:** A random factorial design was used, in which the factors were bed type, bed height and speed of medium cooling, and freezing time as the response variable. For the data evaluation, the statistical tool ANOVA was used with 95% confidence and Tukey's test in the post ANOVA with 95% confidence. **Results:** Freezing curves obtained from the processes allowed to evidence that the type and bed height influenced the freezing time, whereas it was not possible to identify the effect of the speed of the cooling medium on the freezing time. Furthermore, the results showed an interaction between the three factors as shown by the ANOVA ( $p < 0.05$ ), being the bed type (fixed or fluidized) the most influential factor on freezing time, with greater efficiency on the fluidized bed. **Conclusions:** The operation variables analyzed show significant effects on the freezing time of green peas, the most notable is the type of bed, because the times are on average 45.5% lower when using fluidized bed compared to fixed bed and the former is not significantly affected by bed height.

**Keywords:** Individual Quick Freezing, freezing time, freezing, fixed bed, fluidized bed

<sup>1</sup> Escuela de ingeniería de alimentos, Universidad del Valle. Cali, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia karen.loaiza@correounivalle.edu.co

## INTRODUCCIÓN

La congelación es uno de los tratamientos más utilizados en la industria para la conservación de alimentos. La congelación rápida individual (IQF, Individual Quick Freezing), permite obtener alimentos congelados con características muy cercanas a las originales (1).

Se han realizado estudios de congelación IQF para diferentes productos y condiciones de operación. Salvadori & Mascheroni (2) encontraron que el espesor de la capa influye directamente sobre el tiempo de congelación. Por su parte, Khairullah & Singh (3) determinaron que existe un aumento apreciable en la tasa de producción con el aumento de alturas de lecho y que el tiempo de congelación del producto es menor en lecho fluidizado que en lecho fijo. El objetivo de este trabajo es establecer el efecto de las variables de operación sobre el tiempo de congelación de arveja fresca mediante un sistema de congelación individual (IQF) por medio de curvas de congelación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos de congelación se llevaron a cabo con arveja verde, adquirida en el mercado local. Se utilizó un equipo IQF (DARTICO S.A.S) con zonas de congelación en lecho fijo y fluidizado. Las temperaturas en el centro del producto y del aire de enfriamiento se midieron con termopares Omega, tipo K, calibre 36 conectados a un sistema de adquisición de datos y la velocidad del aire con un anemómetro digital.

## Diseño experimental

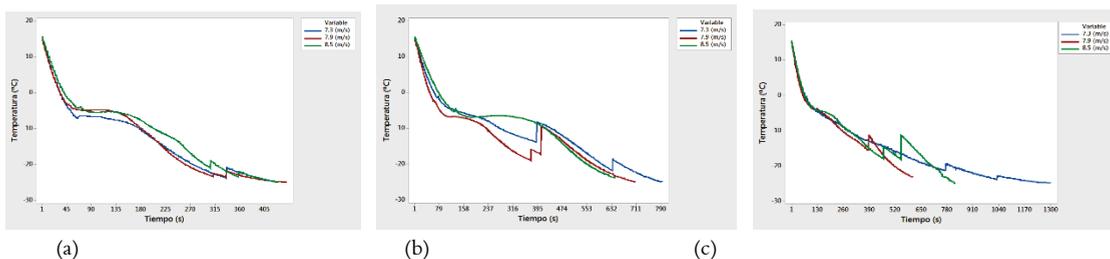
Se utilizó un diseño experimental factorial completamente al azar compuesto por tres factores: tipo de lecho (fijo y fluidizado), velocidad del medio de enfriamiento (7.3, 7.9 y 8.5 m/s) y altura del lecho con (1.0, 1.7 y 2.4 cm) y el tiempo congelación como variable de respuesta. La altura del lecho se normalizó en función del peso del producto utilizado 250, 450 y 650 g correspondientes a 1.0 cm, 1.7 y 2.4 cm, respectivamente. Para determinar el tiempo de congelación, se utilizó el concepto de tiempo de congelación estándar (4), registrando la temperatura del centro del producto cada segundo desde el inicio del proceso ( $T=15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) hasta una temperatura final de  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## Análisis Estadístico

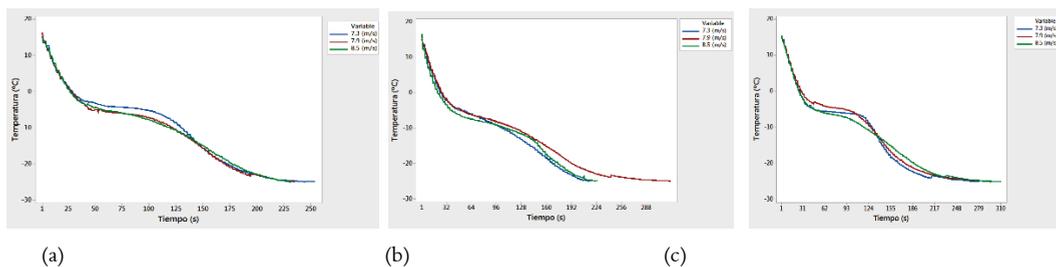
Se realizó un análisis descriptivo para obtener la media y la desviación estándar por cada tratamiento y un análisis inferencial, mediante un análisis de varianza con un 95% de confianza. La validación de los supuestos, se realizó mediante la normalidad de los residuales y varianza constante de los mismos. Por último se realizó un test de comparación múltiple (post ANOVA), utilizando el estadístico Tukey, con 95% de confianza.

## RESULTADOS

En la figuras 1 y 2 se muestran las curvas de congelación de arvejas verdes a diferentes alturas para lecho fijo y fluidizado.



**Figura 1.** Curvas de congelación para lecho fijo. a) 1.0 cm, b) 1.7 cm y c) 2.4 cm



**Figura 2.** Curvas de congelación para lecho fluidizado a) 1.0 cm, b) 1.7 cm y c) 2.4 cm

En la figura 1 se observa que para lecho fijo se presentaron fluctuaciones de temperatura en la etapa final de congelación, lo cual no se evidencia para lecho fluidizado (ver figura 2). En general no se logra visualizar el fenómeno de sobreenfriamiento; el punto de congelación derivado de la meseta que sigue al sobreenfriamiento en promedio es de  $-2.9 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.8 \text{ }^\circ\text{C}$ . Se obtuvieron tiempos de congelación de (217–273) s, (222–716) s y (251–777) s para 1.0, 1.7 y 2.4 cm de altura, respectivamente y fue menor (217–295) s para lecho fluidizado, comparado con el de lecho fijo (364–777) s.

En la figura 3 se muestra un diagrama de cajas, construida con base en la media y la desviación estándar de los tiempos de congelación para los diferentes tratamientos.

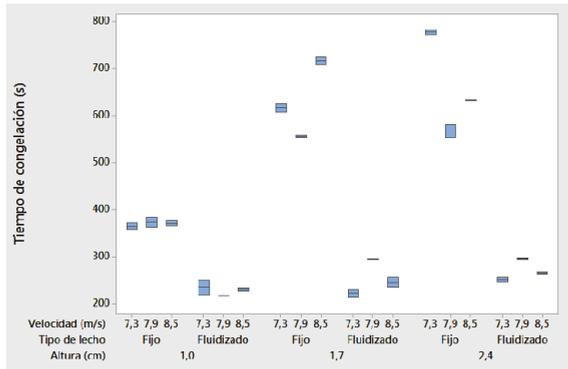


Figura 3. Diagrama de cajas del tiempo de congelación.

Según se observa en la figura 3, el tiempo de congelación es mayor para lecho fijo que para lecho fluidizado. En relación con la altura, en lecho fluidizado se presenta incrementos de alrededor de 11% y 19% al aumentar la altura del lecho desde 1.0 cm hasta 1.7 cm y 2.4 cm respectivamente, mientras que en lecho fijo los incrementos del tiempo de congelación fueron del 70 y 78% aproximadamente, al aumentar la altura del lecho desde 1.0 cm hasta 1.7 cm y 2.4 cm, respectivamente.

En la tabla 1 se muestra la media y la desviación estándar para cada uno de los tratamientos y la interacción entre los 3 factores correspondientes al post-ANOVA, ya que se obtuvo ANOVA  $p < 0.05$  para esta interacción. Las diferencias entre los tratamientos se ilustran como una agrupación de acuerdo al estadístico de Tukey con un 95% de confianza, para lo cual se le ha asignado una letra según la media, ordenadas de mayor a menor. Si los tratamientos presentan letras iguales no existen diferencias significativas entre ellos.

Al evaluar la acción de los tres factores sobre el tiempo de congelación como se muestra en la tabla 1 se encuentra que existen diferencias significativas entre algunos tratamientos.

Tabla 1. Resultados del post-ANOVA para la interacción entre los tratamientos.

		Altura del lecho (cm)			1,0			1,7			2,4		
		Velocidad del medio de enfriamiento (m/s)			7,3	7,9	8,5	7,3	7,9	8,5	7,3	7,9	8,5
Tipo de lecho	Fijo	Media (s)	363,7	372,8	370,2	606,2	554,8	715,7	777	566,5	631,8		
		Desviación estándar	9,9	16,3	7,3	13,9	3,2	10,8	7,1	19,1	1,7		
		Agrupación	e	E	e	c	d	b	a	d	C		
	Fluidizado	Media (s)	233,7	216,7	229,5	221,5	294,0	245,0	250,9	294,7	264,2		
		Desviación estándar	21,7	0,9	4,0	12,0	1,4	14,6	6,2	2,4	4,0		
		Agrupación	g-h	H	g-h	g-h	f	g-h	g-h	f	f-g		

### DISCUSIÓN

Las curvas obtenidas para lecho fluidizado (ver figura 2) son semejantes a las curvas de congelación de vegetales reportadas por diferentes autores como Rahman *et al.* (5). Por el contrario las curvas de

congelación en lecho fijo (ver figura 1) presentaron algunas fluctuaciones de temperatura en la etapa final de congelación, lo cual es una posible consecuencia de las variaciones de la temperatura del aire de enfriamiento, debido a los ciclos de prendido y apagado del compresor, el cual tiene una inercia de

$\pm 3$  °C con relación a la temperatura programada. Adicionalmente, las curvas corresponden al promedio de muestras ubicadas en diferentes zonas del lecho. La diferencia en los tiempos de congelación según el tipo de lecho se puede atribuir a que en lecho fluidizado el producto está en constante movimiento lo que aumenta el área de contacto con el medio de enfriamiento y por esta razón se presentan menores tiempos de congelación, lo que coincide con lo reportado por Khairullah & Singh (3).

Aunque al observar las curvas de congelación individualmente se alcanza a observar un leve sobreenfriamiento, al realizar el análisis por promedios esto no se observó. Este leve sobreenfriamiento se debe a la cantidad de sólidos presentes en el producto como lo señala Rahman *et al.* (5). El aumento de temperatura debido a la liberación del calor de fusión después de sobreenfriamiento inicial representa el inicio de la cristalización del hielo, así mismo el punto inicial de congelación se deriva de este incremento de temperatura, que sigue el sobreenfriamiento, el cual corresponde a  $-2.9$  °C  $\pm 0.8$  °C, resultados similares fueron reportados por Haiying *et al.* (6).

Los resultados obtenidos del tiempo de congelación para los diferentes tratamientos son homogéneos ya que el coeficiente de variación presenta valores menores al 5%.

El mayor tiempo de congelación se obtuvo en el tratamiento lecho fijo, altura del lecho 2.4 cm y velocidad del medio de enfriamiento 7.9 m/s, mientras el menor tiempo corresponde al tratamiento lecho fluidizado, altura del lecho 1.0 cm y velocidad del medio de enfriamiento 7.9 m/s. Al considerar los lechos por separado ya que son significativamente diferentes (ver tabla 1), se observa que en general para el lecho fluidizado no hay diferencia al fijar la velocidad en cada uno de los niveles de la altura, este comportamiento se puede atribuir a que la transferencia de calor es mayor a medida que se aumenta la altura del lecho, puesto que aumenta la caída de presión y el tiempo de contacto entre el fluido y el producto es mayor. Por el contrario para este mismo lecho si se fija la altura del lecho y se varía la velocidad no hay diferencias en el tiempo de congelación a excepción de la altura 1.7 cm a una velocidad de 7.9 m/s y la altura de 2.4 cm para la misma velocidad los cuales presentan tiempos de congelación significativamente mayores con los otros tratamientos; el no obtener diferencias significativas del tiempo de congelación al variar la velocidad del medio de

enfriamiento puede ser atribuido al rango de velocidad utilizado, limitado por las características del equipo. En los resultados para lecho fijo (ver tabla 1) se encuentra que para una misma velocidad el tiempo de congelación para la altura de 1.0 cm es menor en comparación con las alturas de 1.7 cm y 2.4 cm y entre éstas últimas los tiempos son muy cercanos siendo iguales a la velocidad de 7.9 m/s, el incremento del tiempo de congelación al aumentar la altura del lecho se debe posiblemente a que a medida que se aumenta la cantidad de producto aumenta la resistencia a la transferencia de calor en la zona intermedia del lecho. En cambio sí se fija la altura a 1.7 y 2.4 cm se encuentra que el menor tiempo se obtiene para la velocidad de 7.9 m/s, lo cual corrobora que el aumento de la velocidad no necesariamente implica disminución del tiempo de congelación. Resultados similares fueron reportados por Salvadori & Mascheroni (2), quien argumenta que esto puede deberse a un insuficiente contacto entre las partículas y el aire de enfriamiento cuando se incrementa la velocidad del mismo.

### Limitaciones de la investigación

El límite de velocidad del equipo de congelación IQF es de 8.5 m/s, lo que dificultó trabajar en un rango amplio de velocidades debido a que la velocidad de fluidización mínima de las arvejas es de 7.3 m/s.

## CONCLUSIONES

Las curvas de congelación obtenidas permitieron apreciar que el tiempo de congelación es menor al utilizar lecho fluidizado, comparado con lecho fijo. Así mismo, a medida que se aumenta la altura para ambos lechos el tiempo de congelación aumenta. Por otra parte, no se observó un efecto definido de la velocidad sobre el tiempo de congelación. Finalmente, no se observó el fenómeno de sobreenfriamiento.

Las variables de operación analizadas presentan efectos significativos sobre el tiempo de congelación de las arvejas, el más notable es el tipo de lecho, pues los tiempos son en promedio 45.5% menores al utilizar lecho fluidizado en comparación con el lecho fijo. Por otro lado los factores altura del lecho y velocidad de aire depende del tipo de lecho que se elija, pues presentan eficiencias diferentes debidas a la circulación del aire a través del producto y la resistencia que éste opone a la transferencia de calor

según su cantidad. En general, al fijar la altura para el lecho fluidizado, la velocidad no tuvo efecto sobre el tiempo de congelación. Lo mismo se observó al dejar la velocidad fija y variar la altura. Para el lecho fijo se presentaron diferencias significativas con relación a la altura, con una diferencia más notoria entre la altura de 1.0 y 1.7 cm, comparado con las diferencias entre las alturas 1.7 y 2.4 cm. Con relación a la velocidad en este lecho, al fijar la altura se encontró que para las alturas 1.7 y 2.4 cm el menor tiempo de congelación se obtuvo para una velocidad de 7.9 m/s.

## REFERENCIAS

1. Montes LM, Castrillón JJ, Orrego CE. Evaluación del sistema de congelación rápida "IQF" (Individual Quick Freezing) para la conservación de la mora de castilla. *Cenicafé*. 2005 Oct-Dec; 56(4): 365-380.
2. Salvadori V, Mascheroni R. Analysis of impingement freezers performance. *J Food Eng*. 2002 Sep; 54(2): 133-140.
3. Khairullah A, Singh R. Optimization of fixed and fluidized bed freezing processes. *Int J Refrig*. 1990 Nov; 14(7): 176-181
4. Eek L. A convenience born of necessity: The growth of modern food freezing industry. In: Bald W.B. *Food freezing: today and tomorrow*. New York: Springer Series in Applied Biology; 1991. 143-155 p.
5. Rahman S, Guizani N, Khaseibi M, Al-Hinal S, Al-Maskri S, Al-Hamhami K. Analysis of cooling curve to determine the end point of freezing. *Food Hydrocolloid*. 2002 Nov; 16(6): 653-659.
6. Haiying W, Shaozhi Z, Guangming C. Experimental study on the freezing characteristics of four kinds of vegetables. *Food Sci Technol Leb*. 2007 Aug; 40(6): 1112-1116.

# EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA PRE-COCCIÓN SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y ESTRUCTURALES DEL PLÁTANO DOMINICO HARTÓN (*MUSA AAB SIMMONDS*)

EVALUATION OF PRE-HEATING EFFECT ON THE PHYSIC-CHEMICAL AND  
STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF PLATAIN DOMINICO HARTON  
(*MUSA AAB SIMMONDS*)

Sandra Liliana CARDONA CARVAJAL<sup>1</sup>, Germán A. GIRALDO G.<sup>2\*</sup>, Lina Marcela AGUDELO-LAVERDE<sup>3</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** El plátano es un fruto de alta producción en Colombia y específicamente en la región cafetera es el Dominico Hartón, de gran interés comercial debido a sus propiedades nutricionales con aporte de vitaminas, minerales, carbohidratos y almidones. En la poscosecha del plátano se producen grandes pérdidas por lo que se busca tratamientos que permitan alargar su vida útil. Los procesos térmicos son muy usados en la industria, sin embargo, las altas temperaturas empleadas generan cambios significativos en las propiedades fisicoquímicas de los productos. **Objetivo:** Estudiar métodos de pre-cocción de plátano Dominico Hartón y su efecto sobre las características fisicoquímicas y estructurales. **Métodos:** se trabajó con plátano Dominico Hartón obtenido en el mercado local de la ciudad de Armenia, Quindío, en estado fisiológico verde. Se realizaron tres tratamientos de pre-cocción con vapor de agua a 93 °C, a alta presión (93 °C) y por irradiación con microondas. Se estudiaron las características fisicoquímicas de las muestras frescas y tratadas térmicamente. Se determinó el pH, acidez total titulable, sólidos solubles, actividad de agua y contenido de humedad. El análisis de los cambios estructurales se hizo determinando la fracturabilidad del plátano fresco y prococado. **Resultados:** Se determinaron las características fisicoquímicas y estructurales del plátano en poscosecha sin tratamiento durante su almacenamiento a 24 °C,

identificando el día 3 como momento óptimo para proceso. Se aplicaron tres tratamientos térmicos: vapor de agua, alta presión e irradiación por microondas. Los tratamientos con vapor y con alta presión disminuyeron significativamente la humedad, el contenido de sólidos solubles y la textura del plátano. La radiación con microondas modificó los valores de  $a_w$ , generando un material seco con un registro de textura similar al obtenido en el fresco.

**Conclusiones:** Las propiedades fisicoquímicas del plátano fueron fuertemente afectadas por la pre-cocción. El calentamiento con vapor de agua generó los cambios más drásticos en el material. La radiación por microondas es adecuada para reducir el tiempo de proceso. Se requiere de estudios más determinantes a nivel estructural que permitan identificar su uso en procesos posteriores como lo son fritura y molienda para obtención de harinas, entre otros.

**Palabras clave:** Pre-cocción por vapor de agua, Pre-cocción a alta presión, Pre-cocción por microondas, características fisicoquímicas y estructurales, plátano Dominico Hartón.

## ABSTRACT

**Antecedents:** Plantains are fruits of high production in Colombia, specifically in Coffee zone, the variety most important is Dominico Harton because the nutritional properties with high values

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ciencias Agroindustriales. Universidad del Quindío. Armenia, Colombia.

<sup>2</sup> Docente Ingeniería de Alimentos. Integrante del Grupo de Investigación Procesos Agroindustriales. Dr. en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad del Quindío.

<sup>3</sup> Docente Ingeniería de Alimentos. Directora del Grupo de Investigación Procesos Agroindustriales. Dra. en Química Industrial. Universidad del Quindío.

\* Autor a quien debe dirigirse la correspondencia: ggiraldo@uniquindio.edu.co

of vitamins, minerals, carbohydrates and starch content. According to important product loss is produced in postharvest, researchers search treatment to conserve shelf-life plantains. Thermal process are widely employed in food industry, wherever, high temperatures produce significantly changes on materials physicochemical properties. **Objective:** The objective of this research was studied different pre-heating treatment of plantain and their effect on physicochemical and structural properties. **Methods:** plantains Dominico Harton were obtained in the local market in Armenia city (Quindío) in optimal physiological condition. Pre-heating with steam water (93 °C), high pressure (93 °C) and microwave radiation were applied. Physicochemical properties of fresh and treated samples were determined. pH, total titratable acid, soluble solids, water activity and water content were studied. The structural changes were determined by fracturability test. **Results:** physicochemical and structural characteristic of fresh plantains were studied during storage at 24 °C, and the optimal condition to work was identified (day 3). Three thermal treatment were applied on samples: steam water, high pressure and, microwave irradiation. Both, steam water and high pressure process produced water content, soluble solids and texture increase values. The  $a_w$  values were modified by microwave irradiation, produce a very dry material with a texture similar to fresh product. **Conclusions:** plantains physicochemical properties were strongly affected by pre-heating processes. Steam water heating produce the most important changes on parameters determined. Microwave radiation allow increase the time processing. It is necessary more structural studies in order to identify how to employ the plantain as fried and powdered materials.

**Keywords:** Pre-heating by steam water, pre-heating by high pressure, pre-heating by microwave, physicochemical and structural characteristics, plantain Dominico Hartón.

## INTRODUCCIÓN

En Colombia la producción de plátano Dominico Hartón se da en diversas zonas del país, siendo la más importante la región cafetera (1). El plátano posee gran cantidad de características de interés nutricional como su contenido de minerales y vitaminas (calcio, potasio, fósforo, hierro, cobre, flúor, yodo y magnesio, vitamina A, C, complejo B, tiamina, riboflavina, pirodoxina, ciancobalamina);

posee además alta concentración de carbohidratos (2). Dichas propiedades se alcanzan durante el desarrollo del fruto en la planta debido a reacciones metabólicas. El plátano se categoriza como climatérico, el cual en estado verde presenta una gran cantidad de almidón (20 – 25%) con contenido de amilosa de 40 – 46% (2). En la poscosecha del plátano se generan grandes pérdidas de producto, por lo que se requiere de métodos que extiendan su vida útil en el estadio de interés comercial (aproximadamente a 14 días a partir del corte del fruto). El secado es la técnica de conservación más ampliamente usadas en la industria, sin embargo, este método se da a altas temperaturas, generando deterioro de las características fisicoquímicas y nutricionales del alimento, por lo que hay gran interés por identificar nuevas tecnologías que no alteren significativamente dichas propiedades (3). El objetivo de este trabajo fue estudiar métodos de pre-cocción de plátano Dominico Hartón y su efecto sobre las características fisicoquímicas y estructurales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El plátano Dominico Hartón estudiado en este trabajo se obtuvo en el mercado local de la ciudad de Armenia, Quindío, en condiciones de madurez fisiológica y se almacenó a 24 °C durante todo el experimento. Los plátanos fueron higienizados en seco, pelados y cortados en rodajas de 2 mm de espesor y finalmente se sometieron a tres tratamientos térmicos. Pre-cocción por vapor de agua, donde las rodajas de plátano se ubicaron en un recipiente hermético con una mezcla líquido – vapor (aproximadamente 93 °C) sin contacto del material con el agua y se trataron por 5, 10 y 15 minutos. Pre-cocción a alta presión en un recipiente presurizado con una temperatura de 93 °C por el mismo tiempo que la pre-cocción con vapor. El último tratamiento fue una pre-cocción por microondas a una potencia de 900 watt con irradiaciones por pulsos, cada uno de 10 segundos por 10, 20 y 30 segundos. El material en fresco, y luego de los tratamientos térmicos se caracterizó fisicoquímica y estructuralmente. Se determinó el pH por potenciometría, (pHmetro Metrohm 704 serie 01). Acidez total titulable (ATT) por titulación con NaOH 0,1 N. Contenido de sólidos solubles totales expresados como °Brix por refractometría (Thermo modelo 334610). La actividad de agua se midió en un higrómetro de punto de rocío (AquaLab model series 3 TE. Decagon) y la humedad de las rodajas fue determinada gravimé-

tricamente por la diferencia de peso antes y después del secado en estufa de vacío a 60 °C (AOAC 20013 de 1980). Los cambios estructurales de las muestras se realizaron a través de la medición de fractura en un texturómetro TA.XT. Plus Texture (con un software TEE 32 EXP versión 2,0,6,0 - 2005).

## RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran las características físico-químicas del plátano fresco y sus variaciones en el tiempo de poscosecha.

**Tabla 1.** Características físico-químicas de plátano fresco y su variación en poscosecha

Parámetro/ tiempo	$a_w$	% Hdad	°Brix	Ph	% Acidez	Textura
<b>Día 1</b>	0,987 ± 0,001	58,7 ± 0,003	4,15 ± 0,302	6,8 ± 0,1	0,13 ± 0,041	3,185 ± 0,424
<b>Día 2</b>	0,981 ± 0,002	57,8 ± 0,002	5,80 ± 0,888	6,3 ± 0,1	0,22 ± 0,099	2,632 ± 0,302
<b>Día 3</b>	0,981 ± 0,002	53,2 ± 0,010	8,62 ± 0,360	6,5 ± 0,3	0,22 ± 0,099	2,175 ± 0,286
<b>Día 4</b>	0,982 ± 0,003	47,2 ± 0,083	10,9 ± 0,548	6,5 ± 0,1	0,39 ± 0,066	2,104 ± 0,242
<b>Día 5</b>	0,978 ± 0,002	45,6 ± 0,019	13,43 ± 0,656	5,7 ± 0,1	0,37 ± 0,099	1,945 ± 0,282
<b>Día 6</b>	0,978 ± 0,002	43,7 ± 0,019	14,8 ± 0,456	4,9 ± 0,2	0,4 ± 0,097	1,693 ± 0,124

% Hdad: porcentaje de humedad

En la tabla 2 se pueden observar los valores obtenidos de las características físico-químicas luego de la aplicación de la pre-cocción con vapor de agua.

**Tabla 2.** Parámetros físico-químicos de plátano precocidos con vapor de agua

Parámetro/ Tiempo	$a_w$	% Hdad	°Brix	pH	%Acidez	Textura
<b>5 min</b>	0,980 ± 0,002	18,30 ± 0,037	3,82 ± 0,075	7,00 ± 0,200	0,17 ± 0,054	0,695 ± 0,088
<b>10 min</b>	0,982 ± 0,001	16,30 ± 0,033	3,78 ± 0,160	6,60 ± 0,100	0,13 ± 0,042	0,587 ± 0,138
<b>15 min</b>	0,985 ± 0,002	36,30 ± 0,111	4,17 ± 0,151	6,50 ± 0,100	0,14 ± 0,027	0,405 ± 0,085

La tabla 3 presenta las características físico-químicas luego de la aplicación de la pre-cocción a alta presión.

**Tabla 3.** Parámetros físico-químicos de plátano precocidos con alta presión

Parámetro/ Tiempo	$a_w$	% Hdad	°Brix	pH	%Acidez	Textura
5 min	0,995 ± 0,001	41,2 ± 0,091	5,43 ± 0,294	6,8 ± 0,100	0,11 ± 0,034	0,587 ± 0,147
10 min	0,998 ± 0,000	27,8 ± 0,023	5,80 ± 0,473	6,2 ± 0,300	0,09 ± 0,034	0,416 ± 0,035
15 min	0,999 ± 0,001	53,4 ± 0,063	6,25 ± 0,619	6,1 ± 0,400	0,10 ± 0,036	0,274 ± 0,057

La tabla 4 muestra las propiedades físico-químicas de plátano irradiado con microondas.

**Tabla 4.** Parámetros físico-químicos de plátano irradiado pulsos de microondas

Parámetro/ Tiempo	$a_w$	% Hdad	°Brix	pH	%Acidez	Textura
<b>10 seg</b>	0,982 ± 0,001	23,9 ± 0,054	5,15 ± 0,308	5,7 ± 0,100	0,10 ± 0,036	1,939 ± 0,292
<b>20 seg</b>	0,959 ± 0,002	29,0 ± 0,038	6,03 ± 0,294	6,2 ± 0,600	0,12 ± 0,027	2,441 ± 0,666
<b>30 seg</b>	0,962 ± 0,001	32,5 ± 0,108	7,0 ± 0,303	6,0 ± 0,200	0,12 ± 0,027	3,314 ± 0,307

## DISCUSIÓN

De acuerdo con los valores reportados en la tabla 1, en el almacenamiento a 24 °C se presentaron modificaciones en la mayoría características físico-químicas estudiadas. La  $a_w$  no mostró cambios. La humedad y la acidez de los plátanos cambiaron

significativamente en el cuarto día, mientras que el pH y la textura variaron al quinto día de almacenamiento. Teniendo en cuenta que el mejor estado fisiológico para el procesamiento de plátano es en estado verde, se tomó como condición óptima el día 3, en donde no hay cambios significativos de

ninguno de los parámetros estudiados y se usó como control para analizar el efecto de los tratamientos térmicos. Es sabido que la temperatura genera cambios en las propiedades de los alimentos (3, 4), de acuerdo con los resultados obtenidos, las propiedades más afectadas por los tratamientos fueron la humedad, los sólidos solubles y la textura. En el caso del tratamiento con vapor de agua, se puede observar una deshidratación del plátano, representada por la disminución del porcentaje de humedad pasando de 53,2% al 18,3; 16,3 y 36,3% para los tiempos de 5, 10 y 15 minutos respectivamente. Mientras que durante el calentamiento a altas presiones este parámetro no mostró cambios relevantes, esto puede deberse a fenómenos difusivos enlentecidos por el efecto de la presión sobre la porosidad del material (5). El contenido de sólidos solubles se redujo más del 50% en el tratamiento con vapor de agua, en comparación con el fresco. El tratamiento con presión disminuyó el valor de esta característica pero de una manera menos drástica. El plátano verde, posee un importante contenido de almidón, el cual por efectos de la temperatura se pre-gelatiniza hidrolizándose en compuestos de menor peso molecular (3), a su vez los procesos difusivos pueden extraer los monosacáridos y otras estructuras menores (3, 5, 6), lo que posiblemente reduce el valor de sólidos presentes en el material. En ambos tratamientos (vapor y presión) la textura se vio fuertemente afectada, el calor produce ruptura de paredes celulares del material, haciéndolo más flexible y fácilmente rompible, a medida que se incrementa el tiempo de tratamiento disminuye la fracturabilidad del producto (5), siendo más dañino estructuralmente el tratamiento con alta presión, estos cambios de estructura pueden estar relacionados con el % de humedad presente en la fruta.

La aplicación de radiación por microondas se da a nivel molecular (7), por lo cual los tiempos empleados disminuyeron al orden de los segundos. En este tratamiento, la humedad del plátano disminuyó con relación al material fresco, pero en menor medida en comparación con el calentamiento con vapor, debido probablemente a la distribución por agitación de las moléculas de agua (5). El contenido de

sólidos solubles también se vio afectado mostrando una disminución en su contenido, sin embargo, a los 30 segundos de tratamiento se obtuvo el valor más alto de °Brix, lo cual puede deberse a la alta deshidratación y por ende concentración de solutos que produce la radiación (7). De igual forma, esta deshidratación representada en la disminución de  $a_w$  genera estructuras rígidas que presentan valores de fracturabilidad similares a los obtenidos para el producto fresco.

## CONCLUSIONES

De los resultados anteriores se puede concluir que las propiedades fisicoquímicas del plátano fueron fuertemente afectadas por los tratamientos de pre-cocción, siendo el calentamiento con vapor de agua el que generó cambios más drásticos en el material. El uso de radiación por microondas es adecuado para reducir el tiempo de proceso, pero es necesario realizar estudios más determinantes a nivel estructural que permitan identificar si es adecuado para tratamientos posteriores como lo son fritura y molienda para la obtención de harinas, entre otros.

## REFERENCIAS

1. Belalcazar CSL. El cultivo del plátano (*Musa AAB Simmonds*) en el trópico de Armenia (Colombia). ICA. 1991; 376 p.
2. Cayón DG, Giraldo GA, Arcila MI. Fisiología de la maduración. En: Poscosecha y agroindustria del plátano en el Eje Cafetero de Colombia. Corpoica, Comité de Cafeteros, Universidad del Quindío, ASPLAT, Colciencias, Fudesco, Armenia (Colombia). 2000; 27-37 p.
3. Prabha TN, Bhagyalakshmi N. Carbohydrate metabolism in ripening banana fruit. *Phytochemistry*. 1998; 48(6): 915-920.
4. Miglio C, Chiavaro E, Visconti A, Fogliano V, Pellegrini N. Effects of different cooking methods on nutritional and physicochemical characteristics of selected vegetables. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2008; 56: 139-147.
5. Oey I, Lille M, Van Loey A, Hendrickx M. Effect of high-pressure processing on colour, texture and flavour of fruit- and vegetable-based food products: a review. *Trends in food science and technology*. 2008; 19(6): 320-328.
6. Arrieta AJ, Ubaldo M, Barrera JL. Caracterización físico-química del proceso de maduración del plátano 'Papocho' (*Musa ABB Simmonds*). *Agronomía colombiana*. 2006; 24(1): 48-53.
7. Ramesh MN, Wolf W, Tevini D, Bognar A. Microwave Blanching of Vegetables. *Journal of food Science*. 2002; 67(1): 390-399.

# EFFECTO DE LA FERMENTACIÓN SÓLIDA EN GRANOS DE SOYA CON *Rhizopus oryzae* (MUCL 28168) SOBRE LOS INHIBIDORES DE TRIPSINA

EFFECT OF SOLID FERMENTATION IN SOY BEANS WITH *Rhizopus oryzae* (MUCL 28168) ON TRYPSIN INHIBITORS

HIDALGO Estefanía IDA<sup>1</sup>, LÓPEZ Daniel IDA<sup>2</sup>, BOLÍVAR Germán Ph.D.<sup>3</sup>,  
RAMÍREZ Cristina Ph. D.<sup>4</sup>, LONDOÑO Liliana M. Sc.<sup>5</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** La soya es una fuente considerable de proteínas y con alto valor nutricional, por lo cual, es muy utilizada para la elaboración de productos para consumo humano y animal. Sin embargo, contiene antinutrientes, en su mayoría, inhibidores de tripsina, que dificultan su digestibilidad; por eso, se necesita un pre tratamiento adecuado que los inactive. Generalmente, se emplean procesos térmicos pero las altas temperaturas causan disminución en la calidad proteínica. Debido a esto, es indispensable la aplicación de métodos alternativos como la fermentación sólida que, requiere menos agua y que produce mejoramiento en las características organolépticas, la digestibilidad y el valor nutricional. **Objetivo:** Determinar el efecto de la fermentación sólida (FS) con *Rhizopus oryzae* (MUCL 28168) en granos de soya crudos, sobre los inhibidores de tripsina. **Métodos:** Se caracterizó la soya cruda mediante análisis proximal y fisicoquímico. Luego, se determinaron las condiciones adecuadas para el proceso de FS, con un diseño factorial completamente al azar de dos factores: temperatura (°C) y tamaño de partícula (mm), con tres niveles cada uno y como variables respuesta: pH, proteínas solubles (PS), azúcares reductores (AR), azúcares totales (AT), y Actividad Inhibidora de Tripsina (AIT). Con estas condiciones, se realizó la cinética de crecimiento para observar el comportamiento del pH, CO<sub>2</sub> y AIT a través del tiempo. Por último, se caracterizó la soya fermentada. **Resultados:** Se observaron mayores cambios en las variables respuesta y un desarrollo más homogéneo del micelio a 34°C y 2,00 mm. Con estas condiciones, se realizó

la cinética de crecimiento y se observó que la AIT disminuyó 46% después del proceso y que el CO<sub>2</sub> mantuvo un crecimiento constante, indicando el desarrollo del hongo. Finalmente, se comparó la soya sin fermentar y fermentada caracterizadas, encontrándose un aumento de las proteínas totales (5%) y disminución de la AIT (46,34%). **Conclusiones:** Se comprobó que la FS sobre los granos de soya crudos, tuvo un efecto significativo en la disminución de los inhibidores de tripsina y en el mejoramiento de su calidad nutricional, por lo cual, este proceso puede ser utilizado como tratamiento previo a la elaboración de productos.

**Palabras clave:** Soya, inhibidores de tripsina, fermentación sólida, *Rhizopus oryzae*

## ABSTRACT

**Background:** Soy is a significant source of protein and a food of high nutritional value, because of this reason, it uses for the development of products for human and animal consumption. Nevertheless, it contains antinutrients in its composition that make difficult its digestibility, why it requires a proper pretreatment for the inactivation; generally, the heat treatments are used but these can bring about the reduced quality of the protein. Because of this problem, it is necessary to apply alternative methods such as the solid fermentation, which requires a less water and presents improvement in the organoleptic characteristics, digestibility and nutritional value. **Objective:** Determine the effect of the solid fermentation (SF) with *Rhizopus oryzae* (MUCL 28168) on the trypsin inhibitors. **Methods:** The raw soy was characterized by pro-

<sup>1,2</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle. Santiago de Cali, Colombia

<sup>3</sup> Docente Facultad de Ciencias Exactas, Universidad del Valle. Santiago de Cali, Colombia

<sup>4</sup> Docente Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle. Santiago de Cali, Colombia

<sup>5</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle. Santiago de Cali, Colombia

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: estefania.hidalgo@correounivalle.edu.co

ximate and physicochemical analysis. Then, were determined the suitable conditions to establish an effective process of FS, using a factorial completely randomized design with two factors: temperature (°C) and particle size (mm), with three levels each one, and as response variables: pH, soluble proteins, reducing sugars, total sugars, and Trypsin Inhibitory Activity (TIA). With these established conditions, was accomplished the growth kinetics for the observing the pH, CO<sub>2</sub> and AIT behavior. Ultimately, the fermented soy was characterized.

**Results:** Was observed major changes in response variables and a more homogeneous development of the mycelium at a temperature of 34°C and particle size of 2,00 mm. With these parameters, was made the growth kinetics and was observed that the AIT diminished 46 % in the course of the process, and the CO<sub>2</sub> had a constant growth, indicated the development of the fungus. Finally, the raw soy and fermented soy characterized were compared and was determined an increased on the total proteins (5%) and a reducing of the AIT (46, 34%). **Conclusions:** Was verified that the solid fermentation on the grains of raw soy had a significant effect in the decrease of the trypsin inhibitor ones and in the improvement of its nutritional quality, therefore, this process that can be used as previous treatment to making products of soybeans.

**Keywords:** Soy, trypsin inhibitor, solid fermentation, *Rhizopus oryzae*.

## INTRODUCCIÓN

La soya es reconocida por ser una fuente considerable de proteínas y otros macronutrientes como carbohidratos y grasa, por lo que es muy utilizada para la elaboración de alimentos de consumo humano y animal<sup>12</sup>. A pesar de su calidad nutritiva, ésta presenta en su composición antinutrientes que dificultan su digestibilidad y que pueden causar efectos adversos, por lo que se requiere de un pretratamiento adecuado de la semilla para inactivarlos; generalmente, se emplean tratamientos térmicos pero estos pueden traer consigo daños en la calidad de la proteína<sup>4</sup>. Debido a esta problemática, es indispensable la aplicación de métodos alternativos como la fermentación sólida, que es un proceso de fermentación que se efectúa sobre un sustrato sólido que funciona como soporte físico y fuente de nutrientes para los microorganismos, con poca cantidad de agua libre<sup>9</sup>; presenta ventajas como mayor tiempo de vida útil, temperaturas bajas y

tiempos cortos de cocción, y contribuyen a mejorar las características organolépticas, la digestibilidad y el valor nutricional del alimento<sup>6</sup>. EL objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de un proceso de fermentación sólida con *Rhizopus oryzae* (MUCL 28168) en granos de soya cruda, sobre los inhibidores de tripsina y sobre la calidad nutricional del producto.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Caracterización de materia prima

La soya se trituró en un molino de discos y se retiró la cascara. Luego, se caracterizó mediante los siguientes análisis: humedad (NTC 4888), proteína (ISO 1871), grasa (AOAC 922.06), cenizas (NTC 4648), fibra cruda (NTC 5122), carbohidratos, (por diferencia); presencia de aflatoxinas (NTC 1232), pH (AOAC 945.10), contenido de azúcares totales (Método de Antrona), reductores (Método DNS), proteína soluble (Método de Lowry) y Actividad Inhibidora de Tripsina (AIT) (NTC 5149).

### Reactivación del microorganismo y producción del inóculo iniciador

Se utilizaron esporas secas de *Rhizopus oryzae* (MUCL 28168). Para su reactivación y propagación, se llevó a cabo la técnica del Tane Koji.

### Preparación de las muestras

Los granos de soya partidos fueron triturados nuevamente en el molino de discos y se tamizaron en tres tamaño de partícula: 2,00 mm, ,18 mm y 0,6 mm; luego, fueron empacados al vacío y almacenados a 5°C para su conservación. Después, se inocularon por separado, con 1% de *Rhizopus oryzae* (MUCL 28168) a una humedad de 31% (b. h.), que según ensayos preliminares, fue la humedad en la cual el hongo se desarrolló de manera homogénea en la soya.

### Evaluación de las variables del proceso de fermentación

El proceso fue llevado a cabo en un biorreactor tipo columna<sup>8</sup>, compuesto por columnas empacadas con 60 g de soya humedecida e inoculada, que se pusieron en un baño de agua termorregulado y se acoplaron a un sistema de presión controlada (100 mm<sup>3</sup>/min).

Según ensayos iniciales, el tiempo en el cual el hongo presentó un desarrollo más homogéneo del micelio fue 30 horas. Las pruebas se realizaron

considerando un diseño experimental factorial 3<sup>2</sup>, como se muestra en la Tabla 1, con 9 tratamientos de 3 réplicas cada uno, para un total de 27 corridas.

**Tabla 1.** Diseño factorial para la evaluación de las variables del proceso de fermentación sólida en la soya

Factores	Niveles			Variables de respuesta
Temperatura [°C]	32	34	36	- pH - Proteína soluble - Azúcares reductores
Tamaño de partícula [mm]	0,6	1,18	2,0	- Azúcares totales - AIT

### Cinética de fermentación en columna

Se escogieron las condiciones más favorables y se llevaron a cabo las cinéticas de crecimiento, para obtener los parámetros de crecimiento del *Rhizopus oryzae* (MUCL 28168) sobre la soya cruda. Desde el inicio de la cinética y cada 3 horas, hasta completar las 30 horas del tiempo de fermentación, se tomaron muestras directas a las cuales se les determinó el pH, producción de CO<sub>2</sub>, como indicador de crecimiento del hongo (Método respirómetro) y comportamiento de la AIT.

### Caracterización de la soya fermentada

La soya fermentada fue caracterizada según el ítem 1.

## RESULTADOS

### Caracterización de la soya cruda y fermentada

La tabla 2 muestra los resultados de la caracterización de la soya cruda sin fermentar y fermentada.

**Tabla 2.** Caracterización fisicoquímica de los granos de soya cruda fermentados a 34°C y tamaño de partícula 2,00 mm

ANÁLISIS	RESULTADO	
	Sin Fermentar	Fermentada
Humedad (%)	7,53	39,72
pH	6,45	5,64
Proteína total (% b. s.)	44,47	46,72
Proteína soluble (% b. s.)	7,17	5,55
Grasa total (% b. s.)	31,63	27,05
Carbohidratos totales (% b. s.)	18,34	20,46
Azúcares reductores (% b. s.)	7,38	3,96
Azúcares totales (% b. s.)	8,21	3,09
Cenizas (% b. s.)	5,55	5,77
Fibra cruda (% b. s.)	5,22	5,97
AIT (mg/g)	1,86	1,0

### Evaluación de los parámetros de fermentación

Se realizó la prueba comparativa ANOVA para cada uno de los parámetros evaluados, como se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3.** Resultado prueba ANOVA para cada parámetro evaluado (nivel de confianza = 90%)

Fuente	Valor-P				
	pH	Proteína Soluble	Azúcares totales	Azúcares Reductores	AIT
T (°C)	0,00	0,096	0,012	0,000	0,084
Tp (mm)	0,00	0,000	0,000	0,094	0,325
T [°C]*Tp [mm]	0,00	0,004	0,000	0,000	0,000

Se realizaron las pruebas de comparación correspondientes con cada uno de los factores a evaluar, los resultados se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Resultados obtenidos del POS ANOVA – Tukey con cada uno de los tratamientos y resultados para pH, disminución de proteína soluble, azúcares totales, azúcares reductores y AIT

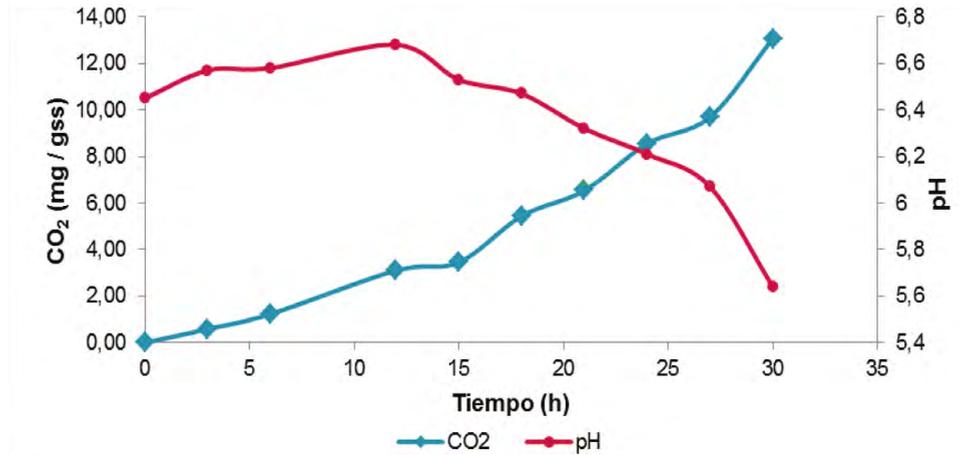
Temperatura (°C)	Tamaño de partícula (mm)	pH Medio	Disminución de proteína	Azúcares Reductores	Azúcares Totales	AIT (mg/gss)
32	2,00	5,8 <sup>b</sup>	78,4 <sup>a</sup>	5,6 <sup>b,c</sup>	6,6 <sup>a</sup>	1,0 <sup>bc</sup>
32	1,18	6,6 <sup>a</sup>	54,4 <sup>c</sup>	6,4 <sup>a</sup>	2,5 <sup>c</sup>	1,1 <sup>a<sup>b</sup></sup>
32	6,00 x10 <sup>-1</sup>	5,8 <sup>b</sup>	58,5 <sup>b,c</sup>	5,8 <sup>a,b</sup>	6,2 <sup>a</sup>	9,0 x10 <sup>-1 c</sup>
34	6,00 x10 <sup>-1</sup>	5,7 <sup>c</sup>	51,6 <sup>c</sup>	4,8 <sup>c,d</sup>	5,7 <sup>abc</sup>	1,0 <sup>bc</sup>
34	1,18	5,5 <sup>e</sup>	62,1 <sup>b,c</sup>	4,5 <sup>d</sup>	6,0 <sup>ab</sup>	1,1 <sup>ab</sup>
34	2,00	5,5 <sup>e</sup>	65,5 <sup>b</sup>	4,5 <sup>d</sup>	5,1 <sup>bcd</sup>	1,1 <sup>ab</sup>
36	2,00	5,6 <sup>e</sup>	76,0 <sup>a</sup>	5,2 <sup>b,c,d</sup>	5,6 <sup>abc</sup>	1,0 <sup>bc</sup>
36	6,00 x10 <sup>-1</sup>	5,5 <sup>e</sup>	58,3 <sup>b,c</sup>	4,9 <sup>c,d</sup>	4,6 <sup>cd</sup>	1,2 <sup>a</sup>
36	1,18	5,6 <sup>d</sup>	56,0 <sup>b,c</sup>	3,5 <sup>e</sup>	4,5 <sup>d</sup>	1,0 <sup>bc</sup>

<sup>a, b, c, d</sup> Promedios con similar superíndice, no difieren significativamente (P<0,05).

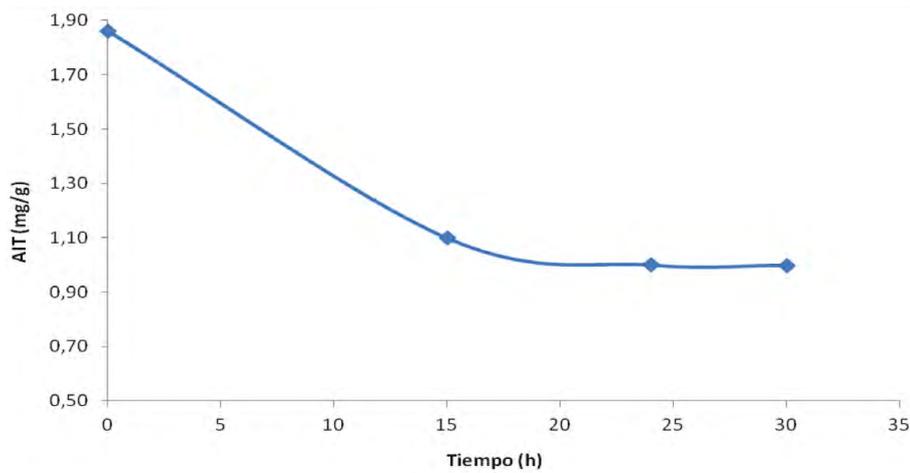
Según lo anterior, las condiciones en las que se presentan mayores cambios en las variables de respuesta fueron: **tamaño de partícula = 2,0 mm** y **temperatura = 34°C**

### Cinética de fermentación en columna

Se realizó la cinética de fermentación con las variables de proceso establecidas. La Figura 1 muestra el comportamiento del CO<sub>2</sub>, pH y AIT durante la cinética de crecimiento.



**Figura 1.** Comportamiento del CO<sub>2</sub> y pH durante las cinéticas de crecimiento del *R. oryzae* (MUCL 28168) en el proceso de fermentación sólida en granos de soja cruda



**Figura 2.** Comportamiento AIT durante las cinéticas de crecimiento del *R. oryzae* (MUCL 28168) en el proceso de fermentación sólida en granos de soja cruda

## DISCUSION

### Caracterización de la soja cruda y fermentada

De acuerdo a la Tabla 2, la soja fermentada presentó una humedad mayor a la soja cruda, debido al agua agregada para el crecimiento del *R. oryzae*. Se evidenció una disminución en el pH, debido al efecto metabólico del microorganismo que genera ácidos orgánicos como ácido láctico, málico, acético, propiónico y fumárico<sup>11, 10 y 13</sup>. Se presentó un aumento en un 5,06% de la proteína total, representada en la aparición del micelio<sup>7</sup>, mientras que, la proteína soluble disminuyó debido a la producción de proteasas, generadas por este hongo<sup>5</sup>. La grasa total disminuyó 14,48% en la soja fermentada,

debido a que las lipasas producidas por el *R. oryzae* hidrolizaron los triglicéridos de la soja en ácidos grasos libres, utilizados por el microorganismo para su crecimiento<sup>4</sup>; estos ácidos grasos se consideran una de las fuentes importantes de energía del *R. oryzae* para su crecimiento<sup>1</sup>.

La disminución tanto de los azúcares totales como reductores fue significativa (62,36% y 46,34%, respectivamente), esto se debe a que los carbohidratos solubles como monosacáridos y oligosacáridos son utilizados como principal fuente de energía por el género *Rhizopus* spp.<sup>4</sup>; a pesar de que éstos disminuyeron, los carbohidratos totales en la soja fermentada aumentaron con respecto a la soja cruda, posiblemente debido a que la fibra del sustrato se incrementó a medida que el micelio, con

gran cantidad de fibra, fue desarrollándose sobre la soya. Finalmente, se observó que el proceso de FS sobre la soya cruda tuvo efecto sobre la disminución de la AIT (46,24%), debido a la degradación que las proteasas causa sobre los inhibidores de tripsina, los cuales son globulinas de bajo peso molecular que se modifican durante el proceso, perdiendo así su actividad para unirse a la tripsina<sup>3</sup>.

### Evaluación de los parámetros de fermentación

La prueba POST-ANOVA (Tabla 4), mostró un mayor efecto del pH a temperaturas de 36 y 34°C con un tamaño de partícula de 0,6, 1,18 y 2,00 mm. La temperatura óptima de crecimiento está cerca a los 37°C<sup>11</sup>.

Se observó una disminución de las proteínas solubles después del proceso de fermentación; según la prueba POST-ANOVA, las temperaturas no tuvieron un efecto significativo, mientras que, con un tamaño de partícula de 2 mm, se obtuvieron valores entre 5 y 9 % (b. s.), equivalentes a una disminución de 63% (b. s.).

Se evidenció un efecto significativo de los tratamientos y su combinación; este nutriente disminuyó de manera general. Según la Tabla 4, el tratamiento con temperatura de 32°C y tamaño de partícula de 1,18 mm, fue significativamente diferente a todos los tratamientos realizados, obteniendo una mayor disminución en los azúcares totales, equivalente a 2,5% (b. s.).

De acuerdo al análisis comparativo de Tukey (Tabla 4), se encontró una mayor disminución de los azúcares reductores con el aumento de la temperatura, obteniendo una diferencia estadísticamente significativa para un tamaño de partícula de 1,18 mm y una temperatura de 36°C. ,

En cuanto a la AIT, se observó una disminución después del proceso; de acuerdo al análisis de varianza realizado. La temperatura y el tamaño de partícula no ejercieron un efecto significativo por sí solas. Los parámetros con los cuales se obtuvo una mayor disminución, según el análisis POST-ANOVA de Tukey (Tabla 4) fueron las siguientes interacciones: 32°C con tamaño de partícula de 2,00 y 0,60; 34°C con tamaño de partícula de 0,60 mm; y 36°C con tamaño de partícula de 2,00 mm y 1,18 mm, obteniendo valores cercanos a 0,7 mg/g.

### Cinética de fermentación en columna

Según la figura 1, se pudo notar un incremento en la producción del CO<sub>2</sub> a medida que la fermentación se fue llevando a cabo; esto como indicio de crecimiento del hongo. Por su parte, el pH se incrementó durante las primeras horas debido al amoníaco liberado tras la proteólisis realizada por el hongo como adaptación fisiológica al sustrato, y posterior crecimiento del mismo; ya a partir de las 12 horas hasta finalizar el proceso, se evidenció su disminución ya que el hongo ha usado los azúcares para sintetizar ácidos orgánicos, lo cual acidifica el medio de crecimiento; además, la hidrólisis de compuestos fenólicos también ocasiona la liberación de moléculas ácidas.

La figura 2, mostró que la AIT disminuyó e el transcurso de la fermentación; esto se atribuye a que estos microorganismos a medida que van desarrollándose, producen proteasas capaces de hidrolizar y degradar los complejos inhibidores de tripsina-proteína, separando y degradando estos antinutrientes, así como su capacidad de unirse a la tripsina .

### CONCLUSIONES

Se determinó que bajo las condiciones establecidas para el proceso de FS con *Rhizopus oryzae* (MUCL 28168) sobre la soya cruda, se redujo la AIT en un 46,34%; además, se obtuvo una materia prima con características nutricionales favorables como la ausencia de aflatoxinas, mayor digestibilidad representada en la hidrólisis de la proteína soluble, disminución de grasa y degradación de azúcares. Por lo cual, este proceso puede ser llevado a nivel industrial como pre tratamiento para la soya en productos elaborados a partir de la misma, pues también, precisa bajos costos de producción al utilizar soya cruda, así mismo, este proceso se simplifica al tener bajas exigencias en el mantenimiento del microorganismo y el uso de poca cantidad de agua para el crecimiento del hongo.

### REFERENCIAS

1. Badui, S. Química de los Alimentos. 4ª Edición. México: Editorial Pearson Educación. 2006.
2. Cheng L, Madl R, Vadlani V, Li L, Wang W. Chapter 8: Value - Added Products from Soybean: Removal of Anti- Nutritional

- Factors via Bioprocessing. Soybean – Bio- Active Compounds. Publicado por InTech. 2013.
- Cittadini M, Almenar L, Scagliarini S, Vallone R, Herguis M. M. La Soja y su Seguridad Alimentaria. [Internet]. Argentina: ANMAT. 2005. [Actualizado 17 de enero de 2015]. Disponible en: [http://www.anmat.gov.ar/Alimentos/La\\_soja\\_seguridad\\_alimentaria.pdf](http://www.anmat.gov.ar/Alimentos/La_soja_seguridad_alimentaria.pdf)
  - Fujita C. Koji, an Aspergillus. The Tokyo Foundation. Recuperado de: <http://www.tokyofoundation.org/en/topics/japanese-traditional-foods/vol.-10-koji-an-aspergillus> (21/05/15). 2008.
  - Hidaki, Y. L. Elaboración de Miso fermentado de soya para obtención de productos aplicables a la cocina occidental. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Palmira, Colombia. 2009.
  - Pitt J. I., Hocking A. D. Fungi and Food spoilage. 3ª Edición. New York, Estados Unidos: Editorial Springer. 2009.
  - Raimbault M. Fermentation en milieu solide. Paris, Francia: Editorial ORSTOM. 1981.
  - Raimbault M, Alazard D. Culture method to study fungal growth in solid fermentation. *European Journal of Applied Microbiology and Biotechnology*. 1980; 9: 199-209.
  - Rodríguez S, Sanromán M. A. Application of solid-state fermentation to food industry—A review. *J FOOD ENG*. 2006; 76 (3): 291-302.
  - Sriherwanto, C. Studies on the Solid State Fermentation of Cassava Naggase for Animal Feed. (Tesis de doctorado). Universidad de Hamburgo, Hamburgo, Alemania.
  - Wang, G., Huang, D., Li, Y., Wen, J. and Jia, X. (2015). A metabolic-based approach to improve xylose utilization for fumaric acid production from acid pretreated wheat bran by *Rhizopus oryzae*. *Bioresource Technology*, 180, 119–127.
  - Zhang ST, Shi Y, Zhang SL, Shang S, Zhang ST, Shi Y, Zhang SL, Shang W, Gao X. Q., Wang HK. Whole soybean as probiotic lactic acid bacteria carrier Food in solid-state fermentation. *FOOD CONTROL*. 2014; 41: 1-6.
  - Zhou Y, Du J, Tsao G.T. Mycelial pellet formation by *Rhizopus oryzae* ATCC 20344. *Applied biochemistry and biotechnology*. 2000; 84-86, 779-789.

# CAMBIOS ESTRUCTURALES DE FILETES DE TILAPIA BIOCONSERVADOS MEDIANTE IMPREGNACIÓN CON BACTERIAS LÁCTICAS

## STRUCTURAL CHANGES OF TILAPIA BIOPRESERVED FILLETS WITH LACTIC ACID BACTERIA

Constanza MONTALVO – RODRÍGUEZ<sup>1\*</sup>, Cristina RAMÍREZ – TORO<sup>2</sup>, Germán BOLÍVAR – ESCOBAR<sup>3</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes:** Las bacterias ácido lácticas (BAL) como cultivos bioprotectores son una herramienta promisoría para extender de forma natural la vida útil de los productos cárnicos. Los estudios de bioconservación se han enfocado principalmente en explicar los fenómenos de deterioro químico y microbiológico del producto, pero pocos estudios reportan el efecto de la bioconservación en la estructura de los filetes de pescado. **Objetivo:** evaluar el efecto del tiempo de impregnación y de las cepas de BAL en los cambios de la textura de los filetes bioconservados de tilapia durante el almacenamiento. **Métodos:** Se obtuvieron filetes de tilapia bioconservados mediante la impregnación con las cepas *Lactobacillus plantarum* CPQBA 144 – 20 DRM y *L. acidophilus* ATCC 4356. Se evaluó el efecto del tiempo de impregnación (1 y 2 h) y el tipo de microorganismo en los cambios en la textura durante 30 días de almacenamiento. Las propiedades mecánicas de los FBT se evaluaron mediante una prueba de compresión uniaxial. **Resultados:** Se observó que la bioconservación con la cepa *L. plantarum* durante 1 h reduce significativamente ( $p < 0,05$ ) el ablandamiento de los filetes de tilapia durante el almacenamiento refrigerado a 5°C. **Conclusiones:** El tratamiento de bioconservación permitió conservar la textura de los filetes por un tiempo más prolongado, retardando la degradación de los tejidos con respecto a la muestra control. Estos resultados muestran que este método es potencialmente aplicable a procesos industriales que permitan la conservación de la textura del pescado a temperaturas de refrigeración.

**Palabras clave:** Bioconservación, filetes de tilapia, bacterias lácticas, textura.

### ABSTRACT

**Background:** The Lactic acid bacteria (LAB) as bioprotectors are a promising tool for extend naturally the shelf life of meat products. Biopreservation studies have focused on explaining the chemical and microbiological spoilage, but few studies report the effect of biopreservation on the structure of the fish fillets. **Objective:** To evaluate the effect of impregnation time and LAB strains on the texture changes of biopreserved tilapia fillets during storage. **Methods:** biopreserved tilapia fillets were obtained by impregnation with *Lactobacillus plantarum* CPQBA 144-20 DRM and *L. acidophilus* ATCC 4356. The effect of soaking time (1 and 2 h) and the type of microorganism in the texture changes was evaluated for 30 days storage. The mechanical properties of the fillets were evaluated by uniaxial compression test. **RESULTS:** It was observed that the biopreservation with strain *L. plantarum* for 1 h reduced significantly ( $p < 0.05$ ) the softening of tilapia fillets during refrigerated storage at 5 °C. **Conclusions:** The biopreservation allowed preserving the texture of fillets for a longer time, delaying the spoilage of the tissues with respect to the control sample. These results shown that this method is potentially applicable to industrial processes for the conservation of the texture of the fish at refrigeration temperatures.

**Keywords:** Biopreservation, tilapia fillets, lactic acid bacteria, texture.

<sup>1</sup> Investigador. PhD, Universidad del Valle, Santiago de Cali, Valle, Colombia.

<sup>2</sup> Profesor. PhD, Universidad del Valle, Santiago de Cali, Valle, Colombia.

<sup>3</sup> Profesor. PhD, Universidad del Valle, Santiago de Cali, Valle, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: constanza.montalvo@correounivalle.edu.co

## INTRODUCCIÓN

El incremento en la demanda de los consumidores por productos libres de conservantes químicos y procesos menos agresivos de conservación, ha despertado el interés en nuevas tecnologías de preservación, entre ellas el uso de compuestos antimicrobianos de origen natural, para el desarrollo de productos cárnicos y acuícolas bioconservados, en los que la microbiota nativa de la carne es sustituida por microorganismos conservantes, reduciendo el crecimiento de microorganismos deteriorantes y patógenos, prolongando la vida útil de los productos (1, 2). Las bacterias ácido lácticas (BAL) como cultivos bioprotectores son una herramienta promisoriosa para extender de forma natural la vida útil de los productos cárnicos inhibiendo el deterioro y evitando procesos oxidativos (3, 4). La bioconservación de productos acuícolas con BAL se ha realizado mediante la aplicación de bacteriocinas de BAL, extractos centrifugados de BAL, impregnación con células vivas por inmersión o por aspersión (5, 6, 7). Algunos estudios (8, 9, 10) reportan el efecto de la bioconservación con BAL en filetes de pescado, mediante el cambio en la humedad, pH, actividad de agua y contenido de bases nitrogenadas volátiles, enfocándose principalmente en explicar los fenómenos de deterioro químico y microbiológico del producto, pero pocos estudios reportan el efecto de la bioconservación en la estructura de los filetes de pescado. La principal medida de los cambios estructurales en el pescado está dada por las variaciones en los parámetros de textura, la cual juega un papel importante en la aceptabilidad del consumidor y es medida mediante información extraída de las curvas de esfuerzo deformación (11). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la bioconservación con dos cepas de BAL en los cambios de la textura de filetes de tilapia durante el almacenamiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Bioconservación de los filetes

Se prepararon inóculos de las cepa *Lactobacillus plantarum* CPQBA 144 – 20 DRM y *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356 en el medio de cultivo recomendado por (12) para la bioconservación de filetes de tilapia con una población de  $10^9$  UFC/mL.

### Obtención del filete

Se capturaron ejemplares adultos de tilapia (*Oreochromis* sp.) en lagos de cría cercanos a la ciudad de

Cali, se transportaron en hielo hasta el laboratorio de Microbiología y Biotecnología Aplicada de la Universidad del Valle, donde se obtuvieron filetes de 100 g siguiendo las buenas prácticas de manufactura.

### Tratamientos de impregnación

El filete se impregnó por inmersión en el inóculo de cada microorganismo durante tiempos de impregnación (TI) de 1 y 2 h. Como control se evaluaron filetes frescos impregnados con el medio de cultivo sin BAL. Luego de la impregnación los filetes se empacaron al vacío y se almacenaron a condiciones constantes de 5° C y 42% HR en una cámara ambiental Memmert.

### Análisis de compresión uniaxial

Las propiedades mecánicas de los filetes se evaluaron mediante una prueba de compresión uniaxial usando un texturómetro (EZ-Test model, Shimadzu, Somerset, New Jersey). Se obtuvieron muestras cilíndricas del área dorsal del filete de tilapia, se comprimieron hasta una deformación del 90% con una velocidad de compresión de 10 mm/min, registrándose los valores fuerza-distancia. A partir de estos valores se calcularon el Esfuerzo y la deformación de Hencky mediante las ecuaciones 1 y 2 (13, 14, 15, 16, 17).

$$\sigma_L(t) = \frac{F(t)}{A(t)} = \frac{F(t)}{\pi r_0^2 l_0} \times (l_0 - d(t)) \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\varepsilon_H(t) = Ln \left[ \frac{l_0}{(l_0 - d(t))} \right] \quad (\text{Ecuación 2})$$

Dónde: F es la fuerza de compresión (N), A es el área de la sección transversal de la muestra ( $m^2$ ); ( $\varepsilon_{HF}$ ) es la deformación de Hencky en la fractura; l es la distancia recorrida por el émbolo en contacto con en la muestra y  $l_0$  y  $r_0$  son la altura y el radio respectivamente de la muestra medidos antes de las pruebas mediante un calibrador digital.

### Diseño del experimento

Se realizaron cuatro tratamientos de bioconservación (2 BAL x 2 TI) y un control. Se empleó un diseño de parcelas divididas. Para cada caso se verificaron los supuestos del modelo, se realizó el análisis de varianza ANOVA y pruebas post ANOVA de Tukey. En los casos en que la variable no cumplió los supuestos del modelo las diferencias significativas entre tratamientos se evaluaron mediante un análisis no paramétrico de Van der Waerden. Los cambios en la textura se evaluaron

en los días 0, 10, 20 y 30 de almacenamiento, cada análisis se realizó por triplicado

## RESULTADOS

### Análisis de compresión uniaxial

La figura 1 muestra la curva típica de esfuerzo – deformación obtenida mediante el test de compresión uniaxial para los filetes bioconservados de tilapia (FBT). Inicialmente se observó una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación, seguida de una región no lineal, en la cual el esfuerzo se incrementó hasta un punto crítico, en el cual ocurre la fractura del material. En este punto, el esfuerzo alcanza su valor máximo e inicia su descenso, mostrando una concavidad hacia abajo. Según (11) cuando se presenta este comportamiento en la curva Esfuerzo – Deformación en filetes de pescado, es debido a una ruptura interna de tejidos.

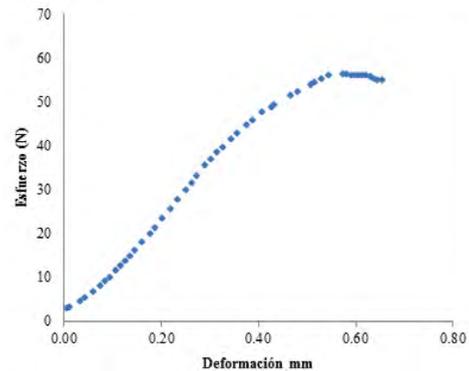
### Esfuerzo en el límite de fluencia

La figura 2 muestra los promedios y las desviaciones estándar del esfuerzo en el límite de fluencia de los filetes. En todos los tratamientos se observó una tendencia decreciente durante el tiempo de almacenamiento, lo cual sugiere un ablandamiento de los filetes. Los tratamientos con tiempos de inmersión de 1 hora presentaron mayores valores de esfuerzo al final del periodo de evaluación. La muestra control presentó valores menores de esfuerzo en comparación a los FBT, indicando que el ablandamiento de los tejidos en las muestras control ocurre en menor tiempo en comparación con los FBT. Los resultados del ANOVA evidenciaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en los factores cepa y tiempo de almacenamiento, no se observaron diferencias significativas en el factor tiempo de impregnación ni en las interacciones de los factores. Los valores de esfuerzo fueron significativamente más bajos ( $p < 0,05$ ) en muestras tratadas con la cepa (*L. acidophilus*), lo cual sugiere que el tratamiento con esta cepa causa mayor ablandamiento de los tejidos del filete.

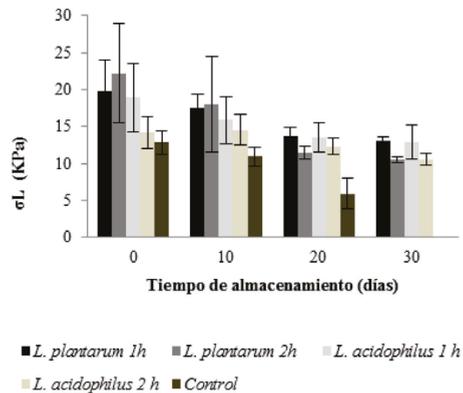
### Módulo de deformabilidad

La figura 3 muestra los promedios y las desviaciones estándar del módulo de deformabilidad ( $E_d$ ) de los FBT. En todos los tratamientos se observó una tendencia decreciente durante el tiempo de almacenamiento. Se observa que todas las muestras de FBT presentaron valores mayores de  $E_d$  en com-

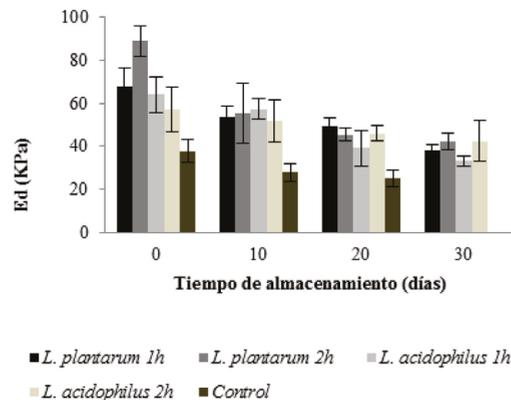
paración con la muestra control. Estos resultados sugieren que la impregnación con BAL reduce la pérdida de dureza de los filetes durante el almacenamiento refrigerado. Los resultados del ANOVA mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el tiempo de almacenamiento, durante el cual se observó una disminución del módulo de deformabilidad en todos los tratamientos.



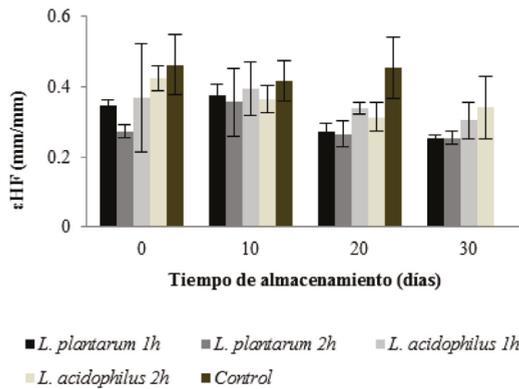
**Figura 1.** Curva Esfuerzo – Deformación de filetes bioconservados de tilapia



**Figura 2.** Esfuerzo en el límite de fluencia de Filetes Bioconservados de Tilapia



**Figura 3.** Módulo de deformabilidad de filetes bioconservados de tilapia



**Figura 4.** Deformación de Hencky en filetes bioconservados de tilapia

### Deformación de Hencky en la fractura

La figura 4 muestra el comportamiento de la deformación de Hencky ( $\epsilon_{HF}$ ) en la fractura de los FBT. Se observaron valores significativamente ( $p < 0,05$ ) mayores de  $\epsilon_{HF}$  en la muestra control que en los FBT, evidenciando mayor ablandamiento en las muestras control durante el tiempo de almacenamiento. El ANOVA mostró diferencias significativas ( $< 0,05$ ) de esta variable con respecto al factor cepa, según el cual con los filetes tratados con la cepa *L. plantarum* presentaron menor deformación en comparación con los filetes tratados con la cepa *L. acidophilus*.

## DISCUSIÓN

La disminución de los valores de esfuerzo y del módulo de deformabilidad está asociada al ablandamiento de los filetes durante el almacenamiento. La disminución del valor inicial del esfuerzo está relacionada con un cambio en el comportamiento elástico lineal (sólido) de la curva esfuerzo – deformación, hacia un comportamiento elástico no lineal o plástico (líquido) (18), valores menores de esfuerzo indican que el producto tiende a comportarse como un líquido. Los resultados de las propiedades mecánicas difieren de los obtenidos por (19) en filetes de salmón ahumados, salados, empacados al vacío y en atmósferas modificadas, quienes reportaron un incremento en el esfuerzo y el módulo de deformabilidad y una disminución en la deformación de Hencky en los filetes empacados al vacío y no observaron cambios significativos en las muestras empacadas en atmósferas modificadas. Otro estudio (20) reportó un efecto similar en filetes de *Sparus aurata* almacenados en hielo durante 22 días. Diferentes estudios han reportado que el

deterioro en el tejido del pescado se debe a la actividad de las enzimas autolíticas, las cuales tienen un efecto importante sobre la textura y plantean que la reducción de la dureza es una consecuencia del debilitamiento del tejido conectivo (20, 21). Las características reológicas del músculo del pescado están determinadas por las proteínas miofibrilares y las del tejido conectivo. El músculo del pescado está dividido por finas membranas de tejido conectivo o mioseptos, en segmentos compuestos por fibras musculares conocidas como miotomas, situadas paralelamente al eje longitudinal del pez (22, 23). Existen varios sistemas proteolíticos en el músculo del pescado, que pueden estar involucrados en la degradación post mortem de las proteínas, incluyendo proteasomas, proteinasas alcalinas sensibles al calor, calpaínas y catepsinas lisosomales. La actividad de estas enzimas endógenas en el músculo de pescado se ha reportado como un factor de degradación de la textura del pescado durante el almacenamiento refrigerado (24). Los cambios en las propiedades mecánicas de los filetes de tilapia están relacionados con cambios en la conformación estructural de las proteínas, principalmente causado por la actividad proteolítica de dos sistemas enzimáticos: el sistema calpaína y el de catepsinas lisosomales, conocidos por hidrolizar las proteínas miofibrilares durante el almacenamiento post mortem del filete, que conduce al ablandamiento del pescado (13, 25, 26). Las calpaínas tienen una actividad óptima a valores de pH cercanos a la neutralidad, mientras la actividad óptima de las catepsinas se presenta en ambientes ácidos (27, 28). Los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas de los FBT evidencian que la bioconservación de filetes de tilapia con BAL retarda el ablandamiento de los tejidos, a pesar de la disminución del pH. De acuerdo con (28, 29), la presencia de BAL en productos cárnicos causa la inactivación de las calpaínas y la activación de las catepsinas, lo que podría generar mayor grado de proteólisis y la consecuente degradación del filete. Sin embargo, se ha reportado el efecto del pH e inhibidores de proteinasas en filetes de *Gadus morhua* L., observando que la impregnación con soluciones de pH 5,7 causa un mayor grado de proteólisis de los filetes, pero puede ser contrarrestada en presencia de algunos inhibidores enzimáticos (29). Aunque no se han reportado estudios de la inhibición enzimática de las BAL, de acuerdo a lo reportado por los autores mencionados, los resultados obtenidos en la presente investigación, sugieren que las BAL empleadas podrían ejercer una acción retardante de la acción

de las catepsinas, causantes de la degradación del filete de tilapia, retardando el daño en la textura.

## CONCLUSIONES

Los estudios de la textura de los FBT evidenciaron diferencias entre las dos cepas empleadas, mostrando que la cepa *L. plantarum* causa menor ablandamiento en los filetes independiente del tiempo de impregnación empleado, mostrando que la bioconservación retarda la degradación y ablandamiento de tejidos, con respecto a la muestra control.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Colciencias y a la Universidad del Valle por la financiación de la investigación.

## REFERENCIAS

- Cosansu S, Mol S, Ucok-Alakavuk D, Tosun Ş. Y. Effects of *Pediococcus* spp. on the Quality of Vacuum-Packed Horse Mackerel during Cold Storage. *Journal of Agricultural Sciences*. 2011; 17: 59-66.
- Ibrahim S, Salha G. Effect of antimicrobial metabolites produced by lactic acid bacteria on quality aspects of frozen Tilapia (*Oreochromis niloticus*) filets. *World J. Fish & Marine Sci*. 2009; 1(1): 40-45.
- Katikou P, Ambrosiadis I, Georgantelis D, Koidis P, Georgakis S. A. Effect of *Lactobacillus* cultures on microbiological, chemical and odour changes during storage of rainbow trout filets. *J. Sci. Food Agric*. 2007; 484(87): 477-484.
- Sudalayandi K, Manja. Efficacy of lactic acid bacteria in the reduction of trimethylamine-nitrogen and related spoilage derivatives of fresh Indian mackerel fish chunks. *Afr. J. Biotechnol*. 2011; 10(1): 42-47.
- Chahad O B, El Bour M, Calo-Mata A, Barros-Velázquez J. Discovery of novel biopreservation agents with inhibitory effects on growth of food-borne pathogens and their application to seafood products. *Research in Microbiology*. 2012; 163(1), 44-54.
- Françoise L. Occurrence and role of lactic acid bacteria in seafood products. *Food Microbiology*; 2010; 27(6): 698-709.
- Ghanbari M, Jami M, Domig K J, Kneifel W. Seafood biopreservation by lactic acid bacteria – A review. *LWT - Food Science and Technology*. 2013; 54(2): 315-324.
- Tomé E, Pereira V L, Lopes C I, Teixeira P C. In vitro tests of suitability of bacteriocin-producing lactic acid bacteria, as potential biopreservation cultures in vacuum-packaged cold-smoked salmon. *Food Control*. 2008; 19(5): 535-543.
- Vandendriessche, F. Meat products in the past, today and in the future. *Meat Science*. 2008; 78(1): 104-113.
- Andrés-Bello A, De Jesús C, García-Segovia P, Martínez-Monzó J. Vacuum impregnation as a tool to introduce biopreservatives in gilthead sea bream filets (*Sparus aurata*). *LWT - Food Science and Technology*. 2015; 60(2): 758-765.
- Castro-Montero E, DeHombre - Morgado R. Parámetros mecánicos y textura de los alimentos. La Habana, Cuba. Inst. de Inves. para la Industria Alimenticia. 2007. 157 p.
- Montalvo-Rodríguez C, Ramírez-Toro C, Bolívar-Escobar G. Evaluación Química de Filetes de Tilapia (*Oreochromis* sp.) Bioconservados mediante impregnación al vacío con Bacterias Ácido Lácticas. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*, 2014; 67(2): 924-926.
- Casas C, Martínez O, Guillén M D, Pin C, Salmerón J. Textural properties of raw Atlantic salmon (*Salmo salar*) at three points along the fillet, determined by different methods. *Food Control*. 2006; 17(7): 511-515.
- Jain D, Pathare P B, Manikantan M R. Evaluation of texture parameters of Rohu fish during iced storage. *Journal of Food Engineering*. 2007; 81(1): 336-340.
- Martínez O, Salmerón J, Guillén M D, Casas C. Textural and physicochemical changes in salmon (*Salmo salar*) treated with commercial liquid smoke flavourings. *Food Chemistry*. 2007; 100(1): 498-503.
- Ng W K, Bahurmiz O M. The impact of dietary oil source and frozen storage on the physical, chemical and sensorial quality of fillets from market-size red hybrid tilapia, *Oreochromis* sp. *Food Chemistry*. 2009; 113(4): 1041-1048.
- Vacha F, Kouril J, Polícar T. Sensory and textural attributes and fatty acid profiles of filets of extensively and intensively farmed Eurasian perch (*Perca fluviatilis* L.). *Food Chemistry*. 2011; 129: 1054-1059.
- Steffe J F. *Rheological Methods in Food Process Engineering*. 2nd ed. USA (F. Press, Ed. 1992. 428 p.
- Bugueño G, Escriche I, Chiralt A. Influence of storage conditions on some physical and chemical properties of smoked salmon (*Salmo salar*) processed by vacuum impregnation techniques. *Food Chemistry*. 2003; 81: 85-90.
- Ayala M, Santaella M, Martínez C, Periago M, Blanco A, Vázquez J, López O. Muscle tissue structure and flesh texture in gilthead sea bream, *Sparus aurata* L., filets preserved by refrigeration and by vacuum packaging. *LWT - Food Science and Technology*. 2011; 44(4): 1098-1106.
- Laksmanan R, Piggott J R, Paterson A. Potential application of high pressure for improvement in salmon. *Trends in Food Science and Technology*. 2003; 14: 354-362.
- Barroso M, Careche M, Borderías A J. Quality control of frozen Fish using rheological techniques. *Trends in Food Science & Technology*. 1998; 9(1): 223-229.
- Suárez H, Pardo S, Cortes M. Análisis estructural de filetes sajados de híbrido de cachama *Piaractus braquyponomus* x *Colossoma macropomum* utilizando bacteriocinas producidas por *Lactobacillus plantarum* LPBM10. *Rev. MVZ Córdoba*. 2008 Mayo - Agosto. 13(2): 1315-1325.
- Delbarre-Ladrat C, Verrez-Bagnis V, Noël J, Fleurence J. Proteolytic potential in white muscle of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) during post mortem storage on ice: time-dependent changes in the activity of the components of the calpain system. *Food Chemistry*. 2004; 84(3): 441-446.
- Bahuaud D, Gaarder M, Veiseth-kent E, Thomassen M. Fillet texture and protease activities in different families of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*. 2010; 310(1-2): 213-220.
- Delbarre-Ladrat C, Chéret R, Taylor R, Verrez-Bagnis V. Trends in postmortem aging in fish: understanding of proteolysis and disorganization of the myofibrillar structure. *Crit. Rev. Food Sci*. 2006; 46: 409-421.
- Mehrim A I. Physiological, biochemical and histometric responses of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) by dietary organic chromium (chromium picolinate) supplementation. *Journal of Advanced Research*. 2014; 5(3): 303-310.
- Gaarder M Ø, Bahuaud D, Veiseth-Kent E, Mørkøre T, Thomassen M S. Relevance of calpain and calpastatin activity for texture in super-chilled and ice-stored Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) filets. *Food Chemistry*. 2012; 132(1): 9-17.
- Wang P A, Vang B, Pedersen A M, Martínez I, Olsen R L. Post-mortem degradation of myosin heavy chain in intact fish muscle: Effects of pH and enzyme inhibitors. *Food Chemistry*. 2011; 124(3): 1090-1095.

# 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 PALACIOS<sup>1</sup>, Giovanni Alejandro VARONA BELTRÁN<sup>1\*</sup>,  
Diego Fabián JOAQUI DAZA<sup>1</sup>, Héctor Samuel VILLADA CASTILLO<sup>1\*\*</sup>

## 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 used in food packaging, textiles, cosmetics, among others. **Objectives** Assess the effect of change of

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

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

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

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<sup>3</sup> 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 las temperatura de soplado de: 152,25 – 155,25 – 158,25 °C

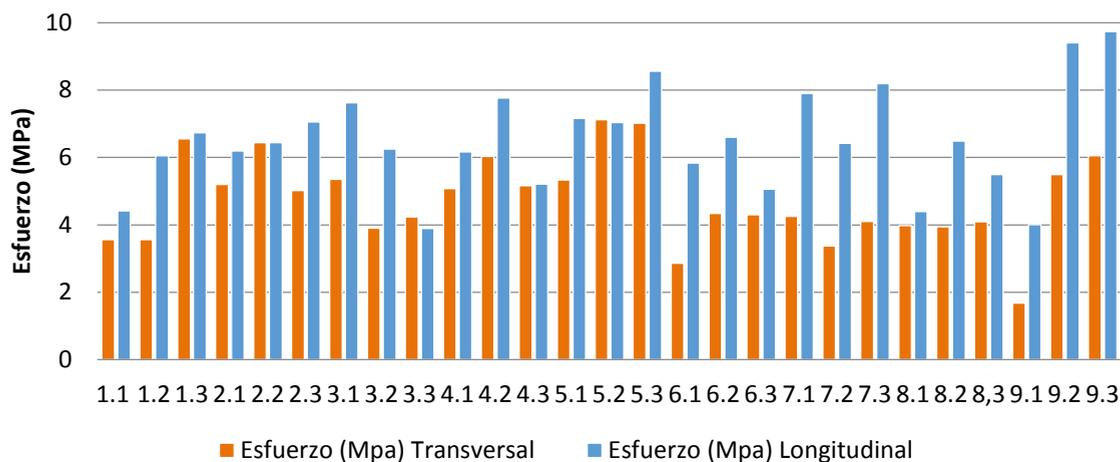
## RESULTADOS

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 ( $9,73 \pm 2,07$ MPa) y de los valores superior en sentido transversal ( $8,26 \pm 0,63$ MPa). En cuanto a la elongación presenta un valor intermedio en sentido longitudinal

y transversal ( $42,80 \pm 16,28\%$  -  $30,69 \pm 13,99\%$ ). 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 ( $690,74 \pm 93,06$ MPa y  $519,07 \pm 91,36$ MPa 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	$9,734 \pm 2,074$	$5,894 \pm 0,811$
	Transversal	$8,255 \pm 0,632$	$3,073 \pm 0,368$
Elongación máxima (%)	Longitudinal	$42,801 \pm 16,284$	$15,698 \pm 3,435$
	Transversal	$30,685 \pm 13,990$	$6,146 \pm 0,734$
Módulo de elasticidad (MPa)	Longitudinal	$690,744 \pm 93,061$	$326,677 \pm 54,290$
	Transversal	$519,072 \pm 91,365$	$98,914 \pm 12,454$



**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 en estudios posteriores (12, 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, otros autores 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 (14), 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).

## 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.

## 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. 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.
2. Qiao Xiuying, Tang Zhongzhu, Sun Kang. Plasticization of corn starch by polyol mixtures. *Carbohydrate Polymers*. 2011 Ene 22; 83(2): 659-664.
3. 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.
4. 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.
5. Sarazin P, Li G, Orts W J, Favis B D. Binary and ternary blends of polylactide, polycaprolactone and thermoplastic starch. *Polymer*. 2008 Ene 21; 49(2): 599-609.
6. 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.
7. Serna L, Albán F. Ácido poliláctico (PLA): Propiedades y aplicaciones. *Revista Ingeniería y Competitividad*. 2011; 5(1): 16-26.
8. 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.
9. Carmona V, Corrêa A, Marconcini J, Mattoso L. Properties of a Biodegradable Ternary Blend of Thermoplastic Starch (TPS), Poly ( $\epsilon$ -Caprolactone) (PCL) and Poly (Lactic Acid)(PLA). *Journal of Polymers and the Environment*. 2015 Jun 24; 23(1): 83-89.
10. Shahzad A. Mechanical Properties of Eco-friendly Polymer Nanocomposites. *Eco-friendly Polymer Nanocomposites*. 2015 Jun 23; 75(1): 527-559.
11. Kanai T, Campbell G. *Polymer Processing*. Society Progress in Polymer Processing Series. Hanser Publishers, Munich. 2014.
12. Benal M, Díaz 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.
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.
14. 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
15. 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.

# BIOPRESERVACIÓN CON *Lactobacillus plantarum* JCM 1149 Y SECADO POR BOMBA DE CALOR DE RODAJAS DE MELÓN CANTALOUPE (*Cucumis melo*)

BIOPRESERVATION BY *Lactobacillus plantarum* JCM 1149 AND HEAT PUMP DRYING ON CANTALOUPE (*Cucumis melo*) SLICES

Johana BOLÍVAR-MONSALVE Ing.<sup>1\*</sup>, Claudia RUBIANO-GAVILÁN Ing.<sup>1</sup>,  
Cristina RAMÍREZ-TORO Ph.D.<sup>1</sup>, Juan Carlos GÓMEZ-DAZA Ph.D.<sup>1</sup>, Germán A. BOLÍVAR Ph.D.<sup>2</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** Las bacterias ácido lácticas (BAL) como producto de su metabolismo producen ácidos orgánicos y bacteriocinas que contribuyen a la biopreservación de alimentos que tienen una vida útil corta, sin el uso de conservantes. Por su parte, la operación de secado permite obtener productos con baja actividad de agua ( $A_w$ ), lo que impide su deterioro acelerado, como en el caso de las frutas. No se conocen estudios en melón que combinen estas tecnologías, sólo pocas investigaciones sobre el efecto del secado en su preservación. **Objetivo:** Se evaluó el efecto de la biopreservación y del secado asistido por bomba de calor en rodajas de melón *Cantaloupe* sobre su tiempo de vida útil. **Métodos:** Se impregnaron rodajas de melón con un medio cultivo elaborado a partir de suero de leche, leche de soya, leche en polvo, sacarosa y salvado de trigo, inoculado con el 10% de *L. plantarum* JCM 1149, hasta alcanzar su máximo crecimiento exponencial. Estas fueron sometidas a un proceso de secado, de acuerdo a un diseño experimental factorial completamente al azar, con temperaturas (40 y 50 °C) y velocidades de flujo de aire de secado (0.8 y 1.2 m/s), en el que se evaluó la viabilidad de la cepa. Al mejor tratamiento, se realizó un seguimiento de la vida útil a temperatura ambiente en condición de vacío, en función de la pérdida de viabilidad y de la  $A_w$ . **Resultados:** Se obtuvo una mayor viabilidad de  $2.2 \times 10^8$  UFC/g en las rodajas secadas a 50°C y 1.2 m/s. El producto final contó con una viabilidad mayor a  $10^6$  UFC/g durante 28 días y una vida útil de 7 meses. **Conclusiones:** La combinación de tec-

nologías como biopreservación y secado mejoraron significativamente la vida de anaquel de las rodajas de melón *Cantaloupe*, pudiéndose conservar en un tiempo prolongado a temperatura ambiente.

**Palabras clave:** Fermentación ácido láctica, secado asistido por bomba de calor, vida útil, melón.

## ABSTRACT

**Background:** Lactic acid bacteria (LAB) as product of its metabolism produce organic acids and bacteriocins, which contribute to food biopreservation having a short shelf life, without the use of preservatives. Meanwhile, the drying operation allows obtaining products with a low water activity, preventing their rapid deterioration, as in the case of fruit. No studies melon combining these technologies are known, only few studies on the effect of drying preservation. **Objective:** The effect of biopreservation and heat pump drying on Cantaloupe slices over its shelf life were evaluated. **Methods:** Melon slices were impregnated with culture medium made from whey, soymilk, milk powder, sucrose and wheat bran, inoculated with 10% of *L. plantarum* JCM 1149, reaching its maximum exponential growth. These were subjected to a drying process, according to a factorial experimental design completely randomized with temperatures (40 to 50°C) and air flow rates (0.8 and 1.2 m/s), in which assessed the viability of the strain. The best treatment, monitor the shelf life at room temperature in vacuum condition, in terms of loss of viability and  $A_w$  was performed. **Results:** Greater viability of  $2.2 \times 10^8$  CFU/g sliced dried at

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle, Cali-Colombia.

<sup>2</sup> Director grupo de investigación Microbiología y Biotecnología Aplicada. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad del Valle, Cali-Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: johana.bolivar27@gmail.com

50°C and 1.2 m/s was obtained. The final product had a greater viability than  $10^6$  CFU/g for 28 days and a shelf life of seven months. **Conclusions:** The combination of technologies such as biopreservation and drying significantly improved shelf life of Cantaloupe slices, and it can be stored in a long time at room temperature.

**Keywords:** Lactic acid fermentation, heat pump drying, shelf life, melon.

## INTRODUCCIÓN

La demanda de alimentos se ha direccionado hacia el consumo de frutas y verduras frescas de fácil consumo. El melón al comercializarse en fresco, se ve afectado por hongos y levaduras (1). Debido a su vida útil corta, se requiere de tecnologías amigables con el medio ambiente que mantengan sus características por mayor tiempo, como lo son, la biopreservación con BAL como cultivo iniciador (2) y el secador asistido por bomba de calor (3). Hasta el momento no se conocen estudios en melón que combinen estas dos tecnologías. Pocas investigaciones acerca del secado de este producto, estudiaron secados convencionales para diferentes geometrías (4) y determinaron parámetros de transferencia de masa (5).

En esta investigación se evaluó el efecto de la biopreservación y del secado asistido por bomba de calor en rodajas de melón *Cantaloupe* sobre la vida útil de la fruta, con el fin de conseguir rodajas de melón con mayor tiempo de conservación a temperatura ambiente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia prima

Se utilizaron melones (*Cucumis melo*) variedad *Cantaloupe*, obteniendo rodajas de 3cm de diámetro con 5mm de espesor empleando un tajador manual y un sacabocados estériles.

### Cepa y medio de cultivo

Se usó la cepa *L. plantarum* JCM 1149 provista por el laboratorio de Microbiología y Biotecnología Marina de la Universidad del Valle y se desarrolló un medio de cultivo con azúcar (40%), suero de leche (20%), leche en polvo (20%) y leche de soya (20%).

### Cinética de crecimiento del *L. plantarum* JCM 1149

Se utilizaron biorreactores con 500 mL de medio de cultivo, inoculados con el 10% de la cepa y se colocaron en un agitador orbital (KS501 digital IKA, China).

### Viabilidad (V)

Se realizó acorde a (6) y se expresó en unidades formadoras de colonia por gramo (UFC/g).

### pH

Se evaluó conforme a la norma AOAC 981.12 de 1995 (7), utilizando un pH-metro (Thermo Scientific Orion Star™, Estados Unidos).

### Azúcares totales (AT)

Se determinaron según el método de Antrona (8). Las lecturas de densidad óptica se realizaron a 625nm en un espectrofotómetro (Unico 2100, Estados Unidos).

### Fermentación y secado de las rodajas de melón

La fermentación de las rodajas se llevó en condiciones anaeróbicas a 37 °C. Se realizaron las cinéticas de secado mencionadas en el ítem 1.6, evaluando la viabilidad.

La viabilidad (*V*) se expresó en logaritmo natural empleando la ecuación 1.

$$\frac{\% \text{Pérdida o ganancia de viabilidad}}{\text{viabilidad}} = \frac{\ln V_{\text{después de secado}}}{\ln V_{\text{antes de secado}}} \times 100\% \quad (\text{Ecuación 1})$$

La difusividad efectiva se determinó mediante las soluciones a la ecuación de Fick y los modelos de Henderson y Pabis y Wang y Sinh, (Ec. 2-4) respectivamente.

$$Y = \frac{X_{\infty} - X}{X_{\infty} - X_0} = \left( \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2}{4} f_0\right) \right) \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$\left( \frac{4}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\pi^2}{R^2 \delta_n^2} \exp(-R^2 \delta_n^2 f_0) \right)$$

$$Y = a * \exp(-kt) \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$Y = 1 + ab + bt^2 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde  $a$  y  $b$  son constantes de los modelos y  $k$  es contante de secado ( $s^{-1}$ ).

**Determinación de la vida útil de las rodajas de melón**

La vida útil se evaluó en condición de vacío a temperatura ambiente, de acuerdo a su función probiótica (Ec.5) (9), y de la  $A_w$  determinada con un medidor (AquaLab Serie 4, Argentina).

$$t = \frac{|\ln Q_0 - \ln Q_f|}{k} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

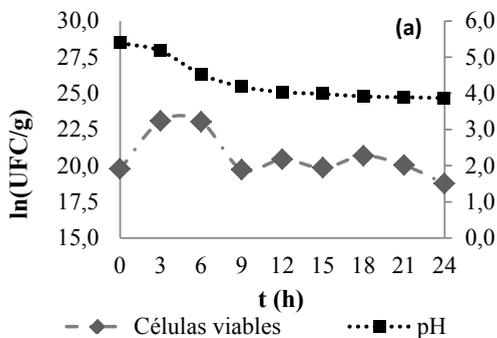
**Análisis estadístico**

Se aplicó un diseño experimental factorial completamente al azar con factores temperatura (40°C, 50°C) y velocidad del flujo de aire (0.8 m/s, 1.2 m/s). La viabilidad se analizó con un ANOVA y las diferencias entre los tratamientos mediante la prueba de Tuckey, con un nivel de significancia ( $P < 0.05$ ). Los datos se procesaron en el Software estadístico Minitab 16.1.

**RESULTADOS**

**Crecimiento del *L. plantarum* JCM 1149 en el medio de cultivo**

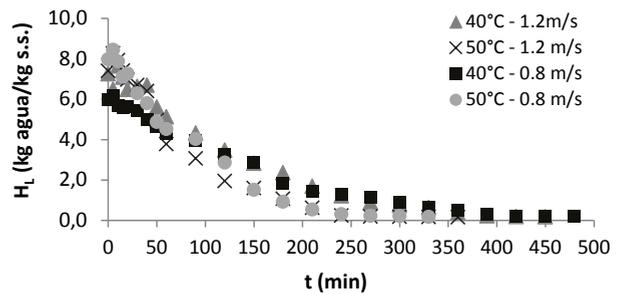
El máximo crecimiento de la cepa fue a las 3 horas, con una viabilidad de  $1.2 \times 10^{10}$  UFC/mL (Figura 1). Por otro lado, la reducción del pH, se debe a la anaerobiosis facultativa de la bacteria, por lo que transforma los azúcares en ácido láctico por la vía de la glicólisis (10).



Los azúcares totales fluctuaron por el consumo de este nutriente para su mantenimiento celular. A las 12 h y 15 h de crecimiento se sintetizan como producto del desdoblamiento de la estaquiosa y rafinosa,  $\alpha$ -galactósidos de sacarosa presentes en la soya. Los cuales son hidrolizados a  $\alpha$ -galactosil por las  $\alpha$ -galactosidasas producidas por la BAL (11-12).

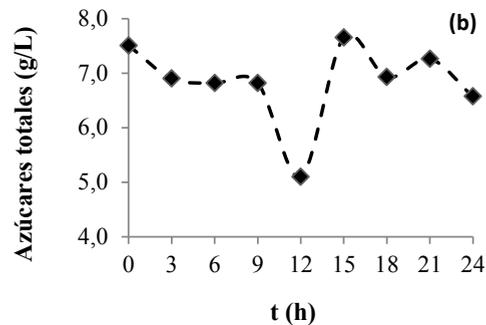
Influencia de la temperatura sobre el proceso de secado

La humedad libre ( $H_L$ ) de las rodajas disminuye con el tiempo de secado. No hay diferencias entre las temperaturas estudiadas por la resistencia interna al fenómeno de transferencia de calor, debido posiblemente a la producción de exopolisacáridos de la BAL a partir de la sacarosa, mediante la producción de enzimas dextranucrasas (13).



**Figura 2.** Curvas de secado de las rodajas de melón impregnadas.

El coeficiente de difusividad (Tabla 1), se determinó con la Ec. 2, superponiendo las ecuaciones de geometría cilíndrica y longitudinal, considerando 3 términos de la serie.



**Figura 1.** Crecimiento del *L. plantarum* JCM 1149 (a) pH y Viabilidad. (b) AT

**Tabla 1.** Difusividad efectiva ( $D_{ef}$ ) en  $m^2/s$  para los diferentes tratamientos

Velocidad del aire (m/s)	Temperatura de secado ( $^{\circ}C$ )			
	40		50	
	$D_{ef} 10^9$	$R^2$	$D_{ef} 10^9$	$R^2$
0,8	2,26	0,92	4,02	0,96
1,2	2,56	0,93	4,05	0,95

A mayor temperatura el coeficiente de difusividad efectiva fue más elevado a una misma velocidad del aire. La pérdida de agua se facilita por el aumento en la energía cinética de las moléculas, favoreciendo los fenómenos de transferencia e incrementando la velocidad con la que el agua sale del alimento. Los resultados son análogos a los reportados por (14-15).

Los tiempos de secado se determinaron con una humedad final del 17% en base húmeda. Los tiempos de velocidad constante y decreciente se relacionan positivamente con las cinéticas de secado (Tabla 2). Al incrementar la temperatura disminuye notablemente el tiempo de período constante y el tiempo total, mientras que al variar la velocidad de flujo de aire, no se encuentran diferencias significativas. Esto se corrobora con los resultados de la Tabla 1.

**Tabla 2.** Tiempo de secado para los diferentes tratamientos

Velocidad del aire (m/s)	Temperatura de secado ( $^{\circ}C$ )					
	40			50		
	$t_c$	$t_d$	$t_T$	$t_c$	$t_d$	$t_T$
0.8	4.2	4.7	8.9	2.2	3.3	5.5
1.2	4.1	3.7	7.8	1.4	2.7	4.1

$t_c$ : tiempo de velocidad constante  $t_d$ : tiempo de velocidad decreciente  $t_T$ : tiempo total de secado. (Horas).

#### Modelado de secado de los datos experimentales

Los datos se modelaron con la Ec.3 y Ec.4 en el Software Polymath 6.1 y la validación de estos con los estadísticos coeficiente de correlación y el error estándar estimado (Tabla 3).

**Tabla 3.** Parámetros estadísticos para modelos de secado

Modelo	Estadístico	50 $^{\circ}C$ - 1.2m/s	50 $^{\circ}C$ - 0.8m/s	40 $^{\circ}C$ - 1.2m/s	40 $^{\circ}C$ - 0.8m/s
Wang y Singh	$a \times 10^3$	-6.9424	-7.1503	-4.8488	-4.4717
	$b \times 10^5$	1.1990	1.2890	0.6034	0.5174
	$R^2$	0.9011	0.9277	0.9294	0.9503
	SEE	0.0951	0.0965	0.0958	0.0801
Henderson y Pabis	$a$	1.1596	1.0785	1.0640	1.0539
	$k \times 10^2$	1.1239	1.0555	0.6952	0.6333
	$R^2$	0.9777	0.9752	0.9642	0.9734
	SEE	0.0663	0.0688	0.0833	0.0703

SEE: error estándar medio estimado

Los modelos describen satisfactoriamente las curvas de secado dado que los coeficientes de correlación fueron superiores a 0.90 y el error estándar estimado inferior a 0.10.

#### Establecimiento del tratamiento adecuado

La viabilidad bacteriana aumentó con el proceso de secado, a excepción de los tratamientos 40 $^{\circ}C$ , 1.2-a m/s y 50 $^{\circ}C$ , 0.8-a m/s (Tabla 4). Este fenómeno se debe al amplio rango en la temperatura de crecimiento (2 $^{\circ}C$  a 53 $^{\circ}C$ ) del *L. plantarum*, con temperatura óptima de 25 $^{\circ}C$  a 30 $^{\circ}C$  (16), por lo que las temperaturas estudiadas contribuyeron a la reproducción bacteriana y de esta manera a la conservación de las rodajas de melón.

**Tabla 4.** Ganancia/pérdida de viabilidad del microorganismo en los diferentes tratamientos.

Velocidad del aire (m/s)	Ganancia o pérdida de viabilidad	
	Temperatura de secado ( $^{\circ}C$ )	
	40 $^{\circ}C$	50 $^{\circ}C$
0.8-a	1.62	-2.06
1.2-a	-0.35	1.75
0.8-b	2.26	2.18
1.2-b	1.82	2.47

a: muestra, b: duplicado

**Tabla 5.** ANOVA Viabilidad en rodajas de melón impregnadas y secas.

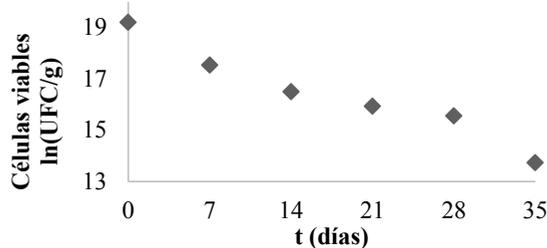
Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	P
Temperatura	1	0.128	0.128	0.04	0.846
Velocidad	1	0.357	0.357	0.12	0.746
Temperatura * Velocidad	1	5.298	5.298	1.79	0.251
Error	4	11.807	2.952		
Total	7				

Las fuentes tienen un  $F_c < F_T$  y un P-valor mayor al nivel de significancia ( $\alpha=0.05$ ), por lo que no hay una efecto significativo de estos sobre la pérdida

o ganancia de viabilidad. El modelo se validó con el error de distribución normal y varianza entre tratamiento iguales, con las pruebas Kolmogorov-Smirnov y Bartlett, respectivamente. Se cumplieron los supuestos de verificación de adecuación de modelo y el ANOVA.

### Vida útil del producto final

La viabilidad en el tiempo (Figura 4) se explica con una reacción de deterioro de primer orden (17), dada por la ecuación 5, resultando una pérdida de acción bactericida a los 28 días.



**Figura 4.** Viabilidad de las rodajas de melón en el tiempo de almacenamiento.

### En función de la actividad de agua

La vida útil del producto presenta una reacción de deterioro de orden 0, con constante  $k$  de  $0.0016 \text{ días}^{-1}$ . equivale a  $0.50$  ( $A_w$  inicial) y a  $0.80$  (valor óptimo para el desarrollo de hongos). Obteniendo una vida útil de las rodajas de melón de 188 días (7 meses).

## DISCUSIÓN

Dado que las condiciones de secado no tuvieron influencia significativa sobre la viabilidad del microorganismo, el mejor tratamiento ( $50^\circ\text{C}$  y  $1.2\text{m/s}$ ) se determinó por el tiempo de proceso, al ser crítico en los procesos agroindustriales. Con este parámetro, la cepa pierde su acción probiótica en 28 días. Este resultado concuerda con (18) y (19), en rodajas de manzanas frescas enriquecidas con BAL y en un concentrado impregnado con *Lactobacillus plantarum*, respectivamente. Las bacterias con viabilidad baja, secretan metabolitos como bacteriocinas y ácidos orgánicos, que ejercen función antimicrobiana (20). Por lo tanto, la vida útil del producto se evaluó en función de la  $A_w$ , pudiéndose conservar por 188 días. En cubos de melón impregnados al vacío se reportó una vida útil de 14 días (21).

## CONCLUSIONES

La combinación de las tecnologías estudiadas permitió alargar considerablemente la vida útil de las rodajas de melón, como un producto listo para consumo y valor agregado en cuanto a su funcionalidad. Los parámetros de secado fueron apropiados para mantener una buena viabilidad de la bacteria, siendo más apropiado  $50^\circ\text{C}$  y  $1.2 \text{ m/s}$  tras 4 h de secado.

## REFERENCIAS

1. Fornaris GJ, Lugo WI. Conjunto tecnológico para la producción de melón "Cantaloupe" y "Honeydew". [Puerto Rico]: University of Puerto Rico: 2009. 74 p.
2. Parra R. Review: Bacterias ácido lácticas: Papel funcional en los alimentos. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. 2010; 8(1): 1692-3561.
3. Colak N, & Hepbasli A. A review of heat pump drying: Part 1 – Systems, models and studies. Energy conversion and management. (2009). 50(9): 2180-2186.
4. Suárez R, Cornejo, F. Estudio comparativo de la incidencia de la forma geométrica del alimento en la velocidad de secado aplicado al melón *Cantaloupe*. [Tesis de grado]. [Ecuador]: Escuela Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción: 2010. 97 p.
5. Darvishi H, Khodaei J, Azadbakht M. The Parameters of Mass Transfer of Convective Drying in Sliced Melon. Philippine Agricultural Scientist. 2015; 98(1): 60-72.
6. Ramírez C, Bolívar A, Ciffoni GA, Pancheniak EMG, Soccol EF. Microorganismos lácticos probióticos para ser aplicados en la alimentación de larvas de camarón y peces como sustituto de antibiótico. La Alimentación Latino Americana. 2006; 264: 70-78.
7. Association of Official Analytical Chemist. Official methods of analysis. Washington, D. C. 1995.
8. Dubois M, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. Analytical Chemistry. 1956; 28(3): 350-356.
9. Pengfei R, Li X, Yaling Y, Suxu H. *Lactobacillus plantarum* subsp. *plantarum* JCM 1149 vs. *Aeromonas hydrophila* NJ-1 in the anterior intestine and posterior intestine of hybrid tilapia *Oreochromis niloticus* ♀ × *Oreochromis aureus* ♂: An ex vivo study. Fish & Shellfish Immunology. 2013. 35(1): 146-153.
10. Hernández A, Alfaro I, Arrieta R. Microbiología Industrial. Primera edición. San José, Costa Rica: EUNED; 2003. 267 p.
11. Yin LJ, Tai HM, Lee HH, Jiang ST. Proteolysis and *Lactobacillus* fermentation effects on the isoflavones biotransformation and removal of anti-nutritional factors of soybean. J Marine Sci Tech. 2014. 22: 525-530.
12. Donkor ON, Henriksson A, Vasiljevic T, Shah NP.  $\alpha$ -Galactosidase and proteolytic activities of selected probiotic and dairy cultures in fermented soymilk. Food Chemistry. 2007. 104(1): 10-20.
13. Patel AK, Michaud P, Singhanian RR, Soccol CR, Pandey A. Polysaccharides from probiotics: new developments as food additives. Food Technology and Biotechnology. 2010. 48(4): 451-463.
14. Fernandes FA, Gallão MI, Rodrigues S. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. LWT-Food Science and Technology. 2008. 41(4): 604-610.
15. Ruiz-López II, Ruiz-Espinosa H, Arellanes-Lozada P, Bárcenas-Pozos ME, García MA. Analytical model for variable moisture diffusivity estimation and drying simulation of shrinkable food products. Journal of Food Engineering. 2012. 108(3): 427-435.

16. García M, Quintero R, López A. Biotecnología alimentaria. Quinta reimpresión. Editorial Limusa, México D.F. 1993; 637 p.
17. Labuza T. The search for shelf-life. Food Testing and Analysis. 2000; 26-36.
18. Rößle C, Auty M, Brunton N, Gormley R, Butler F. Evaluation of fresh-cut apple slices enriched with probiotic bacteria. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2010. 11: 203-209.
19. Londoño L, Ramírez Toro C, Bolívar GA. Effect of drying on the viability of the probiotic bacterium *Lactobacillus plantarum* Lab9 (CPQBA 144-09 DRM 03) impregnated in the feed for tilapia (*Oreochromis* sp.). Aquaculture Research. 2015: 1-9.
20. Vázquez C, De Cos Blanco A, López C. Alimentación y nutrición: Manual teórico-práctico. Segunda edición. España: Díaz de Santos. 2005; 470 p.
21. Trujillo F, López S, Roa V, Soledad T, Cava R. Estudio de la estabilidad microbiológica del melón (*Cucumis melo* L.) mínimamente procesado por impregnación al vacío. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 2001; 51(2): 173-179.

# CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE PELÍCULAS A BASE DE GOMA XANTÁN

## PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF FILMS BASED ON XANTHAN GUM

Leidy Carolina AYALA-SÁNCHEZ Ing.<sup>1</sup>, Henry A. VAQUIRO H. Ph.D.<sup>2</sup>; José F. SOLANILLA D. Ph.D.<sup>2\*</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes:** El creciente interés por el desarrollo de empaques biodegradables, y la alta demanda de consumidores por alimentos seguros, frescos y de excelente calidad, propician la investigación en compuestos como la goma xantán como biomateriales, con características y propiedades adecuadas para emplearse en la formación de recubrimientos o películas, cuyo potencial permite aplicaciones diversas en la industria alimentaria. **Objetivos:** Elaborar y caracterizar dispersiones formadoras de película (DFP) y películas (P) a base de goma xantán (GX), para estudiar el comportamiento de este hidrocoloide como agente formador de recubrimientos/películas. **Métodos:** Se prepararon DFP a diferentes concentraciones de GX (B1: 1%, B2: 0.5% y B3: 0.25%) con la adición de glicerol y natamicina (agentes plastificante y antimicrobiano). En estas se evaluaron parámetros fisicoquímicos de pH, conductividad y densidad. Las P fueron acondicionadas y analizadas en contenido de humedad, espesor, permeabilidad al vapor de agua (PVA) y transparencia. Se realizaron análisis de varianza y pruebas de rangos múltiples con 95% de confianza. **Resultados:** Se obtuvieron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para la conductividad y densidad de las DFP, relacionadas con la concentración de GX, mientras que el pH fue significativamente superior en B1. Las P obtenidas mostraron una fuerte dependencia de la concentración de goma. El incremento de GX provocó el descenso en la humedad y transparencia, siendo esta última significativamente inferior en B3 ( $3.305 \pm 0.024$ ). La reducción de GX, condujo al descenso del espesor, siendo superior en B1 ( $0.042 \pm 0.004$  mm), se confirmó la incidencia de este parámetro en propiedades como la PVA, que fue considerablemente superior a la reportada en la literatura. **Conclusiones:** La estructura química

de la molécula de GX influyó los parámetros fisicoquímicos en las DFP. Se confirmó a la GX como un excelente agente formador de película, evidenciando una estructura continua y homogénea. Los resultados ratificaron la necesidad de mejorar las propiedades de P, con el fin de aprovechar el potencial de la GX.

**Palabras clave:** Goma xantán, biomateriales, permeabilidad.

### ABSTRACT

**Background:** The increasing interest in the development of biodegradable packaging, and high consumer demand for safe, fresh and of excellent quality food, foster research on compounds such as xanthan gum as biomaterials with characteristics and properties suitable for use in the forming coatings or films whose potential allows various applications in the food industry. **Objectives:** To develop and characterize film forming dispersions (DFP) and films (P) based on xanthan gum (GX), to study the behavior of the hydrocolloid-forming agent as coatings / films. **Methods:** DFP were prepared at different concentrations of GX (B1: 1%, B2: 0.5% and B3: 0.25%) with the addition of glycerol and natamycin (plasticizer and antimicrobial agents). In these DFP physicochemical parameters of pH, conductivity and density they were evaluated. P were conditioned and tested on moisture content, thickness, permeability to water vapor (PVA) and transparency. Analysis of variance and multiple range tests with 95% confidence were performed. **Results:** significant differences ( $p < 0.05$ ) for the conductivity and density of DFP were obtained, related to the concentration of GX, while the pH was significantly higher in B1. The P obtained showed strong concentration dependence of gum. GX increased leading to a decrease in moisture and

<sup>1</sup> Maestría en Ciencias Agroalimentarias, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia

<sup>2</sup> Departamento de Producción y Sanidad Vegetal, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: jfsolanilla@ut.edu.co

transparency, the latter significantly lower in B3 ( $3.305 \pm 0.024$ ) remain. GX diminishing, led to decrease in thickness, the latter being higher in B1 ( $0.042 \pm 0.004$  mm), the incidence of this parameter in properties such as PVA was confirmed, which was considerably higher than that reported in the literature. **Conclusions:** The chemical structure of the molecule GX influenced the physicochemical parameters in DFP. The GX was confirmed as an excellent film-forming agent, demonstrates a continuous and homogeneous structure. The results reaffirmed the need to improve the properties of P, in order to harness the potential of the GX.

**Keywords:** Xanthan gum, biomaterials, permeability.

## INTRODUCCIÓN

Las películas (P) y recubrimientos (R) se definen como cualquier tipo de material utilizado para revestir distintos productos, y al mismo tiempo prolongar su vida útil, limitar las pérdidas de humedad, actuar como barrera a los gases, fortalecer las capas naturales, brindar esterilidad superficial y ser vehículo de sustancias importantes (1). La variedad y la versatilidad de biopolímeros como las gomas alimentarias toma gran interés en la formación de R y P, ya que proporcionan funciones únicas y mejoradas tales como la adhesión, plasticidad, propiedades mecánicas y de barrera a gases, aceite, entre otras (2), superando problemas como la baja resistencia mecánica y débil barrera a la humedad,  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$  al utilizarse en matrices compuestas.

La goma xantán (GX) es un heteropolisacárido natural producido por la bacteria *Xanthomonas campestris*. Este hidrocoloide es uno de los más importantes comercialmente, por sus cualidades como agente de control reológico en sistemas acuosos y como estabilizador en emulsiones y suspensiones (3, 4).

Pocas investigaciones registran la efectividad de la GX como R o P. Sin embargo, al utilizarse como R simple, muestra alto potencial como vehículo de preservantes y mejorador de textura en productos mínimamente procesados (5, 6). Asimismo, se ha señalado que la formulación de R y P de GX mezclada con otros hidrocoloides (almidones, proteínas, entre otros), mejoran las propiedades de barrera contra la luz, mecánicas, ópticas y transporte de sustancias, por su elevada compatibilidad y grado de interacción con otros componentes (7, 8). Otros estudios reportan mejoras en propiedades

de R y P, a través del desarrollo de R compuestos (hidrocoloide-lípido), en los que se ha mejorado las propiedades mecánicas (PM), de barrera a la humedad, así como la capacidad para retener el aroma y el sabor de los productos, concluyendo que GX es un potencial agente formador de R/P o soporte para otros aditivos (9, 10).

El objetivo del presente trabajo es caracterizar las DFP a base de GX para el mejoramiento de las propiedades de las películas a través del diseño de matrices compuestas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales

Goma xantán grado alimentario (KELTROL T<sup>®</sup> de CP Kelco, USA) se adquirió en Química Aromática Andina S.A.S (Colombia). Glicerol USP al 99.5% y Natamicina (Natamax<sup>®</sup>) de Danisco A/S (Grindsted, Denmark) con 50% de Lactosa, adquiridos en Cimpa S.A.S (Colombia).

### Preparación de las películas

Las dispersiones formadoras de película (DFP) fueron preparadas adicionando lentamente GX, natamicina y glicerol en agua destilada, agitando a 500 rpm durante 1 h a  $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ . Se obtuvieron tres muestras con concentraciones constantes de Glicerol (0.4 g/g de GX), agente plastificante y natamicina (0.01%), agente antimicrobiano, mientras que GX varío en 1% (B1), 0.5% (B2) y 0.25% (B3). Posteriormente, las soluciones se vertieron en placas poliacrílicas niveladas, para el secado de las películas por convección natural bajo condiciones ambientales ( $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ , HR 75-80% por 72 h.). Finalmente, las películas se retiraron de las placas y se acondicionaron previamente en un desecador con  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ( $50 \pm 2\%$  humedad relativa,  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  por 48 h.).

### Caracterización de las dispersiones formadoras de película (DFP)

Se determinó el pH, por potenciometría a  $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ . La densidad, se determinó mediante el uso de picnómetro volumétrico estándar y balanza analítica con sensibilidad de 0.0001 g (OHAUS-Pioneer, USA) a temperatura de  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  expresándose en  $\text{g}/\text{cm}^3$ . La conductividad eléctrica (CE), se determinó mediante un medidor Handylab (multi 12, Germany) provisto de una celda de conducti-

vidad estándar Schott instruments (LF413T-ID, Germany), la medición fue corregida a  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  y expresada en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### Caracterización de las películas preformadas

El espesor (E) de las películas fue controlado mediante el vertido de una masa de la DFP por  $\text{cm}^2$  de la placa, es decir,  $0.30 \text{ g}/\text{cm}^2$ ,  $0.60 \text{ g}/\text{cm}^2$  y  $0.90 \text{ g}/\text{cm}^2$ . Se midió el espesor usando un micrómetro (Mitutoyo, Japón), con una precisión de  $0.001 \text{ mm}$ , las mediciones se realizaron en diez posiciones aleatorias de la superficie de la película y se reportó el valor promedio (11). La permeabilidad al vapor de agua (PVA) se determinó gravimétricamente (12), con algunas modificaciones en el diferencial de humedad relativa ( $100\%$  vs.  $75\% \pm 2\%$ ). Se registró el peso de las celdas de prueba cada hora por un periodo total de 8 horas. El contenido de humedad se determinó gravimétricamente (13). La transparencia de las películas se midió utilizando un espectrofotómetro UV-Vis Thermo Scientific (Genesys 10S, USA) (14).

### Análisis Estadístico

Los resultados se sometieron a análisis de varianza con el paquete estadístico Statgraphics Centurion Versión XV.II (Statpoint Technologies Inc., Warrenton, VA, E.U.). Se empleó diferencias mínimas significativas (LSD) de Fisher como método de comparación múltiple con un nivel de confianza del  $95.0\%$ .

## RESULTADOS

En este estudio se obtuvieron dispersiones formadoras película basadas en GX de aspecto homogéneo y sin presencia de sólidos insolubles (Figura 1).



**Figura 1.** Película de goma xantán (B2: 0.5%).

Los valores de pH descienden conforme se reduce la concentración de goma en la dispersión (Tabla 1), presentando su mayor valor en la muestra B1, con diferencias significativas frente a B2 y B3. Para la muestra B2 el valor promedio supera en un  $20\%$  los reportados en la literatura (15) para una dispersión de  $0.5\%$  de GX ( $\text{pH} = 5.1$ ), comportamiento que podría deberse al efecto de otros componentes presentes en la dispersión.

**Tabla 1.** Caracterización de las dispersiones formadoras de película (Promedio  $n=3 \pm$  Desviación estándar).

Muestra	pH	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
B1 (1% GX)	$7.84 \pm 0.07^a$	$836.25 \pm 23.31^a$	$1.0126 \pm 0.0002^a$
B2 (0.5% GX)	$6.39 \pm 0.12^b$	$419.57 \pm 3.31^b$	$1.0099 \pm 0.0001^b$
B3 (0.25% GX)	$6.34 \pm 0.11^b$	$231.13 \pm 0.64^c$	$1.0087 \pm 0.0002^c$

Letras en el superíndice de cada columna indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

La conductividad eléctrica (CE) y la densidad presentaron una relación directa con la concentración de GX (Tabla 1). Otros autores (17) reportaron valores aproximados de  $750$  y  $250 \mu\text{S}/\text{cm}$ , para soluciones de GX a concentración de  $0.5\%$  y  $0.2\%$  respectivamente, los cuales difieren en un  $44\%$  y  $8\%$  de los resultados para B2 y B3, probablemente por la presencia del glicerol y natamicina en las DFP. Por otra parte, la densidad de las P se incrementó con el aumento en la concentración de GX, comportamiento que se evidencia en soluciones acuosas con sólidos disueltos.

El espesor de las P es fundamental en el cálculo de PM y valores de PVA, afectando considerablemente sus resultados (18). El E de películas basadas en GX presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) dependiendo de la composición de la DFP (Tabla 2). El Espesor presentó valores entre  $0.019 \text{ mm}$  y  $0.055 \text{ mm}$ , los promedios para las tres muestras no presentaron un incremento proporcional para cada incremento en la concentración de GX, lo que indica la necesidad de estandarizar la relación de masa/área para cada concentración específica permitiendo desprestigiar el efecto de este parámetro sobre otras propiedades.

El contenido de humedad de las películas desecadas osciló entre  $11.71\%$  y  $15.63\%$  y no se presentaron diferencias significativas entre las diferentes muestras con un  $95\%$  de confianza (Tabla 2). Como se observa, a medida que la concentración de GX desciende, se incrementa el contenido de humedad de las películas, estos resultados se relacionan con la

capacidad de retención de agua de la molécula, que es proporcionada por la disponibilidad de radicales hidroxilo capaces de asociarse con el agua (8).

**Tabla 2.** Caracterización de películas preformadas a base de GX (Promedio \*n=3, \*\*n=90 ± Desviación estándar).

Muestra	Espesor (mm)**	Humedad (%)*	PVA ( $10^{-9}$ g m/s m <sup>2</sup> Pa)*	Transparencia*
B1 (1%GX)	0.042±0.004 <sup>a</sup>	12.404±0.112 <sup>a</sup>	1.090±0.030 <sup>a</sup>	1.743±0.047 <sup>a</sup>
B2 (0.5%GX)	0.037±0.006 <sup>b</sup>	13.668±2.767 <sup>a</sup>	1.028±0.052 <sup>a</sup>	2.532±0.121 <sup>b</sup>
B3 (0.25%GX)	0.030±0.004 <sup>c</sup>	15.249±0.434 <sup>a</sup>	0.862±0.141 <sup>b</sup>	3.305±0.024 <sup>c</sup>

Letras en el superíndice de cada columna indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

La GX presenta propiedades eficaces de barrera a los gases, aunque es altamente hidrofílica, mostrando alta PVA en comparación con revestimientos de lípidos y resinas (19). Existe una relación directa entre la concentración de GX y la PVA, presentando valores entre  $7.46 \times 10^{-10}$  a  $1.124 \times 10^{-9}$  g m/s m<sup>2</sup>Pa, las muestras B1 y B2 no exhiben diferencia estadísticamente significativa, mientras que estas presentan diferencia respecto de B3 (Tabla 2).

Se obtuvieron películas de GX en apariencia transparentes, sin embargo, se observa una significativa disminución de la transparencia a 600 nm de las P, con el incremento en la concentración GX (Tabla 2).

## DISCUSIÓN

Es conocido que la GX es altamente soluble en agua fría y caliente, relacionado con la naturaleza de polielectrolito de la molécula (16), que le brinda su consistente capacidad de retención de agua (2). La conformación en solución de la GX depende de la temperatura de disolución. Cuando se disuelve la goma a bajas temperaturas ( $< 40^\circ\text{C}$ ), tiene una conformación ordenada que permite una mejor interacción intermolecular (16). Por lo anterior, sumado a la alta capacidad de hidratación en agua fría de la GX, no se sometió la DFP a calentamiento para activar plenamente la molécula, obteniendo una adecuada formación estructural continúa en la película seca. Contrario a lo anterior el calentamiento de una dispersión de GX por encima de la temperatura de transición conformacional de la molécula ( $60^\circ\text{C}$ ) da como resultado la fusión de la estructura ordenada de la misma, volviendo a su estado original tras el enfriamiento (20).

La importancia del pH radica en el cambio en la viscosidad de las dispersiones, es decir, en la transición conformacional de la molécula. Para este estudio los valores obtenidos son superiores a pH de 5, probablemente por la influencia de otros componentes en la DFR. Cabe mencionar que comúnmente las dispersiones de GX tiendan a registrar valores de pH cercanos a 5, debido a la presencia de ácidos pirúvico y glucurónico en la molécula (16).

La muestra B1 presentó superior CE que puede ser explicada debido a la presencia de grupos  $\text{COO}^-$  en la GX. Esta tiene una cadena lateral en cada unidad monomérica que contiene una unidad de ácido D-glucurónico entre dos D-manosas, cada una de las cuales tiene un grupo carboxilo. En consecuencia, la presencia de pares de electrones individuales en los átomos de oxígeno de los grupos carboxílico juega un papel importante en la conducción protónica, lo que probablemente puede mejorar la movilidad de los electrones que incrementan a su vez la conductividad eléctrica (21). Por su parte, es conocido que las redes de gel se basan en las cadenas de moléculas como la GX, en consecuencia, la densidad de los geles aumenta con el aumento del contenido GX (20), tal como ocurre en este trabajo. En las tres muestras analizadas que presentan diferencias significativas, se observa que la densidad posee valores superiores a los del agua a la misma temperatura ( $0.99713 \text{ g/cm}^3$ ,  $25^\circ\text{C}$ ), debido a la presencia de sólidos disueltos.

El aumento en el contenido de GX influyó el incremento del espesor en las P analizadas, este efecto se asocia con las propiedades químicas del compuesto incluyendo su capacidad espesante y dispersante en soluciones acuosas. Los valores obtenidos son más bajos que los reportados en la literatura para películas de GX en combinación con otros polisacáridos, como películas extruidas de almidón de yuca-GX y P obtenidas por "casting" de almidón de maíz gelatinizado-GX, las cuales obtuvieron espesores de  $0.49 \pm 0.11$  mm y  $0.3-0.4$  mm respectivamente (7, 22). Esto se debe probablemente a la presencia de otros polisacáridos en la DFP y su grado de interacción con la GX, sumado a las diferencias en métodos de secado y relaciones de masa/área utilizadas.

La capacidad de retención de agua de la GX se observa al comparar el contenido de humedad de la muestra B2 ( $0.5\% \text{GX} = 13.668 \pm 2.767\%$ ) con películas de almidón de yuca, donde se obtuvo una

humedad de tan solo el 13.51% a una concentración de 5% de almidón, por lo tanto, se requirió 10 veces la cantidad de polisacárido para obtener una humedad similar (23).

El comportamiento de la PVA sugiere el marcado efecto del espesor de las películas sobre este parámetro (18). La permeabilidad para las P de GX fue considerablemente más alta que la reportada para películas de GX-gelatina ( $2.84 \times 10^{-10}$  g m/s m<sup>2</sup>Pa) (8). Estos resultados indican la necesidad de mejorar la PVA de las películas de GX, mediante la inclusión de componentes de naturaleza hidrofóbica en DFP, debido a que la eficiencia de P y R en cuanto a la PVA y conservación de aroma depende de la retención de elementos hidrofóbicos más que de hidrofílicos (vapor de agua), la GX ha demostrado dicha funcionalidad en otras investigaciones, debido a su excelente grado de interacción con este tipo de componentes (9, 10).

Los valores de transparencia fueron superiores a 1, es decir que las P son poco transparentes si se comparan con datos reportados en la literatura para P de gelatina-GX ( $T_{600nm} = 0.36$ ) (8).

## CONCLUSIONES

Las características de GX en soluciones acuosas, permitieron la obtención de películas con una adecuada estructura continua, confirmando la funcionalidad de la GX como agente formador de R y/o P. Las propiedades fisicoquímicas de las DFP, mostraron dependencia por la concentración de GX debido a la alta influencia de la estructura química de la molécula. Parámetros como la PVA mostraron un alto efecto del espesor en su resultado, presentando valores superiores a los reportados para películas con GX. Las propiedades de películas de GX son susceptibles de ser mejoradas mediante la adición de otros compuestos en la formulación, lo que permitirá aprovechar el potencial de este importante hidrocoloide para interactuar y retener otros agentes.

## AGRADECIMIENTOS

Oficina de Investigaciones y Desarrollo Científico, Universidad del Tolima. Proyecto 340214.

## REFERENCIAS

- Falguera V, Quintero JP, Jiménez A, Muñoz JA, Ibarz A. Edible films and coatings: structures, active functions and trends in their use. *Trends Food Sci Tech.* 2011; 22: 292-303.
- Embuscado ME & Huber KC. *Edible films and coatings for food applications.* New York, USA: Springer. 2009; 410 p.
- Borges CD, Vendruscolo CT. Goma Xantana: características e condições operacionais de produção. *Ciências Biológicas e da Saúde.* 2008; 29(2): 171-188.
- Hublik G. Xanthan. En: *Matyjaszewski K & Moeller M. Polymer Science: A Comprehensive Reference.* 1<sup>st</sup> Edition. Amsterdam, Netherlands: Elsevier. 2012, 10: 221-229.
- Freitas IR, Cortez-Vega WR, Pizato S, Prentice-Hernández C & Borges CD. Xanthan Gum as a Carrier of Preservative Agents and Calcium Chloride Applied on Fresh-Cut Apple. *J Food Safety.* 2013; 33(3): 229-238.
- Cortez-Vega WR, Piotrowicz IBB, Prentice-Hernández C & Borges CD. Conservation of papaya minimally processed with the use of edible coating based on xanthan gum. *Semin-Cienc Agrar.* 2013; 34(4): 1753-1764.
- Flores SK, Costa D, Yamashita F, Gerschenson LN & Grossmann MV. Mixture design for evaluation of potassium sorbate and xanthan gum effect on properties of tapioca starch films obtained by extrusion. *Mater Sci Eng.* 2010; 30(1): 196-202.
- Guo J, Ge L, Li X, Mu C & Li D. Periodate oxidation of xanthan gum and its crosslinking effects on gelatin-based edible films. *Food Hydrocolloids.* 2014; 39: 243-250.
- Zambrano-Zaragoza ML, Mercado-Silva E, Ramirez-Zamorano P, Cornejo-Villegas MA, Gutiérrez-Cortez E & Quintanar-Guerrero D. Use of solid lipid nanoparticles (SLNs) in edible coatings to increase guava (*Psidium guajava* L.) shelf-life. *Food Res Int.* 2013; 51 (2): 946-953.
- Quezada-Gallo JA, Gramin A, Pattyn C, Diaz Amaro MR, Debeaufort F & Voilley A. Biopolymers used as edible coating to limit water transfer, colour degradation and aroma compound 2-pentanone lost in Mexican fruits. *Acta Hort.* 2004; 682: 1709-1716.
- Rodríguez M, Osés J, Ziani K & Maté JI. Combined effect of plasticizers and surfactants on the physical properties of starch based edible films. *Food Res Int.* 2006; 39 (8): 840-846.
- Rhim JW. Physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films. *LWT-Food Sci Technol.* 2004; 37(3): 323-330.
- Khanzadi M, Jafari SM, Mirzaei H, Chegini FK, Maghsoudlou Y & Dehnad D. Physical and mechanical properties in biodegradable films of whey protein concentrate-pullulan by application of beeswax. *Carbohydr. Polym.* 2015; 118: 24-29.
- Weng WY, Tao Z, Liu GM, Su WJ, Osako K, Tanaka M & Cao MJ. Mechanical, Barrier, Optical Properties and Antimicrobial Activity of Edible Films Prepared from Silver Carp Surimi Incorporated with  $\epsilon$ -Polylysine. *Packag Technol Sci.* 2014; 27(1): 37-47.
- Huang H, Kakuda Y & Cui W. Hydrocolloids in emulsions: particle size distribution and interfacial activity. *Food Hydrocolloids.* 2001; 15: 533-542.
- García-Ochoa F, Santos VE, Casas JA & Gómez E. Xanthan gum: production, recovery, and properties. *Biotechnol Adv.* 2000; 18(7): 549-579.
- Nedjhioui M, Moulai-Mostefa N, Morsli A & Bensmaili A. Combined effects of polymer/surfactant/oil/alkali on physical chemical properties. *Desalination.* 2005; 185(1): 543-550.
- Galus S & Lenart A. Development and characterization of composite edible films based on sodium alginate and pectin. *J Food Eng.* 2013; 115(4): 459-465.
- Baldwin EA, Hagenmaier R & Bai J. *Edible coatings and films to improve food quality.* Boca Raton, USA: CRC Press. 2011; 460 p.
- Le XT & Turgeon SL. Rheological and structural study of electrostatic cross-linked xanthan gum hydrogels induced by  $\beta$ -lactoglobulin. *Soft Matter.* 2013; 9(11): 3063-3073.
- Larimi SG, Darzi HH & Darzi GN. Fabrication and characterization of polyaniline/xanthan gum nanocomposite: Conductivity and thermal properties. *Synthetic Met.* 2012; 162(1): 171-175.
- Shalviri A, Liu Q, Abdekhodaie MJ & Wu XY. Novel modified starch-xanthan gum hydrogels for controlled drug delivery: Synthesis and characterization. *Carbohydr. Polym.* 2010; 79(4): 898-907.
- Veiga-Santos P, Oliveira LM, Cereda MP, Alves AJ & Scamparini ARP. Mechanical properties, hydrophilicity and water activity of starch-gum films: effect of additives and deacetylated xanthan gum. *Food Hydrocolloids.* 2005; 19(2): 341-349.

# ANÁLISIS DE LAS ISOTERMAS DE DESORCIÓN DURANTE EL PROCESO DE TOSTIÓN DEL CAFÉ VERDE

## ANALYSIS DESORPTION ISOTHERMS OF ROASTING DURING GREEN COFFEE

Adriana Paola TABARES ARENAS<sup>1\*</sup>, Luis Fernando MEJÍA<sup>2</sup>, Félix Octavio DIAZ<sup>3</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes:** Uno de los principales procesos de transformación del café es el tostado. En el grano de café verde ocurren una serie de cambios físicos y químicos producto de la tostión del grano. En el proceso de tostado del café se ocasionan además de la disminución de la actividad de agua, una variación de color en el grano, cambios en la densidad, cambios en el volumen y transformaciones generadas producto de la reacción de Maillard. **Objetivo:** En este estudio se identificó la relación que posee la disminución de la actividad de agua y las isotermas de desorción del café, con la variación del color en el producto. **Métodos:** Dicho estudio se realizó en el laboratorio de café de la Universidad de Caldas, tomando como materia prima café arábica tipo excelso variedad Castillo. Se determinaron variables termodinámicas como: humedad y actividad de agua y variables sensoriales como el color. Se evaluaron cuatro modelos de isotermas para la tostión de café y se evidenció el comportamiento de las isotermas por cada modelo. Las Variables resultantes se evaluaron mediante los modelos de BET, GAB, Henderson y Caurie. **Resultados:** Se evidenció que el modelo de GAB fue el que tuvo un mejor ajuste a las isotermas de desorción del café con un coeficiente de correlación de 0.9818. A medida que pasa el tiempo de tostión el grano se torna en un color canela; cuando el café está alrededor de los 170° adquiere este color. El color a su vez, tiene relación con características sensoriales. **Conclusiones:** El orden de mayor índice de correlación para los modelos de GAB, Henderson y Caurie que representan el comportamiento del fenómeno de tostión del café verde se encuentra dentro de

un valor mayor que 0.95. El modelo BET reporta un índice menor a 0.95. El comportamiento de las isotermas de tostión del café corresponde a tipo III las cuales hacen referencia a sólidos no porosos, los cuales son considerados como sólidos multicapa. El color tiene una relación directa con el porcentaje de merma, la humedad o actividad de agua y las propiedades sensoriales como: el aroma y el sabor.

**Palabras clave:** Actividad de agua, Humedad en equilibrio, Isotermas, Desorción, Tostión.

### ABSTRACT

**Background:** A major transformation processes of coffee is roasted. In the green coffee bean occur a series of physical and chemical product of roasting the grain changes. In the coffee roasting process further cause of decreasing water activity, color variation in the grain density changes, changes in the volume and product transformations generated Maillard reaction. **Objectives:** In this study the relationship that has the decreased activity of water and desorption isotherms coffee with color variation in the product was identified. **Methods:** The study was conducted in the laboratory of coffee Universidad de Caldas, on the feedstock type Arabica coffee variety exalted Castillo. Moisture and water activity and sensory variables as color: as thermodynamic variables were determined. Isotherms four models were evaluated for roasting coffee and behavior of the isotherms evidenced by each model. The outcome variables were assessed using models of BET, GAB, Henderson and Caurie. **Results:** evidenced that the GAB model was the one that had the best fit to the desorption isotherms of coffee with a correlation coefficient of 0.9818.

<sup>1</sup> Ingeniera de Alimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

<sup>2</sup> Magíster. Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

<sup>3</sup> Magister. Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

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

As time goes by roasting the grain becomes a tan; when coffee is around 170 acquires this color. The color in turn is related to sensory characteristics. **Conclusions:** higher order correlation index for models GAB, Henderson and Caurrie representing the behavior of the phenomenon of roasting green coffee is within a value greater than 0.95. The BET model reports a rate lower than 0.95. The behavior of the isotherms of roasting coffee corresponds to Type III which refer to non-porous solids, which are considered as multilayer solid. The color is directly related to the percentage of decline, moisture or water activity and sensory properties such as fragrance and flavor.

**Keywords:** Activity of water, humidity balance, isotherms, desorption, Roasting.

## INTRODUCCIÓN

El café es uno de los principales productos colombianos cultivados, procesados, comercializados y consumidos a nivel mundial; por esta razón es un producto de gran influencia económica.

La tostión es una operación en la cual, por medio de la aplicación de calor al grano durante un determinado periodo de tiempo, se promueve la transferencia de calor convectiva y conductiva, además de un proceso de transferencia de masa difusiva; durante esta operación lo que se busca es una pirolisis controlada, en la cual la acción del calor permite desnaturalizar las proteínas que reaccionan con los carbohidratos y potencializar los compuestos volátiles; algunas características sensoriales que se ven influenciadas son: aroma, fragancia, sabor, acidez y amargor, que son fundamentales al momento de preparar y consumir una buena taza de café, las cuales definen la impresión global de dicha taza. Durante este proceso disminuye la humedad del grano y por tanto la actividad de agua, ésta pérdida en el tiempo se puede visualizar con las isothermas de desorción de agua que relacionan, a temperatura constante, el contenido en humedad de equilibrio con la actividad del agua en el producto (1). Por ello se determinaron los parámetros de los modelos de Bet, ecuación 1; modelo de Henderson, ecuación 2; modelo de Caurrie ecuación 3 y modelo de Gab, ecuación 4, para determinar cuál de los modelos representa con mayor fidelidad la pérdida de agua en el proceso de tostión. En la medida en que transcurre la pérdida de agua y se da el proceso de pirolisis el color del café tostado cambia, se quiere conocer el parámetros de color  $L^*$  o luminosidad,

para diferentes grados de tostión y si existe correlación entre este y el proceso de desorción del agua

$$W_e = \frac{W_o * C * a_w}{(1 - a_w) * (1 + (C - 1) * a_w)} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde

$w_o$  = Humedad del producto correspondiente a una capa monomolecular de agua adsorbida.

$C$  = constante característica del material relacionada al calor desprendido en el proceso.

$w_e$  = Humedad en el equilibrio.

$a_w$  = Actividad de agua.

$$W_e = 0,01 * \left[ \frac{-\text{Log}(1 - a_w)}{10^F} \right]^{\frac{1}{n}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$F$  y  $N$  = parámetros característicos del proceso

$$W_e = \text{Exp} * \left[ a_w * \text{Ln}(r) - \frac{1}{4,5 * W_s} \right] \quad \text{Ecuación 3}$$

$r$  = Constante del material.

$w_s$  = Contenido de humedad de seguridad que proporciona la máxima estabilidad al alimento deshidratado durante el almacenamiento.

$$W_e = \frac{W_o * C * K * a_w}{(1 - K * a_w) * (1 + (C - 1) * K * a_w)} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$w_o$  = Humedad del producto correspondiente a la situación en que los puntos de adsorción primarios están saturados por moléculas de agua.

$C$  = Constante de Guggenheim, características del producto.

$K$  = Factor de correlación.

## MATERIALES Y MÉTODOS:

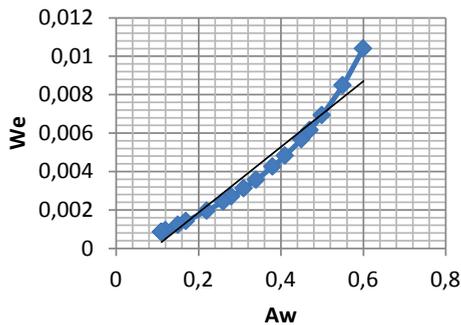
En las instalaciones del laboratorio de café adscrita a la facultad de ingeniería de la Universidad de Caldas, se tomó una muestra de 3 kilogramos de café pergamino variedad castillo, procedente de una finca (la aurora) del alto de la mina del municipio de Palestina (Caldas). El proceso de trilla se realizó con un trillador Quantik con capacidad de 250 gramos de café pergamino. Al material trillado se le retiró la pasilla y los granos defectuosos (mordido, manchado, etc.). Se tamizó según el procedimiento descrito en la Norma Técnica Colombiana (2), se utilizó el café retenido por encima de la malla número 14 según indica la resolución número 5 del 2002 (3) para

café excelso (4). Se tomaron 72 muestras de  $100 \pm 1$  gramos, se tostaron durante 12 minutos, tomando muestras cada  $30 \pm 3$  segundos, por triplicado, en un tostador marca Quantik modelo TC 150 AG, con 100 w de potencia a 180 grados centígrados de temperatura por 12 minutos según NTC-2442 (5); la humedad de los granos verdes se determinó según protocolo de la Norma Técnica Colombiana NTC-2325 (6) en estufa marca Dies modelo TH115FM. densidad al café verde (3). Las muestras tostadas se enfriaron y se pesaron en una balanza analítica marca kern modelo PCB2500-2, capacidad 2500 g  $\pm 0,0001$ . Las muestras se molieron en un molino Grind Master modelo 810 a molienda gruesa según NTC 3534 (7). Se verifico el tamaño de partícula por medio de la serie de mallas tayler según norma técnica colombiana NTC 2441 (8), se determina la refractancia con un colorímetro digital marca Quantik, modelo IR-800, con el fin de establecer la luminosidad. La actividad de agua se determinó en un equipo marca Aqualab. Los datos obtenidos se trataron para trabajar con valores medios.

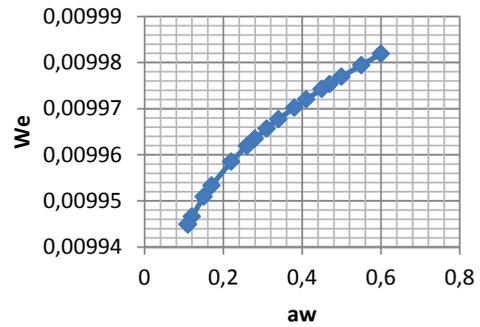
**RESULTADOS**

En las figuras 1, 2, 3 y 4 evidencian el comportamiento de la desorción del agua en el proceso de tosti3n de café verde.

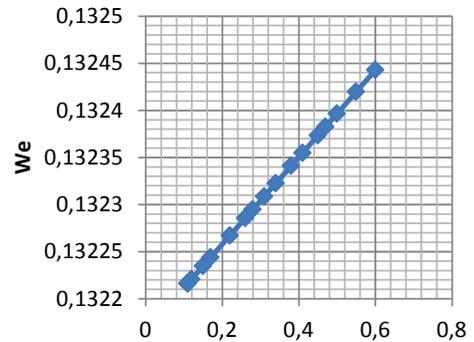
Se evaluaron cuatro modelos de isoterma para la tosti3n de café y se evidencio el comportamiento de las isoterma por cada modelo. En la tabla 2 se puede observar los coeficientes de correlaci3n de cada uno de los modelos y las constantes para cada uno de ellos.



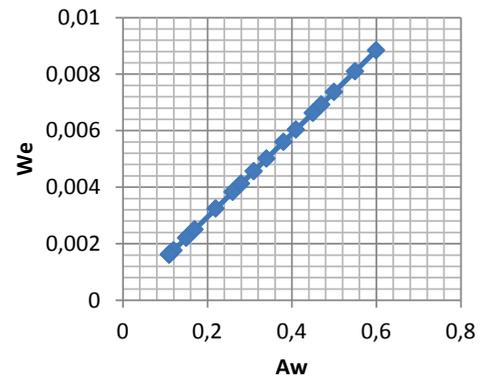
**Figura 1.** Modelo de BET



**Figura 2.** Modelo de Henderson



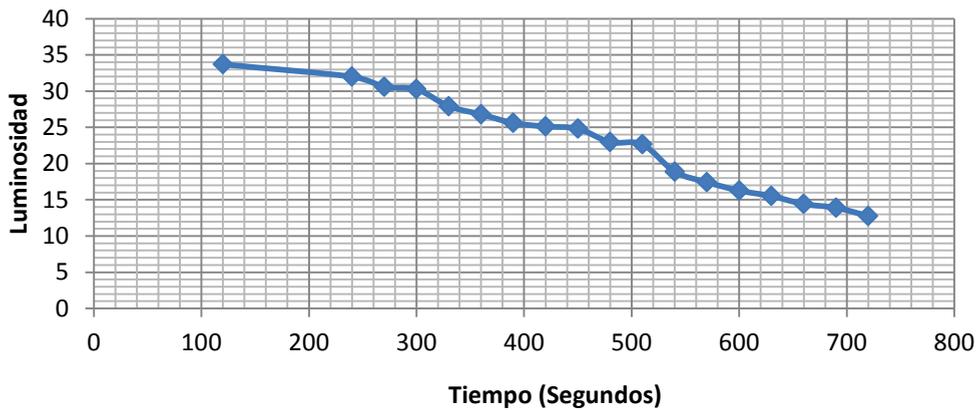
**Figura 3.** Modelo de Caurie



**Figura 4.** Modelo de GAB

**Tabla 1.** Grados de tosti3n café verde NTC 3534

Grado de tosti3n	Luminosidad	Grado de tosti3n	Luminosidad
Claro	24,5-21,5	Oscuro	28,4-15,5
Medio	21,4-28,5	Muy oscuro	15,5-12,4



**Figura 5.** Grado de tostación de café en grados de luminosidad por tiempo.

**Tabla 2.** Parámetros para los modelos

Constante		Wo	Ws	K	C	R	F	N
<b>Modelo de BET</b>	0,9375	0,00693			1,0034			
<b>Modelo de Henderson</b>	0,9632						0,0018	0,0364
<b>Modelo de Caurie</b>	0,9409		1,1098			1,0035		
<b>Modelo de GAB</b>	0,9818	0,6329		0,0122	1,8888			

## DISCUSIÓN

Se evidencia que el modelo de GAB fue el que tuvo un mejor ajuste con un coeficiente de correlación de 0.9818, cabe resaltar que el tratamiento de datos de este modelo se realizó por medio de un polinomio de segundo grado, mientras que los otros tres modelos se realizaron por medio de regresión lineal; matemáticamente el modelo de GAB debía presentar un mejor ajuste, además de ser el modelo que más variables involucra en el cálculo. El modelo de BET figura 1 a pesar de tener el coeficiente de correlación más bajo, comparándose con el modelo de GAB, que fue el de mejor ajuste, presenta una tendencia similar a este modelo durante todo el proceso siendo su  $W_e$  similar en cada  $A_w$ . En el modelo de BET y en el modelo de GAB la constante C no supera el valor de 2, por tanto se puede deducir que las isotermas son de tipo III, en concordancia con Martínez N., *et al* (8): Para valores de  $C < 2$  la isoterma será del tipo III, ya que las coordenadas del punto de inflexión aparecen negativas o imaginarias, es decir sin sentido. Además dicen que: la isoterma será de tipo III cuando la relación de C con el calor de sorción sea pequeño, es decir es muy próximo a . Las isotermas de tipo III corresponden a una desorción física en multicapas donde la constante de equilibrio

de la primera capa es igual que para las siguientes (no se observa diferencia entre el deshidratado de la primera capa y del resto).

En la figura 5 podemos observar como el grado de tostación del café depende del tiempo de residencia del café en el tostador, por tanto a mayor tiempo tenemos un valor menor en luminosidad, lo que corresponde a un grado de tostación mayor; según NTC3534 (7) el café comercial presenta cuatro grados de tostación, dependiendo del rango en el que se situó la luminosidad reportada. En la figura 5 podemos observar además, como el café pasa por todos los grados de tostación, empezando por un nivel fuera de los rangos reportados en la tabla 2, que es cuando el café puede considerarse con menos humedad a la inicial, pero todavía crudo y no es posible su comercialización para consumo directo.

A medida que pasa el tiempo el grano se torna en un color canela; como afirma Giner, 2015 (9) cuando el café está alrededor de los 170° adquiere este color y es en este momento que se produce la primera crepitación o crujido, que es más o menos intensa en función del tipo y frescor del café. También los azúcares empiezan a caramelizarse adquiriendo un color más oscuro a medida que pasa el tiempo, esto se evidencia en la figura 5. El color a su vez, tiene relación con características sensoriales

como el aroma y el sabor, el grados de tueste óptimo es el tueste medio, ya que es en este que los aromas y sabores son más intensos.

## CONCLUSIONES

En orden de mayor índice de correlación los modelos de GAB, Henderson y Caurrie y representan con aceptación el comportamiento del fenómeno dado el valor mayor que 0.95, el modelo BET reporta un índice menor a 0.95.

El comportamiento de las isoterms corresponde a tipo III las cuales hacen referencia a sólidos no porosos, los cuales son considerados como sólidos multicapa.

El modelo de GAB por ser un polinomio de segundo grado presenta mejor ajuste a los datos y por tanto es el mejor tratamiento matemático para analizar las curvas de tuestión del café. Además es un modelo que tiene en cuenta el tipo y estructura del alimento que se está procesando.

El color posee una relación directa con el porcentaje de merma, la humedad o actividad de agua y las propiedades sensoriales como: el aroma y el sabor.

Aunque el color puede evolucionar rápidamente, la evolución de las características sensoriales deseables no se da hasta aproximadamente después de los 600 segundos.

No se observó una relación entre el comportamiento de las isoterms y la humedad inicial de 12 % dado que fue la misma para todas las muestras.

Con este trabajo se Permite además determinar tiempos, temperaturas y presiones de trabajo durante el secado o tuestión del café, con el fin de disminuir el consumo de energía y por tanto los costos de procesamiento y transformación.

Todos los alimentos adsorben y desorben de formas diferentes, debido a que la eliminación del agua del alimento, depende de la estructura y composición de este, siendo estas quienes definen si existe mayor o menor resistencia a la transferencia de masa difusiva.

## REFERENCIAS

1. Grau, Navarrete, Boix, Maupoey. Termodinámica y cinética de sistemas alimento entorno. Valencia, España: (s.n). 1998.
2. Norma Técnica Colombiana NTC 5248: 2013. Café verde. Análisis del tamaño. Tamizado manual y mecánico.
3. FNCC, 2002., Resolución No 5. Por medio de la cual se modifica la Resolución No. 02 de 2002 del Comité Nacional de Cafeteros, Junio 6
4. Norma Técnica Colombiana. NTC 5086. 2002. Requisitos técnicos y ensayos. Tamices de ensayo de tejido de alambre.
5. Norma Técnica Colombiana. NTC 2442. 2004. -02-25 Café Tostado en grano y/o molido. Determinación del grado de tuestión.
6. Norma Técnica Colombiana NTC 2325: 2005. Café verde. Determinación de la pérdida de masa a 105°C. INCONTEC 8. Andres A. M., Martinez N., Chiralt A., Fito P.
7. Norma Técnica Colombiana NTC 3534. (s.f.). Café tostado, en grano o molido.
8. Norma Técnica Colombiana NTC 2441: 2011. Café tostado y molido. Método para la determinación de tamaño de partícula por distribución granulométrica. INCONTEC.
9. Giner J. (s.f.). (Revisada 16/06/15).Tueste del café. [http://www.forumdelcafe.com/pdf/F-37\\_Tueste\\_de\\_cafe.pdf](http://www.forumdelcafe.com/pdf/F-37_Tueste_de_cafe.pdf).

# ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE MASA DURANTE EL PROCESO DE TOSTION DEL CAFÉ VERDE VARIEDAD CASTILLO

## STUDY OF THE MASS TRANSFER DURING COFFEE ROASTING PROCESS VARIETY UGQ

Adriana Paola TABARES ARENAS<sup>1\*</sup>, Félix Octavio DIAZ<sup>2</sup>, Luis Fernando MEJÍA<sup>3</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes:** En este trabajo se analizó la transferencia de masa durante el proceso de tostión del café verde. Este proceso se da desde el movimiento de agua desde el grano hasta el aire de secado en el tostador. Las condiciones del proceso determinan las mermas y calidad de producto. El color depende de la forma, intensidad y tiempo durante el cual se aplica calor al café verde. Durante la tostión el grano sufre reacciones de pirolisis que permiten que se desarrolle el aroma y sabor propio del producto. **Objetivos:** Analizar el proceso de tostión y determinar el coeficiente de difusión y flux de transferencia de masa en café verde variedad Castillo procedente del municipio de Palestina (Caldas). **Metodología:** El trabajo se realizó en el laboratorio de café, de la Universidad de Caldas. Se recibieron 3000 gramos de café pergamino provenientes de la finca Samaria del municipio de Chinchiná (Caldas). El café se trillo y posteriormente se separó el café excelso. Se le determinó la humedad según NTC-2325. Se tostó en un tostador de laboratorio marca Quantik (150 g de capacidad) según la NTC-2442 durante 12 minutos a 180°C. Luego se molió a molienda media según NTC 3534. El coeficiente de difusión efectivo se calculó según la trayectoria libre de la molécula. Los datos se trataron con Durbin-Watson al 95% con el paquete estadístico Statgraphis Centurión versión XV. **Resultados:** En la primera etapa de difusividad la humedad alcanzó un valor de 8,54 %, la difusividad un valor medio  $2,34 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  y el Flux de  $0,05 \text{ mol/m}^2 \cdot \text{s}$ . En la segunda

etapa la difusividad media fue  $1,22 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  con humedad 6,32%, el Flux alcanzó un valor de  $0,015 \text{ mol/m}^2 \cdot \text{s}$ . En la tercera etapa la difusividad media fue de  $9,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . Encontrándose un comportamiento hidrodinámico del flux. **Conclusiones:** Se observa la incidencia del parámetro de difusividad en el flux de transferencia de masa, así como en las pérdidas a través del tiempo de proceso de tostión, en función del gradiente de humedad, así como la evolución de la temperatura en el tiempo.

**Palabras clave:** Difusividad, excelso, flux, volátil.

### ABSTRACT:

**Background:** In this paper the mass transfer was analyzed during roasting of green coffee. This process occurs from the movement of water from the bean to the drying air in the toaster. The process conditions determine the losses and product quality. The color depends on the shape, intensity and time during which heat is applied to the green coffee. During roasting the grain undergoes pyrolysis reactions that allow the aroma and flavor of the product develops. **Objectives:** To investigate the roasting process and determine the diffusion coefficient and mass transfer flux green coffee variety Castillo from the municipality of Palestina (Caldas). **Methods:** The study was conducted in the laboratory of coffee, the University of Caldas. 3000 grams of parchment from the Samaria farm in the municipality of Chinchiná (Caldas) were

<sup>1</sup> Ingeniera de Alimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

<sup>2</sup> Magíster. Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

<sup>3</sup> Magíster. Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

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

received. The coffee threshing and then the sublime coffee spread. Moisture was determined according to NTC-2325. It was roasted in a laboratory toaster Quantik mark (150 g capacity) as NTC-2442 for 12 minutes at 180 °C. Then it ground to medium grind according NTC 3534. The effective diffusion coefficient was calculated according to the free path of the molecule. The data were treated with Durbin-Watson 95% with the statistical package version Statgraphis Centurion XV. **Results:** In the first stage of moisture diffusivity reached a value of 8.54%, a mean diffusivity  $2,34 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  and Flux  $0,05 \text{ mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ . In the second stage the mean diffusivity was  $11,22 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  with 6.32% humidity, the flux reached a value of  $0,015 \text{ mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ . In the third step the mean diffusivity was  $9,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . Finding a hydrodynamic behavior of flux. **Conclusions:** incidence diffusivity parameter in the mass transfer flux is observed as well as losses over time of roasting.

**Keywords:** Diffusivity, exalted, flow, volatile.

## INTRODUCCIÓN

Durante el proceso de tuestión de café, los granos ceden la mayor parte de la humedad al aire caliente que es forzado a pasar entre ellos. En la tuestión, clásicamente se distinguen dos periodos: el inicial, donde la resistencia a la pérdida de humedad se da en la superficie, y el final, cuando la resistencia se ofrece dentro del grano, esto se logra cuando la humedad interna del grano alcanza la superficie, llamado a éste fenómeno difusión; la segunda fase, es la más prolongada y determinante del coeficiente de difusión y de la resistencia en la transferencia de masa. (8)

En éste estudio se evaluó el proceso de transferencia de masa y el coeficiente de difusión de Knudsen y el flux de agua desde los granos de café variedad castillo calidad excelso (UGQ) durante el proceso de tuestión con el fin de determinar la curva en función de la transferencia de masa en dicho proceso. Identificando la cinética de pérdida de agua y otras sustancias, en los diferentes momentos térmicos en un proceso de tuestión media a 180°C, teniendo en cuenta que en estas condiciones se alcanzan los mejores atributos sensoriales de mayor relevancia en taza que son el aroma y el sabor, como resultado de la pirolisis durante el proceso.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el laboratorio de café de Unidad tecnológica de alimentos adscrita a la facultad de ingeniería de la Universidad de Caldas. Se recibieron 3000 gramos de café pergamino provenientes de la finca Samaria del municipio de Chinchiná (Caldas). Se trillaron en una trilladora de laboratorio (marca quantik), de los cuales 2500 g de café verde sin defectos se caracterizaron según el procedimiento descrito en la Norma Técnica Colombiana NTC 5248(1). Se utilizó en el ensayo el café retenido por encima de la malla número 14 (Excelso UGQ), según indica la resolución número 5 del 2002 realizado por la Federación Nacional de cafeteros de Colombia para café excelso (2). La humedad de los granos verdes (Excelso) se determinó según protocolo de la Norma Técnica Colombiana NTC-2325 (3) en una estufa marca Dies modelo TH115FM, el proceso de tuestión se realizó en un tostador eléctrico de tambor rotatorio (TC 150 AG, Marca Quantik), 100 W de potencia a 180 grados centígrados de temperatura según NTC-2442 (4) por un tiempo de 12 minutos. Cada 30 segundos se registraron los datos. Las mermas obtenidas se calcularon en una balanza analítica marca kern modelo PCB2500-2 con capacidad  $2500 \text{ g} \pm 0,0001$ ; el café tostado se molió en un molino Grind Master modelo 810 a molienda media (500 -500 micras) según NTC 3534 (5). Se verifico el tamaño de partícula por medio de la serie tayler según la norma técnica colombiana NTC 2441 (6). A los datos obtenidos de los valores medios se les aplicó la prueba estadística de Durbin-Watson al 95% con el paquete estadístico Statgraphis Centurión versión XV. Se utilizó para determinar la difusividad la ecuación 1 y para el flux las ecuaciones 2 y 3 (7).

$$D_{K:A} = \frac{d}{3} * \left( \frac{8gcRT}{M_A} \right)^{1/2} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$NA = \frac{NA}{NA + NB} \frac{D_{AB,ef}}{RTZ} \ln \frac{\frac{NA}{NA + NB} \left( 1 + \frac{D_{AB,ef}}{D_{K,B,ef}} \right) - y_{A2}}{\frac{NA}{NA + NB} \left( 1 + \frac{D_{AB,ef}}{D_{K,B,ef}} \right) - y_{A1}} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$NA = \frac{k * pt(pt1 - pt2)}{RTZ} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:  $D_{K,A}$ : Difusión de Knudsen; d: Diámetro de poro; gc: Factor de conversión; R: Constante universal de los gases; T: Temperatura absoluta;  $M_A$ : Peso molecular, k: una constante;  $N_A$ : Flux de agua;  $N_B$ : Flux de aire;  $D_{AB,ef}$ : Difusividad Agua- Aire; pt: Presión total; Z: Espesor del grano de café;  $Y_A$ : fracción mol;  $DK,A ef$ : Difusión de Knudsen,

### RESULTADOS

En las figuras 1 y 2 se muestran los datos difusividad de Knudsen y el Flux de agua durante el proceso de tosti3n. La figura 3 muestra el contenido de humedad del grano durante el proceso de tosti3n. En esta etapa la humedad alcanz3 un valor de 8,54 %, la difusividad un valor medio  $2,34 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  y el Flux de  $0,05 \text{ mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ . En la segunda etapa la difusividad media fue  $1,22 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  con humedad 6,32%, el Flux alcanz3 un valor de  $0,015 \text{ mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ . En la tercera etapa la difusividad media fue de  $9,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . Las l3neas de tendencia representan los datos con 98% de confiabilidad para el coeficiente de difusi3n y 95 % para el flux de transferencia.

Se observ3 una disminuci3n de temperatura hasta  $154^\circ\text{C}$  y ascenso desde los primeros 3 minutos del experimento en concordancia con Arcila (9). A los valores obtenidos se ajustan l3neas de tendencia media m3vil y para la humedad lineal con  $R^2$  de 0,98. La figura 3 corresponde a una regresi3n lineal entre el tiempo y la relaci3n adimensional del contenido de agua, con un  $R^2$  de 0,98; el modelo ajustado es  $y = 5E-05x + 0,0758$ .

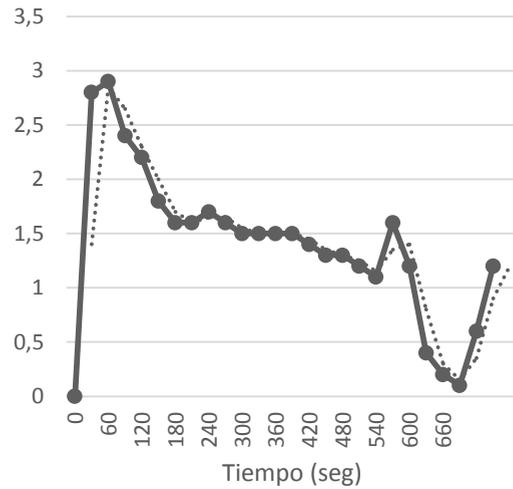


Figura 1. Tiempo vs  $D_{k,A} \cdot 10^5 \text{ (m}^2/\text{seg)}$

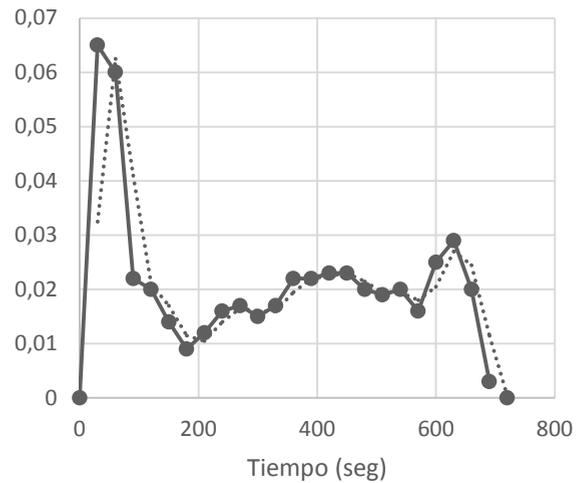


Figura 2. Tiempo vs Flux (Mol/m<sup>2</sup>seg)

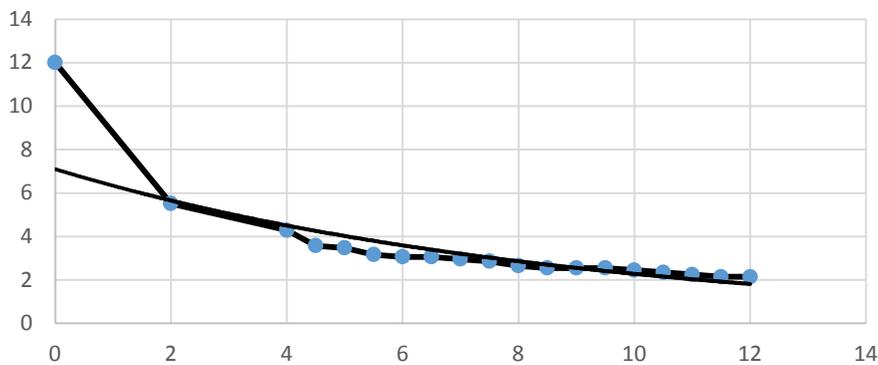


Figura 3. Tiempo vs contenido de humedad

## DISCUSIÓN

Las tres etapas térmicas que se visualizan para el flux concuerdan con lo observado por Jerez (8). La primera con más alto contenido de humedad por lo que el gradiente de concentración es mayor, en ese intervalo se volatilizaran los compuestos de menor peso molecular. En la segunda etapa las moléculas presentaron mayor choque con los poros del grano de café por vaporización del agua ocluida en los mismos. En la tercera etapa por la pérdida de sustancias de mayor peso molecular y el gradiente de humedades es cercano a cero, eso indica que el grano llegó al final de la pirolisis y se inicia un proceso de quemado dentro del tostador con la correspondiente pérdida de acidez y aumento del amargor y sabor a quemado acorde. Las líneas de tendencia halladas representan con confiabilidad los datos encontrados, las ecuaciones pueden reproducir los valores experimentales con error inferior al 2%.

Las correlaciones reportadas reproducen fielmente los datos experimentales y por ende el comportamiento real del café, constituyen una herramienta para predecir el porcentaje de mermas durante el proceso de tostión.

## CONCLUSIONES

Se observó la incidencia del parámetro de difusividad en el flux de transferencia de masa, así como en las pérdidas a través del tiempo de proceso de tostión, en función del gradiente de humedad, así como la evolución de la temperatura en el tiempo.

El comportamiento de las variables estudiadas investigadas se relaciona con la humedad del grano en las diferentes etapas del proceso de tostión y se observan valores decrecientes en concordancia con la teoría de la difusión de gas poroso.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Norma Técnica Colombiana NTC 5248: 2013. Café verde. Análisis del tamaño. Tamizado manual y mecánico.
2. FNCC, 2002., Resolución No 5. Por medio de la cual se modifica la Resolución No. 02 de 2002 del Comité Nacional de Cafeteros, Junio 6
3. Norma Técnica Colombiana NTC 2325: 2005. Café verde. Determinación de la pérdida de masa a 105°C. INCONTEC 8. Andres A. M., Martinez N., Chiralt A., Fito P.
4. Norma Técnica Colombiana. NTC 2442. 2004. -02-25 Café Tostado en grano y/o molido. Determinación del grado de tostión Norma Técnica Colombiana NTC 3534. (s.f).Café tostado, en grano o molido.
5. Norma Técnica Colombiana NTC 3534. (s.f). Café tostado, en grano o molido
6. Norma Técnica Colombiana NTC 2441. (1996)Café tostado y molido. Método para la determinación del tamaño de partícula. Bogotá, 7 p.
7. Treyball R., 1998. Operaciones de transferencia de masa, segunda edición, Naucalpan de Juárez, edo. De México. Mc GRAW-HILL.pp.37-38, 110-114.
8. Jerez, A., Yépez, Villarreal, B., 2012. Efecto de las condiciones de operación y de la altura del cultivo sobre el comportamiento de la temperatura del aire en la etapa de secado del proceso de torrefacción de café colombiano (*Coffea arabica* l. Var. Castillo). Tesis Programa de Ingeniería de Alimentos, Departamento de Ingeniería. Universidad de Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 16p.
9. Arcila Castillo, Jennifer Alejandra y Yépez Villarreal, Byron Daniel. 2012. Modelo matemático para el comportamiento térmico del aire durante el proceso de torrefacción de granos de café verde Colombiano (*Coffea arabica* l. var. Castillo), tesis de pregrado meritoria en Programa de Ingeniería de Alimentos, Semillero de Investigación en Tecnologías Alternativas de Procesamiento Agroindustrial. Universidad de Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 18p.

# EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA DE HIDROSECADO EN CÁSCARAS DE NARANJA (*Citrus Sinensis*)

## EVALUATION OF THE DRYING HYDRO TECHNIQUE ON ORANGE PEELS (*Citrus Sinensis*)

CASSO-HARTMANN, L.M.<sup>1\*</sup>, POLANÍA-RIVERA, A.M.Ing.<sup>1</sup>, AYALA-APONTE, A.A.Ph.D.<sup>2</sup>.

### RESUMEN

**Antecedentes:** Actualmente la industria productora de jugo de naranja en Colombia genera aproximadamente 18,000 toneladas de residuos al año, ocasionando grandes problemas ambientales. Sin embargo debido a su alto contenido de fibra y su interesante capacidad de mantener la humedad de los alimentos a los cuales se incorpora, se pretende aprovechar esta materia prima mediante la técnica de hidrosecado. El hidrosecado es una técnica novedosa que utiliza la energía infrarroja del agua para secar frutas y vegetales sensibles al calor de forma eficaz y con alta preservación de la calidad en el producto. **Objetivos:** El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de la temperatura de proceso sobre las cinéticas de secado en rodajas de cáscaras de naranja (*Citrus Sinensis*). **Métodos:** Se secaron rodajas a 70, 80 y 90 °C con 4±0,5 mm de espesor. Se aplicaron cuatro modelos matemáticos Newton, Page y Wang y Singh para representar la cinética experimental. Adicionalmente, se determinaron los coeficientes de difusión efectivo del agua ( $D_e$ ) y la energía de activación ( $E_a$ ). **Resultados:** A mayor temperatura de proceso las cinéticas de secado fueron más rápidas alcanzado al final del secado un contenido de humedad (CH) entre 5 y 7% b.h. El modelo de Page presentó el mejor ajuste cinético en las tres temperaturas. Los valores de ( $D_e$ ) se incrementaron significativamente con el aumento de temperatura y fueron del orden de 10<sup>-9</sup> m<sup>2</sup>/s. El valor de energía de activación fue de 32,1 KJ/mol. **Conclusiones:** La aplicación del método de hidrosecado es una metodología de alto potencial

para el secado de cascara de naranja por obtener significativamente tiempos cortos de secado. Se evidenció que a mayor temperatura menor es el tiempo de secado para alcanzar un mismo nivel de humedad, por consiguiente el tratamiento a 90 °C mostró las mayores cinéticas de secado. El modelo de Page fue el de mejor ajuste de las curvas de secado experimentales para las tres condiciones estudiadas.

**Palabras clave:** Cáscaras, naranja, cinética, secado, modelos matemáticos.

### ABSTRACT

**Background:** Actually the production of orange juice industry in Colombia generates approximately 18,000 tons of waste per year, causing major environmental problems. However due to its high fiber and its interesting ability to maintain moisture in the food to which it is incorporated, it is to take advantage of this raw material by the technique of drying hydro. The drying hydro is a novel technique that uses the infrared energy of water in order to dry heat-sensitive fruits and vegetables in an effective way and with high quality preservation in the product. **Objectives:** The aim of this study was to evaluate the effect of process temperature on the kinetics of moisture of orange peels slices (*Citrus Sinensis*). **Methods:** We performed drying at 70, 80 and 90 °C with 4±0.5 mm of thickness; four mathematical models Newton, Page and Wang y Singh were applied to represent the experimental kinetic. Additionally, the effective diffusion coefficient of water ( $D_e$ ) was determined

<sup>1</sup> Estudiante Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Alimentos. Universidad del Valle, Cali, Colombia.

<sup>2</sup> Profesor asociado. Ph.D. en Ciencia y tecnología de los alimentos. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Alimentos. Universidad del Valle, Cali, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: lisseth.casso@correounivalle.edu.co

and the activation energy  $E_a$ . **Results:** The higher temperature drying process kinetics were faster at the end of drying reached a moisture content (MC) between 5 and 7 % (wb). Page model provided the best kinetic adjustment at the three temperatures. Values ( $E_d$ ) increased significantly with increasing temperature and were of the order of  $10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ . **Conclusions:** Application of the method of drying hydro is a high potential methodology for drying orange peel obtains significantly shorter drying times. It was evident that the higher temperature is less drying time to achieve the same moisture level, therefore the treatment at  $90^\circ\text{C}$  showed the greatest drying kinetics. Page model was the best fit of the experimental drying curves for the three conditions studied.

**Keywords:** Peels, orange, kinetics, drying, mathematical models.

## INTRODUCCIÓN

La naranja Valencia se caracteriza por ser dulce tardía, su consumo es en fresco y se utiliza en la industria agrícola en los principales países citrícolas en el mundo (1). La industria de jugo de naranja genera gran cantidad de cáscaras durante el proceso, lo que constituye un grave problema ambiental (2). Estas se utilizan principalmente para la alimentación animal, aunque, debido a su alto contenido en fibra, podrían representar una interesante fuente de fibra dietética (DF) (3). Como alternativa de agroindustrialización la cáscara de naranja puede transformarse en naranja en polvo u hojuelas como ingrediente a otros alimentos, para ello se requiere del proceso de secado. En la industria existen diferentes métodos de secado como liofilización, aspersión, lecho fluidizado, tambor, microondas, de bandejas o secado convectivo con aire caliente (SC), entre otros; no obstante, estos métodos son de tiempos de proceso largos que ocasionan daños significativos en la calidad final del alimento deshidratado (4). Como alternativa de tiempos cortos de secado con características de calidad en alimentos deshidratados, está la técnica del hidrosecado. Este método es una técnica novedosa para secar eficientemente alimentos sensibles al calor utilizando la energía infrarroja del agua, para ello utiliza agua entre  $95 - 97^\circ\text{C}$  como medio para transferir la energía infrarroja a través de una membrana de poliéster (tipo Mylar<sup>TM</sup>) al alimento que se ha extendido en ella (5). El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de la temperatura de

proceso sobre las cinéticas de secado en rodajas de cáscaras de naranja (*Citrus Sinensis*). Asimismo, su influencia en el  $D_e$  y encontrar el mejor modelo cinético de ajuste en las tres temperaturas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron naranjas (*Citrus sinensis*) variedad "Valencia", de acuerdo a su color externo anaranjado con algunos visos verde claro como lo describe la NTC 4086 (6). Se cortaron con dimensiones de  $4 \pm 0.5 \text{ mm}$  de espesor y  $16 \text{ mm}$  de diámetro. El secado se realizó en un equipo de hidrosecado con agua como medio calefactor a  $70, 80$  y  $90^\circ\text{C}$ , en cuya superficie se ubicó una membrana de poliéster (Mylar<sup>®</sup>). El porcentaje de humedad final de las muestras se determinó con el método AOAC (1980) (7). Los experimentos se realizaron por triplicado siguiendo un diseño factorial aleatorizado. Los resultados de CH se interpretaron a partir de la razón de humedad (MR), determinada por la Ecuación 1.

$$MR = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad \text{Ecuación 1}$$

MR se simplificó a la (Ecuación 2), ya que el equipo empleado no controla la humedad relativa del aire que está en contacto con el material (8).

$$MR = \frac{X_t}{X_0} \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde  $X_t$  y  $X_0$  son el CH en un tiempo  $t$  y en un tiempo inicial respectivamente. La  $D_e$  se calculó usando el primer término de la solución analítica de la segunda ley de Fick (Ecuación 3) (8), para una geometría de lámina semi-infinita de espesor  $l$  y considerando la difusión en dirección axial.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[ -(2n+1)^2 \frac{\pi^2 D_{eff} t}{l^2} \right] \quad \text{Ecuación 3}$$

Para el cálculo de la energía de activación, se aplicó la ecuación de Arrhenius para establecer el efecto de la temperatura en el proceso de secado a partir de los coeficientes difusivos de humedad ( $D_e$ ) (8).

$$D_e = D_0 \exp \left( \frac{-E_a}{R(T+273.15)} \right) \quad \text{Ecuación 4}$$

Se utilizaron 3 modelos matemáticos para ajustar los valores experimentales del secado. La tabla 1 muestra las expresiones de los modelos seleccionados (9).

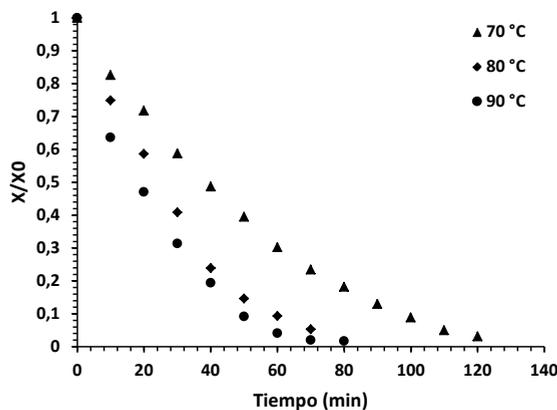
**Tabla 1.** Modelos cinéticos para la deshidratación por hidrosecado de muestras de cáscara de naranja

Nombre	Modelo	
Newton	$MR = \exp(-kt)$	Ecuación 5
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Ecuación 6
Wang y Singh	$MR = 0,6325 + At + Bt^2$	Ecuación 7

Los parámetros constantes A, B, C, k y n asociados a los modelos, se estimaron mediante una regresión no lineal entre t y MR con el software Matlab R2009a. Para evaluar el mejor ajuste de los modelos matemáticos a los valores experimentales de secado, se empleó el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el error medio relativo ((%)E) y chi-cuadrado ( $\chi^2$ ).

### RESULTADOS

El CH inicial de las muestras fue  $1,45 \pm 0,74$  g agua/g ms. En la figura 1 se observan las cinéticas de humedad normalizadas de las cáscaras de naranja obtenidas a 70, 80 y 90 °C, mostrando una disminución del agua libre conforme se incrementa el tiempo. También se observa las mayores cinéticas con el incremento de la temperatura.



**Figura 1.** Cinéticas de secado de cáscaras de naranja

En la figura 1 no se muestran las desviaciones estándar debido a que interfiere en la lectura de los datos. Sin embargo estuvieron entre 0,23 - 0,0321, 1,46 - 0,0769, 1,60 - 0,0264 para 70, 80 y 90 °C respectivamente.

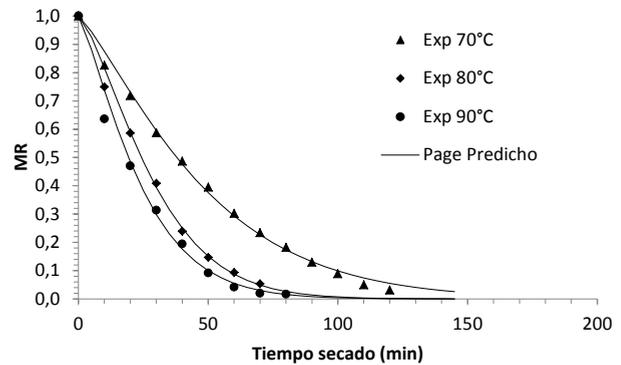
En la tabla 2, se presentan los parámetros y criterios estimados para el modelamiento del secado de

rodajas de cáscaras de naranja a 70, 80 y 90 °C mediante los modelos de Newton, Page y Wang y Singh.

**Tabla 2.** Parámetros cinéticos y estadísticos de los modelos empleados

Modelo	Constantes	70 ° C	80 ° C	90 ° C
Newton	$k \times 10^2$	2,02	3,33	4,22
	$R^2$	0,98	0,98	0,99
	RMSE	0,04	0,05	0,03
	$\chi^2 10^4$	1,77	0,26	4,1
Page	$k 10^3$	7,60	8,30	16,6
	n	1,24	1,39	1,26
	$R^2$	1,00	1,00	1,00
	RMSE	0,02	0,02	0,02
	$\chi^2 10^4$	7,00	6,00	17,0
Wang y Singh	$A 10^3$	-3,90	-5,90	-12,5
	$B 10^5$	-1,40	-4,80	-5,30
	$R^2$	0,87	0,77	0,91
	RMSE	0,12	0,18	0,11
	$\chi^2 10^2$	8,40	4,00	3,00

El ajuste de Page a los datos experimentales se observa gráficamente en la figura 2.



**Figura 2.** Curvas de humedad y ajuste por modelo de Page en el secado de cascara de naranja a 70, 80 y 90 °C

En la tabla 3 se observan los valores obtenidos de coeficientes de difusión a las diferentes temperaturas de trabajo.

**Tabla 3.** Coeficientes de difusión para secado de cáscaras de naranja

T (°C)	De $10^9$ (m <sup>2</sup> /s)
70	2,98
80	4,60
90	5,53

Para la energía de activación se utilizaron los datos de la tabla 1 y se empleó la ecuación 4, obteniendo un valor de 32,1 KJ/mol.

## DISCUSIÓN

En la figura 1, se observa el marcado efecto de la temperatura sobre el proceso, ya que al aumentar la temperatura disminuye el tiempo de secado para lograr un mismo nivel de CH. Similar comportamiento observaron otros investigadores en el secado convectivo de pulpa y cáscara de naranja (10). Para el secado a 90 °C se requiere 60 min para alcanzar un CH de 0,065 g agua/g m.s., mientras que a 80 y 70 °C se requieren 70 y 120 min respectivamente. Puede notarse que las curvas de 80 y 90 °C se encuentran cercanas o ligeramente solapadas, este comportamiento puede indicar que a temperaturas de secado altas disminuye la velocidad de secado. Este fenómeno se conoce como endurecimiento de la superficie del fruto, el cual impide la liberación de agua, ralentizando la velocidad de secado; en consecuencia, si el secado se lleva a una temperatura más alta no se promueve un incremento en la velocidad de secado considerable (10). Otros autores han observado este fenómeno de endurecimiento durante la deshidratación por secado convectivo de diferentes alimentos (11).

En la tabla 1 se observa que el parámetro  $k$  se incrementó a medida que aumentó la temperatura del agua. Es frecuente que  $k$  sea dependiente de la temperatura, de modo que normalmente un incremento en este parámetro está relacionado con un aumento en la temperatura del producto durante el proceso (12).

En la figura 2 se observa el buen ajuste que representó el modelo de Page a los datos experimentales ya que presentó los valores más altos de coeficiente de correlación y los valores más bajos de RMSE. Otros investigadores también han encontrado el buen ajuste de este modelo en el secado de papaya chilena con aire caliente (13).

De acuerdo a los valores reportados en la tabla 2, los  $D_c$  variaron entre 2,98 y  $5,5310^{-9}$  ( $m^2/s$ ), estos valores están dentro del intervalo reportado en la literatura para materiales alimenticios. Puede observarse un aumento en el coeficiente de difusión  $D_c$  con el aumento de la temperatura. Este coeficiente muestra una relación de dependencia con la temperatura, ya que a medida que esta aumenta hay una mayor movilidad de las moléculas de agua con lo cual la difusividad efectiva aumenta y disminuye la resistencia interna a la transferencia de materia. Además, este  $D_c$  también muestra una dependencia con el contenido de humedad debido a la microestructura del alimento durante la deshidratación (14). El valor obtenido para la energía de activación es 32,1 KJ/mol, presenta una magnitud que se en-

cuentra dentro del intervalo de valores encontrados en la literatura para materiales alimenticios (12,7 a 110 KJ/mol) (15).

## CONCLUSIONES

La aplicación del método de hidrosecado en cáscaras de naranja es una excelente alternativa de deshidratación por obtener significativamente tiempos cortos de secado. Estos tiempos son más cortos a mayor temperatura de proceso. El tratamiento a 90 °C mostró las mayores cinéticas de secado. El modelo de Page es adecuado para predecir las cinéticas de secado en cáscaras de naranja.

## REFERENCIAS

- González Peláez C A. Identificación de Materiales de Naranja para la Agroindustria de Jugos y Concentrados de Exportación, Adaptados a las Condiciones Agroecológicas de la Zona Cafetera Central. [Trabajo de pregrado]. [Risaralda, Colombia]: Universidad Nacional Abierta y a Distancia; 2014. 79 p.
- Ortuño C, Pérez I, Puig A, Riera E. Influence of power ultrasound application on mass transport and microstructure of orange peel during hot air drying. *Phys Procedia*. 2010; 3(1): 153-159.
- Lario Y, Sendra E, Garcia J. Preparation of high dietary fiber powder from lemon juice by products. *Innov. Food Sci. Emerg*. 2004; 5(1): 113-117.
- Nindo C, Tang J, Powers J. Energy consumption during refractance window evaporation of selected berry juices. *Int Journal of Energ Res*. 2004; 28(12): 1089-1100.
- Caparino OA, Tang J, Nindo CI, Sablani SS, Powers JR, Fellman JK. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. *J Food Eng*. 2012; 111: 135-148.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Frutas frescas. Naranja Valencia. Especificaciones. [Internet]. Bogotá, Colombia: ICONTEC. 1997. [Citado 23 de enero de 2016]. Disponible en: [http://e-normas.icontec.org/icontec\\_enormas\\_mobile/visor/HTML5.asp](http://e-normas.icontec.org/icontec_enormas_mobile/visor/HTML5.asp)
- AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International. Moisture determination. Method 20.013. 15th ed. Washington DC. 1980; 361-362.
- Crank J. The mathematics of diffusion. [Internet]. Oxford, Reino Unido: J. W. Arrowsmith Ltd. 1975. [Citado 23 de enero de 2016]. Disponible en: [http://www-eng.lbl.gov/~shuman/NEXT/MATERIALS&COMPONENTS/Xe\\_damage/Crank-The-Mathematics-of-Diffusion.pdf](http://www-eng.lbl.gov/~shuman/NEXT/MATERIALS&COMPONENTS/Xe_damage/Crank-The-Mathematics-of-Diffusion.pdf)
- Kaushal P, Sharma H. Osmo-convective dehydration kinetics of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*). *J Saudi Soc Agric Sci*. 2014; 1-9.
- Garau CM, Simal S, Roselló C, Fermentia A. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. *Canoneta*) by-products. *Food Chem*. 2007; 104(3): 1014-1024.
- Demirel D, Turhan M. Air-drying behavior of Dwarf Cavendish and Gros Michel banana slices. *J Food Eng*. 2003; 59 (1): 1-11.
- Vega-Gálvez A, Miranda M, Clavería R, Quispe I, Vergara J, Uribe E, et al. Effect of air temperature on drying kinetics and quality characteristics of osmo-treated jumbo squid (*Dosidicus gigas*). *J Food Sci Tech*. 2011; 44 (1): 16-23.
- Vega AA, Lemus RA. Modelado de la cinética de secado de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*). *Inf. tecnol*. 2006; 17 (3): 23-31
- Moron A, Goncalves A, Piasson D. Contração volumétrica e cinética de secagem de fatias de banana variedade Terra. *J Agro de UFG*. 2015; 45(2): 155-162.
- Doymaz I. Pretreatment effect on sun drying of mulberry Fruits (*Morusalba* L). *J food Eng*. 2004; 65(2): 205-209.

# CAMBIOS DE COLOR EN CASCARA DE NARANJA (*Citrus Sinensis*) USANDO LA TÉCNICA DE HIDROSECADO

## COLOR CHANGES IN ORANGE PEEL (*Citrus Sinensis*) USING THE DRYING HYDRO TECHNIQUE

POLANÍA-RIVERA, A.M.<sup>1\*</sup>, CASSO-HARTMANN, L.M.<sup>1</sup>, AYALA-ApOnte, A.A.<sup>2</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes:** El secado es la eliminación de agua que contienen los alimentos, se usa como técnica de conservación ya que a contenidos de humedad bajos no se presenta crecimiento de microorganismos y reacciones enzimáticas. En la actualidad, la elaboración de jugos representa casi la mitad del consumo total de naranja. Estas cortezas poseen una interesante composición nutricional, por lo cual se han ido desarrollando diversos trabajos donde buscan darle un valor agregado a este subproducto y convertirla en una buena alternativa de consumo. Los estudios realizados hasta el momento han empleado diversos métodos de secado y altas temperaturas de proceso, con lo cual se afectan significativamente las propiedades organolépticas y nutricionales de este subproducto. **Objetivos:** El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la temperatura sobre características de color en cáscaras de naranja (*Citrus Sinensis*). **Métodos:** Se empleó la técnica de hidrosecado a 70, 80 y 90 °C con  $4 \pm 0.5$  mm de espesor. Los cambios de color se registraron con un espectro-colorímetro (HunterLab, ColorFlex, USA), obteniéndose los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . Se efectuaron medidas por triplicado para cada tiempo y temperatura, tomándose un promedio de los valores obtenidos. A partir de éstas coordenadas se estimó el ángulo de tono ( $H^\circ$ ) y las diferencias de color ( $\Delta E$ ). **Resultados:** Los resultados mostraron que los parámetros  $L^*$ ,  $b^*$  y  $\Delta E$  se incrementaron con el aumento de la temperatura, mientras que la tonalidad y el parámetro  $a^*$  no cambiaron significativamente. **Conclusiones:** El secado a 70 °C por la técnica de

hidrosecado en cascara de naranja variedad Valencia presentó menores cambios de color en términos de luminosidad, pureza ( $b^*$ ) y cambios totales de color respecto a 80 y 90 °C. La tonalidad no fue afectada por la temperatura de secado entre 70 y 90 °C.

**Palabras clave:** Secado, color, cáscaras, naranja.

### ABSTRACT

**Background:** Drying is the removal of water-containing foods, used as preservation technique as to moisture contents less not microorganism growth and enzymatic reactions occurs. In actuality, the production of juices represents almost half of the total consumption of orange. These peels have an interesting nutritional composition, which have developed various works where they seek to add value to this product and make it a good alternative of consumption. Studies to date have employed various methods of drying and high process temperatures, thereby significantly affecting the organoleptic and nutritional properties of this product. **Objectives:** The aim of this study was to evaluate the effect of temperature on the color characteristics in orange peel (*Citrus sinensis*). **Methods:** Was employed the technique drying hydro at 70, 80 and 90 °C with  $4 \pm 0.5$  mm of thickness. Color changes were recorded with a spectroradiometer (HunterLab, Color Flex, USA) to obtain the Hunter Lab parameters ( $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$ ). Triplicate measurements for each time and temperature were made, taking an average of the values obtained. From these estimated coordinates difference color differences ( $\Delta E$ ). **Results:** The results showed that the parameters  $L^*$ ,  $b^*$  and  $\Delta E$

<sup>1</sup> Estudiante Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Alimentos. Universidad del Valle, Cali, Colombia.

<sup>2</sup> Profesor asociado. Ph.D. en Ciencia y tecnología de los alimentos. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Alimentos. Universidad del Valle, Cali, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: [anna.polania@correounivalle.edu.co](mailto:anna.polania@correounivalle.edu.co)

increased with increasing temperature, while the hue and the parameter  $b^*$  were not significantly changed by the effect of temperature. **Conclusions:** Drying at 70 °C for technique drying hydro variety Valencia orange peel presented minor changes color in terms of lightness, purity ( $b^*$ ) and total color changes about 80 and 90 °C. The tone was not affected by the drying temperature between 70 and 90 °C.

**Keywords:** Drying, color, peels, orange.

## INTRODUCCIÓN

Los residuos de procesamiento de las frutas como las cáscaras de naranja generan problemas de tipo ambiental por falta de alternativas de valor agregado. Los subproductos derivados de la naranja son potenciales para la extracción de compuestos que se puedan usar en la industria alimentaria, y resulta interesante promover su consumo de acuerdo a las tendencias actuales (1). El color es uno de los parámetros más importantes de calidad en frutas y vegetales deshidratados; por consiguiente, los cambios de color en un producto como los de la naranja podrían influir sobre la calidad de la cáscara y pulpa al deshidratarse, limitando posibles aplicaciones agroindustriales (2). Algunos autores afirman que el secado por aire caliente puede causar un desagradable sabor y color, además de reducir el contenido nutricional del producto (3) (4). El método de hidrosecado se convierte en una buena alternativa ya que presenta una mayor retención de color y aroma (5). Este método es una técnica novedosa para secar eficientemente alimentos sensibles al calor utilizando la energía infrarroja del agua, para ello utiliza agua entre 95 - 97 °C como medio para transferir la energía infrarroja a través de una membrana de poliéster (tipo Mylar<sup>TM</sup>) al alimento que se ha extendido en ella (6). El objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia del método de hidrosecado sobre las características de color en cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) variedad "Valencia", seleccionadas visualmente por su color externo anaranjado con algunos visos verde claro como lo describe la NTC 4086 (7) con dimensiones de  $4 \pm 0.5$  mm de espesor y 16 mm de diámetro. El secado se realizó en un equipo de hidrosecado con agua como medio calefactor a 70,

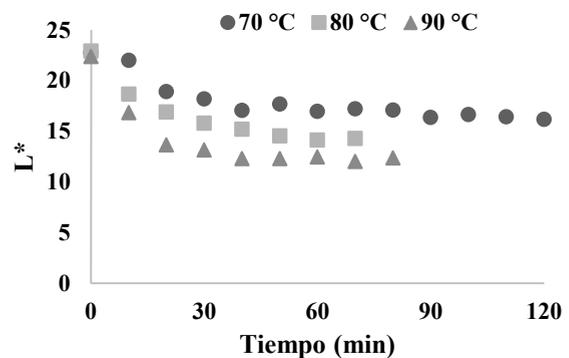
80 y 90 °C. Las muestras se colocaron en una membrana de poliéster, y a distintos tiempos de secado se determinaron las coordenadas de color. La medición de color se realizó empleando un espectro colorímetro (HunterLab, ColorFlex, USA), obteniéndose las coordenadas  $L^*a^*b^*$ . Las medidas se realizaron por triplicado para cada tiempo y temperatura de secado, tomándose un promedio de los valores obtenidos. A partir de éstas coordenadas se estimó ángulo de tono ( $H^\circ$ ), y las diferencias de color ( $\Delta E$ ) entre las muestras en el tiempo inicial y a diferentes tiempos ( $t$ ), (Ecuaciones 1 y 2).

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$H^\circ = \tan^{-1} \left( \frac{b}{a} \right) \quad \text{Ecuación 2}$$

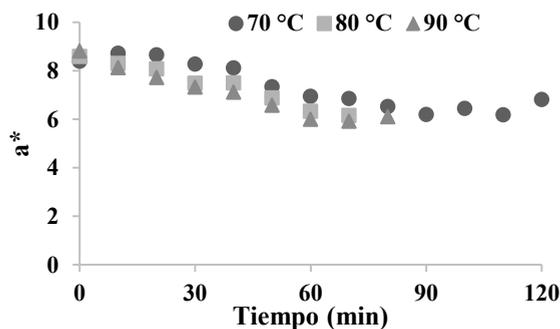
## RESULTADOS

Las cáscaras de naranja presentaron un contenido de humedad inicial de  $62.21 \pm 0.95$  % (b.h) y al final del secado alcanzaron  $10 \pm 0.5$  % b.h. En la figura 1, se observan los cambios de  $L^*$  durante el secado a distintas temperaturas. Todos los tratamientos mostraron una disminución significativa ( $p < 0.05$ ) de la luminosidad durante el tiempo de secado. Las muestras de naranja presentaron un valor de  $L^*$  inicial de  $22.4 \pm 0.5$ , y disminuyó significativamente ( $p < 0.05$ ) durante el secado y con el incremento de temperatura. Al final del secado se obtuvieron valores de  $L^*$  de  $16.19 \pm 0.4$ ,  $14.29 \pm 0.5$  y  $12.38 \pm 0.3$  para 70, 80 y 90 °C respectivamente. A 90°C se presentó la mayor pérdida claridad con el 44.37 % mientras que a 70 °C fue el de menor pérdida con 27.72%.

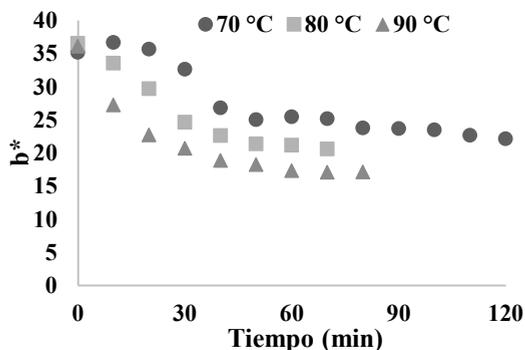


**Figura 1.** Luminosidad de muestras de cáscaras de naranja secadas por hidrosecado.

En las figura 2 y 3 se observa que los parámetros  $a^*$  y  $b^*$  disminuyen con el tiempo de secado. El parámetro  $a^*$  (atributo que varía con tonalidades entre rojo y verde) no mostró cambios significativos ( $p>0.05$ ) por el tiempo y temperatura de proceso. Decreció de  $8.59 \pm 0.93$  -  $6.8 \pm 1.08$  a  $70^\circ\text{C}$ ;  $8.6 \pm 0.29$  -  $6.15 \pm 0.66$  a  $80^\circ\text{C}$  y  $8.81 \pm 0.54$  -  $5.92 \pm 0.93$  a  $90^\circ\text{C}$  respectivamente. El parámetro  $b^*$  asociado a la tonalidad amarilla si mostró cambios significativos ( $p<0.05$ ) tanto por el tiempo como por la temperatura. Con el incremento del tiempo y de la temperatura disminuyó el valor de  $b^*$ . Decreció de  $35.18 \pm 2.1$  a  $22.14$  a  $70^\circ\text{C}$ ;  $36.53 \pm 0.99$  a  $20.60 \pm 1.24$  a  $80^\circ\text{C}$  y de  $36.11 \pm 2.27^a$   $17.08 \pm 1.15$  a  $90^\circ\text{C}$ .

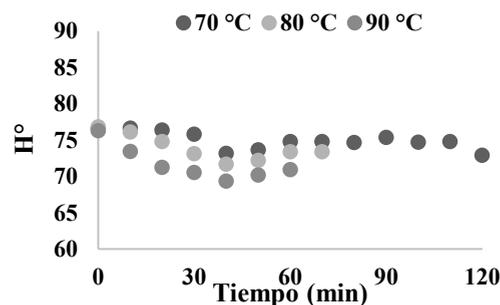


**Figura 2.** Variación del parámetro  $a^*$  de muestras de cáscaras de naranja secadas por hidrosecado



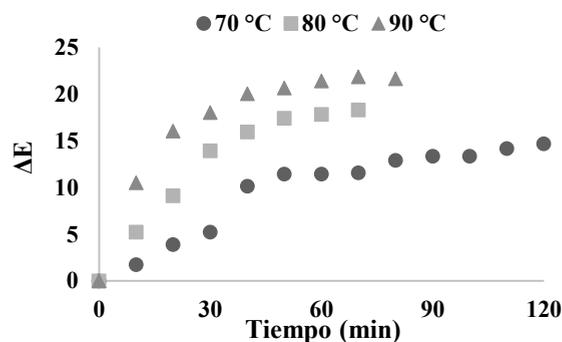
**Figura 3.** Variación del parámetro  $b^*$  de muestras de cáscaras de naranja secadas por hidrosecado

En la figura 4 puede apreciarse la evolución de la tonalidad o ángulo de tono durante el secado. La fruta secada a  $90^\circ\text{C}$  mostró ligeramente mayor cambio de tonalidad, sin embargo el ANOVA no evidenció un efecto significativo ( $p>0.05$ ) por el tiempo y temperatura.



**Figura 4.** Ángulo de tono  $H^\circ$  de muestras de cáscaras de naranja secadas por hidrosecado

Los cambios de la diferencia total de color  $\Delta E$  se observan en la figura 5, evidenciándose la influencia de la temperatura sobre este parámetro.  $\Delta E$  se incrementa con el aumento de temperatura de proceso, presentado cambios al final del secado de  $21.63 \pm 0.26$  a  $90^\circ\text{C}$ ;  $18.29 \pm 0.34$  a  $80^\circ\text{C}$  y  $14.69 \pm 0.46$  a  $70^\circ\text{C}$ .



**Figura 5.** Diferencia total del color  $\Delta E$  de muestras de cáscaras de naranja secadas por hidrosecado

## DISCUSIÓN

La reducción de la luminosidad  $L^*$  por el incremento de la temperatura indica que las muestras disminuyeron su claridad o se oscurecieron, lo cual indica una degradación de los pigmentos en las muestras por el aumento de la temperatura. Este comportamiento puede estar asociado a la formación de compuestos marrones como resultado de la reacción de Maillard, la cual se afecta principalmente por la temperatura y la duración del tratamiento térmico (8) o reacciones de caramelización que ocurren durante el secado a altas temperaturas (9). Resultados similares se obtuvieron en el secado de cáscaras de mandarina variedad Thompson (10).

Los valores del parámetro  $a^*$  (rojo-verde) no influenciaron significativamente la tonalidad característica de la naranja, ya que se mantuvo relativamente constante. La disminución del parámetro  $b^*$ , está asociado a la pérdida de pureza del color (o menor viveza) característico de la cascara de naranja, lo que indica que al incrementarse la temperatura pudo presentarse destrucción de los flavonoides y carotenoides, pigmentos responsables del color amarillo y naranja de la cáscara fresca, y a las diferentes cantidades residuales de carotenoides en las cáscaras después del tratamiento térmico (11). De acuerdo a algunos investigadores (12) (13), cuanto más largo es el proceso de deshidratación y más elevada es la temperatura mayores serán las pérdidas en los pigmentos. Resultados similares se obtuvieron en el secado de manzanas y fresas, ya que a mayor temperatura se presentó un incremento en el oscurecimiento de las muestras (14).

De acuerdo a la figura 5, la tonalidad o ángulo de tono de la fruta no cambió significativamente por la temperatura, lo cual es un buen indicador de calidad ya que indica que el color característico de la naranja valencia no presentó una tendencia a cambiar hacia otra tonalidad o color.

El incremento de los cambios totales de color ( $\Delta E$ ) con el aumento de la temperatura se debe principalmente a los cambios de la luminosidad y de la coordenada  $b^*$  presentados anteriormente, siendo coherentes en el mismo comportamiento de  $\Delta E$ . Los cambios totales o globales del color en la naranja o vegetales similares por efecto de la temperatura pueden estar relacionado con la degradación de los pigmentos como los carotenoides y la clorofila, oxidación del ácido L-ascórbico y reacciones de pardeamiento no enzimático (15).

## CONCLUSIONES

La cáscara de naranja variedad valencia presenta menores cambios de color en términos de luminosidad, pureza de color y cambios totales de color al secarse a 70 °C mediante el método de hidrosecado, debido a que las bajas temperaturas son un factor determinante para conservar los pigmentos en fru-

tas deshidratadas. La tonalidad amarillo con pintas verdes de la cascara de naranja no se afecta en el secado entre 70 y 90 °C.

## REFERENCIAS

1. Garau M, Simal S, Roselló C. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. *Canonica*) by-products. *Food Chem.* 2007; 104 (2): 1014-1024.
2. Femenía A, García P, Simal S, Roselló C. Effects of heat treatment and dehydration on bioactive polysaccharide acemannan and cell wall polymers from *Aloe barbadensis* Miller. *Carbohydr Polym.* 2003; 51(3): 397-405.
3. Goula AM, Adamopoulos KG, Chatzidakis PC, Nikas VA. Prediction of lycopene degradation during a drying process of tomato pulp. *J Food Eng.* 2006; 74(1):37-46.
4. Toor RK, Savage GP. Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. *Food Chem.* 2006; 94(1): 90-7.
5. Ochoa Martínez C, Quintero P, Ayala A. Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique. *J Food Eng.* 2012; 109(1): 69-75.
6. Caparino OA, Tang J, Nindo CI, Sablani SS, Powers JR, Fellman JK. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. *J Food Eng.* 2012; 111(1): 135-148.
7. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Frutas frescas. Naranja Valencia. Especificaciones. [Internet]. Bogotá, Colombia: ICONTEC. 1997. [Citado 23 de enero de 2016]. Disponible en: [http://e-normas.icontec.org/icontec\\_enormas\\_mobile/visor/HTML5.asp](http://e-normas.icontec.org/icontec_enormas_mobile/visor/HTML5.asp)
8. Adam E, Mühlbauer W, Esper A, Wolf W, Spiess W. Quality changes of onion (*Allium cepa* L.) as affected by the drying process. *Nahrung.* 2000; 44 (1): 32-37.
9. Ruiz Diaz G, Martínez-Monzo J, Barat J, Chiralt A, Fito P. Applying microwaves in drying of orange slices. In: Proceedings of the 12th International Drying Symposium. IDS. Dry Technol. 2003; (Paper no 239): 203-209.
10. Ghanem N, Mihouib D, Kachaou N. Microwave dehydration of three citrus peel cultivars: Effect on water and oil retention capacities, color, shrinkage and total phenols content. *Ind crop Prod.* 2012; 40: 167-177.
11. Barreiro JA, Milano M, Sandoval AJ. Kinetics of color change of double concentrated tomato paste during thermal treatment. *J Food Eng.* 1997; 33: 359-371.
12. Rahman MS, Perea CO. Handbook of Food Preservation: Drying and food preservation. New York: Marcel Dekker Inc; 1999; 173-216 p.
13. Lee JH, Schwartz SJ. Handbook of Science, Technology and Engineering: Pigments in plant foods. Boca Raton. F.L, Hui, Y.J. (Ed.): Taylor & Francis; 2006; 14.1-14.13 p.
14. Contreras C, Martín-Esparza ME, Chiralt A, Martínez-Navarrete N. Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. *J Food Eng.* 2008; 88(1):55-64.
15. Chen BH, Tang YC. Processing and stability of carotenoid powder from carrot pulp waste. *J. Agr Food Sci.* 1998; 46(6): 2312-2318.

# ESTUDIO DE LAS MERMAS DE CAFÉ PERGAMINO DURANTE EL ALMACENAMIENTO EN REFRIGERACIÓN

## LOSSES STUDY OF PARCHMENT COFFEE DURING REFRIGERATED STORAGE

Luis Alfonso TRUJILLO OTÁLVARO, Ing<sup>1</sup>, Luis Fernando MEJÍA GUTIÉRREZ. MSc<sup>2</sup>,  
Félix Octavio DÍAZ ARANGO. MSc<sup>3</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes** Se ha estimado que el café a una temperatura menor de 20°C y con una humedad relativa menor del 70%, se conserva por más tiempo y no presenta humedecimiento significativo. **Objetivos:** en este trabajo se estudiaron las principales variables que afectan el grano almacenado, y los factores que indican su tiempo de almacenamiento como: coloración de la almendra, presencia de hongos, etc. y su incidencia en la prueba de taza. Se estableció la posibilidad de relacionar las variables que afectan la calidad del grano con el almacenamiento y se explicaron los fenómenos encargados de preservar el grano, bajo las condiciones de refrigeración. **Métodos:** Se utilizaron 10 kilos de café variedad arábica en pergamino seco, almacenándose durante seis meses a 8°C en refrigerador no frost marca Haceb modelo N220L, separado en muestras de 250 g cada 15 días se determinó el color con un colorímetro Quantik, la pérdida de peso con balanza *Digital Kappa* AK60-B y humedad, posteriormente se trilla en trilladora quantik, se tuesta a 180°C en Tostador Quantik 150 R y muele se muele a media en molino Gring Master para preparar la bebida según norma ISO – TC 34/ SC15/ WG4 DP 6668. se calculo el coeficiente de difusividad del agua dentro del café. **Resultados:** La apariencia el grano en pergamino y de la almendra como café verde es normal durante el almacenamiento, el cambio de color no es muy significativo, la acidez aumentó con el tiempo y dió variación significativa, con ello el pH descende, sensorialmente en prueba de taza, el cuerpo se mantiene homogéneo, después de la semana 14 disminuye el aroma pero no se aprecia el olor a reposado, en el sabor no hubo diferencias

significativas. Las pérdidas no son significativas y el coeficiente de difusión promedio fue de  $2.036 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$ . **Conclusiones:** El estudio realizado permite establecer la acidez, y aroma registrándose una variación estadística significativa con el tiempo aunque no es notorio en la prueba de tasa, las características de calidad se conservan satisfactoriamente, durante 6 meses de almacenamiento del café en refrigeración.

**Palabras clave:** café, espresso, curvas de tostión, °brix, lixiviación

### ABSTRACT

**Background** It is estimated that the coffee at a temperature below 20 ° C and a relative humidity less than 70%, is retained longer and not significantly wetting. **Objectives:** In this work the main variables that affect stored grain were studied, and the factors that indicate the storage time as almond color, presence of fungi, etc. and its impact on the test cup. The possibility of linking the variables that affect the quality of grain storage and the phenomena responsible for preserving the grain under the conditions of cooling. **Methods:** 10 kilos of coffee arabica were used in dry parchment and stored for six months to 8 ° C for no frost refrigerator brand Haceb model N220L, separated in samples of 250 g every 15 days was determined the color with a Quantik colorimeter, weight loss with balance Digital Kappa AK60-B and humidity, subsequently threshing quantik thresher, it is roasted at 180 ° C in 150 R Toaster Quantik grind and grind mill half Gring Master to prepare the beverage according to ISO - TC 34 / SC15 / WG4 DP 6668. The water diffusivity coefficient was calculated in Coffee **Re-**

<sup>1</sup> Universidad de Caldas, Manizales, Caldas.

<sup>2</sup> Profesor Asociado del Departamento de Ingeniería, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

<sup>3</sup> Profesor Asociado del Departamento de Ingeniería, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia :luistrujillo10@hotmail.com

**sults:** grain appearance on parchment and almond green coffee as is normal during storage, the color change is not very significant, acidity increased with time and yield significant variation, thereby the pH drops, sensory in test cup, the body remains homogeneous after 14 weeks reduces the smell but the smell rested in the flavor is not appreciated there were no significant differences. The losses are not significant and the average diffusion coefficient was  $2.036 \times 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/s. **Conclusions:** The study allows for acidity and aroma recorded a statistically significant variation over time but is not noticeable in the test rate, the quality characteristics are preserved satisfactorily during 6 months of storage in cooling coffee.

**Keywords:** coffee, espresso, roasting curves, Brix, leaching.

## INTRODUCCION

La calidad del café está determinada genéticamente e influenciada por factores, como condiciones de cultivo, latitud, altitud, el clima, el suelo, los cuidados fitosanitarios y las prácticas agronómicas, así como por la calidad de la cosecha, el tipo y control durante el tiempo de beneficio, almacenamiento, trilla, torrefacción y preparación de la bebida. (1). El almacenamiento se convierte en un factor relevante para garantizar la conservación de la calidad lograda hasta esa etapa durante el tiempo necesario. El almacenamiento es una etapa crítica, en la calidad del café ya que de no contar con condiciones especiales de temperatura y humedad relativa, y un contenido de humedad del grano y buen estado fitosanitario, el grano se deteriora rápidamente; el grano se decolora y puede ser notable si el contenido de pasilla es alto, en taza presenta sabor maderoso y reposado. No se debe almacenar café con una humedad superior al 12% y humedad relativa mayor del 70%, (1).

Entre las variables que afectan la calidad del grano en almacenamiento se encuentra la humedad relativa del aire, el grano tiende a alcanzar un equilibrio entre la humedad que contiene y el vapor de agua existente en el aire que lo rodea, además influye en el crecimiento de hongos; el valor crítico sobre el cual puede ocurrir su rápida propagación es de 75% de HR. Si la temperatura es baja y la humedad relativa mayor de 75%, las bacterias y hongos se reproducen lentamente y se presenta pérdidas de peso. Stirling (2), recomienda

humedades relativas del aire entre 60 y 70% para el almacenamiento seguro del café pergamino seco. El contenido de humedad del grano afecta la respiración, el calentamiento y el deterioro del grano almacenado, debido al metabolismo, germinación y desarrollo de hongos, sobre y entre los tejidos de las semillas, causando pérdida de calidad. Con humedad entre 11% y 12% El café minimiza su actividad respiratoria y en ambientes secos el grano tolera altas temperaturas sin deteriorarse (3). Los coloides de las células forman una película elástica y permeable permitiendo la difusión del O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub>. El calor resultante de la respiración, es favorable para el crecimiento de microorganismos e infestación de insectos. La población fúngica debe ser menor o igual a 10<sup>3</sup> u.f.c./gr, estos afectan la calidad de la bebida (4). En humedades relativas superiores a 74%, se han encontrado hongos *Aspergillus* s.p., *Penicillium* s.p., y *Rhizopus* s.p.; granos quebrados, polvo, fragmentos de otros granos, materiales extraños e impurezas en general, son aptos para el desarrollo y propagación microbiana y generalmente su humedad es mayor aumentando el promedio de humedad de los granos. La diferencia entre los valores de contenido de humedad de equilibrio de adsorción y desorción para los mismos valores de humedad relativa se denomina histéresis y puede deberse a la forma de las aberturas de los capilares y poros del sólido, o a fenómenos de humidificación del sólido por el adsorbato. El café almacenado adquiere con el tiempo una tonalidad café en la almendra. Un café con color de almendra café o parcialmente café da en taza un sabor a viejo. Los hongos, contaminantes del café almacenado dan a la bebida olor y sabor terroso (5), responsable de rechazo en el mercado. Trejos y Roa (6), determinaron las curvas de contenido de humedad de equilibrio del café pergamino en un rango de 5 – 55°C y de 8 – 98% de humedad relativa, para *Coffea arábica* variedad caturra.

## METODOLOGÍA

Se tomaron 10 kilos de café *Coffea arábica* pergamino proveniente de la finca Le Coin Tisquesusa fresco se almacenó en refrigeración a 8 °C en el laboratorio de café de la Universidad de Caldas, en la ciudad de Manizales ubicada a 2160 m.s.n.m. presión atmosférica de 585 mmHg y humedad relativa media entre 69 y 77%, en una malla: cada 15 días se tomaron 250 gr de café con Balanza Digital Kappa AK60-B, 40 gr. de capacidad Sartorius PT1500.

Capacidad máxima 1500 gr., con una sensibilidad de 0.1 gr. Trilladora marca Quantik , colorímetro Marca Quantik y tostador IR – 150 Marca Quantik. Tostadose a 210 °C. Posteriormente se molió en un molino Grid Master, se preparó la bebida según según norma ISO – TC 34 / SC15 / WG4 DP 6668 de febrero de 2000. Se realiza prueba de taza calificándose los atributos según tabla 1. Para la pérdida de peso real se utilizó la ecuación 1.

$$\%Hp = \frac{100(H1 - H2)}{100 - H2} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde: %Hp = Porcentaje de Humedad perdida, H1 = Humedad inicial, H2 = Humedad final. A los datos obtenidos de las variables de respuesta endógenas, se les realizó análisis estadístico descriptivo, análisis de varianza, correlación y pruebas de comparación de Tukey al 5%, con el fin de establecer el comportamiento de las variables con el tiempo. Para los fenómenos ocurridos entre el grano y las condiciones del aire de almacenamiento (temperatura, presiones de vapor, humedad absoluta, humedad relativa, entre otros), la difusividad se determinó como solido poroso con la ecuación 2 teniendo en cuenta una esfericidad de 0.67.

$$E = (C_{A,q} - C_{A,\infty}) / (C_{A,0} - C_{A,\infty}) = f(D \cdot q / a^2) \quad \text{Ecuación 2}$$

En donde E: Fracción no eliminada,  $C_{A,q}$ : Concentración promedio en el tiempo q, (Kg de agua/ Kg de sólido seco),  $C_{A,\infty}$ : Concentración en un tiempo final, (Kg de agua/ Kg de sólido seco),  $C_{A,0}$ : Concentración inicial, (Kg de agua/ Kg de sólido seco),  $f(D \cdot q / a^2)$ : Abscisa de la figura 4.1 Treyball (7), D: coeficiente de difusión. q: Tiempo; a: longitud (característica) radio.

**Tabla 1.** Rendimiento en proceso de trilla y selección.

Atributo	Característica	Cuantificación
Aroma	Leve	0
	Medio	5
	Intenso	10
Acidez	Plana	0
	Media	5
	Muy alta	10
Cuerpo	Ligero	0
	Medio	5
	Muy lleno	10
Sabor	Fresco	3
	Ligero reposo	1
	Reposo	0

**Tabla 2.** Datos curva de tostion

Porosidad.	Conductividad Térmica	La difusividad Térmica	Calor Especifico	Densidad Aparente	Humedad de Equilibrio
60-70%	$K = -0.00116M + 0.0522M^{0.34167}$	$a = [0.1163 - 0.254 \times 10^{-3} M - 0.04774 \times 10^{-3} r] \times 10^{-6}$	$C_s = 1.3556 + 5.7859M$	$Dap = 365.884 + 2.707M < 5$	Ecuación 3

Donde :

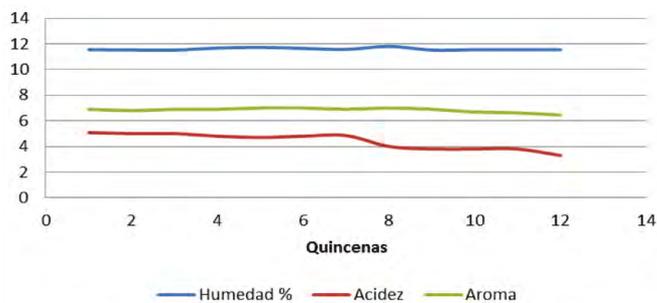
M = Humedad del café pergamino, (b.s.)	K = Conductividad térmica, (W/m °C)	Meq = Contenido de humedad de equilibrio de café, %, (b.s.)
a = Difusividad Térmica, (m <sup>2</sup> /s)	r = Densidad aparente, (Kg/m <sup>3</sup> )	HR = Humedad relativa, decimal

$$Meq = (58.328391HR - 113.22286HR^2 + 87.155685HR^3) \times EXP((-0.0104847 + 0.0090678HR)T)$$

Ecuación 3.

## RESULTADOS

La acidez presentó variación significativa, se observó una tendencia a aumentar con el tiempo de almacenamiento, Pasó de ser una acidez media a media baja y con ello el pH desciende en el tiempo: el cuerpo tuvo un comportamiento muy homogéneo manteniendo su valoración de cuerpo medio. En lo referente al aroma, después de la semana 14 disminuyó un poco, sin dejar de ser un aroma característico agradable al olfato. En el sabor no hubo diferencias significativas, el café permaneció como fresco durante el estudio, el café en taza no mostró sabor a reposado. Las evaluaciones sensoriales y la humedad de cada quincena se muestran en la figura 1.



**Figura 1.** Caracterización en el tiempo.

## DISCUSION

El color presentó correlación significativa entre el tiempo de almacenamiento, acidez y aroma, aunque no se detectó sabor reposado. Se observó correlación entre la humedad y el color, la acidez con aroma y color, aun así, el R.S.Q. no es lo suficientemente significativo como para establecer un modelo de regresión. Se tomaron parámetros como radio equivalente = 3.85mm., (34), área específica = 779.8 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, Volumen = 239.04 mm<sup>3</sup>, para calcular la difusividad con los datos de humedad experimentales y haciendo uso de la figura 4.1 Treyball, se obtuvo un coeficiente promedio de difusividad efectivo de agua en el café de  $2.036 \times 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/s. el cual se puede utilizar para predecir la concentración de agua en cualquier tiempo, comparando valores experimentales con valores calculados se encontraron errores máximos del 0.61 % +/- 0.2: la variación de la humedad en el tiempo es tan pequeña que en la prueba de comparación de Tukey, no registra diferencias significativas en las semanas analizadas, la diferencia entre ambos tratamientos es menor al 1%. La humedad del café tiene influencia en el color del café pergamino; un café verde húmedo, es más oscuro que uno con una humedad menor y existe correlación entre estas variables. Las ecuaciones y correlaciones de transferencia de masa predicen fielmente la pérdida de humedad y mermas en el tiempo durante el almacenamiento de café pergamino. La conservación a condiciones de refrigeración es una alternativa viable para preservar la calidad del grano por lo cual se debe pensar en el almacenamiento en tierras de gran altitud.

Los parámetros hallados tienen son una herramienta para el estudio de la transferencia de masa en café pergamino aun a diferentes condiciones de almacenamiento y presentan concordancia con lo reportado por Parra (2008) (6).

## CONCLUSIONES

Por la elevadas humedad relativa del refrigerador (cercana a saturación), no se da un secado y se conserva la calidad del grano. En la etapa inicial la presión parcial del aire es mayor que la presión de vapor intersticial del grano, produciendo un incremento del contenido de humedad en el grano, el cual es mínimo porque la diferencia entre dichas presiones no es muy significativa. Se puede decir que el café en refrigeración gana poca humedad y no se afecta la notablemente la calidad del grano. El estudio realizado permite establecer la acidez, y aroma registran una variación estadística significativa con el tiempo aunque no es notorio en la prueba de tasa, las características de calidad se conservan satisfactoriamente, durante 6 meses de almacenamiento en refrigeración.

El almacenamiento a temperatura de refrigeración de 8 °C, con humedad relativa superior al 75% y con un flujo laminar de aire, es un excelente medio para almacenamiento seguro de café a largo plazo.

## REFERENCIAS

1. Arango M, 2012. El beneficio ecológico del café en Colombia. Disponible en [revistas.javeriana.edu.co/index.php/desarrolloRural/article/.../1671](http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/desarrolloRural/article/.../1671), consultado 15 nov de 2015
2. Stirling H. Storage research on Keny Arabica coffee. In: Colloque Scientifique Internationale Sur le Café, 9. Londres (Inglaterra) Paris, ASIC.1980 jun. 16-20; 189-200 p.
3. Sánchez G, M.E. Producción de CO<sub>2</sub> durante el almacenamiento. Revista Latinoamericana Acogranos (Colombia). 1988; 4(4): 19-25.
4. López C I, Moreno E G, Bautista E. Influencia de los microorganismos sobre la calidad del café almacenado. Laboratorio de Investigaciones sobre la Química de Café (LIQC). Tercera reunión del grupo de Control de Calidad de Café de la FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS, Bogotá, D.C. 1985. 25 p.
5. Parra C, Roa M, Oliveros T. Modelamiento y simulación matemática en el secado mecánico de café pergamino. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2008; 12(4): 415-427.
6. Treybal, Robert. Operaciones de Transferencia de Masa. SECA-FÉ Parte I: Segunda ed., McGRAW-HILL, México.1997. 858 p.

# SECADO POR ASPERSIÓN DE SOLUCIONES MODELO REPRESENTATIVAS DE ZUMOS DE FRUTAS

## SPRAY DRYING MODEL FOR SOLUTIONS REPRESENTATIVE OF FRUITS JUICES

Dadyan Raquel FLAQUER-FLOREZ<sup>\*</sup>; Diana María DELGADO-SOLARTE; Alejandro FERNÁNDEZ-QUINTERO Ph.D.; Claudia Isabel OCHOA-MARTÍNEZ Ph.D.

### RESUMEN

**Antecedentes:** La técnica de secado por aspersión es una de las más usadas para la producción de alimentos en polvo. Muchas investigaciones se han llevado a cabo para determinar las propiedades fisicoquímicas de los polvos de frutas secados por aspersión ya que esta técnica presenta características controlables, independientes de la sensibilidad del alimento al calor. **Objetivos:** Evaluar el efecto de la temperatura de entrada del aire y el flujo de alimentación sobre la densidad real, la densidad aparente y la humedad en el secado de dos soluciones modelo de zumos de frutas. **Métodos:** Se implementó un modelo factorial donde los factores fueron la temperatura de entrada del aire (180, 190 y 200 °C) y el flujo de alimentación a la cámara de secado (8,1, 6,8 y  $6,1 \times 10^{-4}$  kg de alimento/s) y las variables respuesta fueron la densidad aparente, la densidad real y el contenido de humedad. Se utilizó maltodextrina DE 19-10 como agente de secado en una concentración de 10%. El procedimiento se realizó para dos tipos de solución modelo (A y B). Las soluciones se prepararon teniendo en cuenta composiciones similares a grupos de frutas. **Resultados:** El análisis estadístico de varianza (ANOVA) mostró que casi todas las variables independientes afectan significativamente las variables de respuesta. Se observaron valores mayores de densidad real para la solución B, que tiene mayor contenido de azúcares. Se observó una tendencia de la densidad real a disminuir a medida que se aumentó la temperatura. Los valores óptimos de las variables de respuesta fueron 190°C y  $8,1 \times 10^{-4}$  kg de alimento/s. **Conclusiones:** El mejor tratamiento para producir polvos con menor contenido de humedad y mayor densidad se encontró en la temperatura intermedia estudiada, es decir, a 190°C y al mayor flujo de alimentación ( $8,1 \times 10^{-4}$  kg de alimento/s). La composición de azúcares en la

solución tiene un fuerte efecto en las características finales del producto.

**Palabras clave:** Secado, zumos de frutas, calidad, estabilidad, temperatura, flujo.

### ABSTRACT

**Background:** The spray drying technique is one of the most used for producing powdered food. Much research has been conducted to determine the physicochemical properties of the spray dried powders of fruit since this technique presents controllable characteristics, which are independent of food sensitivity to heat. **Objectives:** To evaluate the effect of inlet air temperature and the feed flow of the true density, bulk density and moisture in two model solutions during spray drying. **Methods:** A factorial model was implemented. The factors were the air inlet temperature (180, 190 and 200 °C) and flow of the feed to the drying chamber (8.1, 6.8 and  $6.1 \times 10^{-4}$  kg feed / s). The response variables were the bulk density, true density and moisture content. Maltodextrin DE 19-10 was used as drying agent in a concentration of 10%. The procedure was performed for two types of model solution (A and B). The model solutions were prepared at similar compositions of a fruit groups. **Results:** The statistical analysis of variance (ANOVA) showed that almost all independent variables significantly affect response variables. Higher true density values for the B solution (which has higher sugar content) were observed. Also, there was a trend of the true density to decrease as the temperature was increased. The optimal values of the response variables were 190 °C and  $8.1 \times 10^{-4}$  kg feed/s. **Conclusions:** The best treatment to produce powders with lower moisture content and higher density was found in the intermediate temperature studied, ie, 190 °C and higher feed flow ( $8.1 \times 10^{-4}$  kg feed / s). The sugar

<sup>1</sup> Universidad del Valle, Cali, Colombia

<sup>\*</sup> Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: dadyan.flaquer@correounivalle.edu.co

composition in the solution has a strong effect on the final characteristics of the product.

**Keywords:** Drying, fruit juice, quality, stability, temperature, flow.

## INTRODUCCIÓN

El secado por aspersión tiene diversas aplicaciones en la industria farmacéutica, alimentaria, y de detergentes, entre otros; es un proceso continuo que se caracteriza por la transformación de un líquido a un producto seco en forma de polvo, en un corto tiempo de secado. Este líquido se atomiza mediante un sistema de alta presión centrífuga, y las gotas atomizadas entran en contacto con un flujo de aire caliente. Por lo tanto, hay una evaporación rápida, lo que permite mantener baja la temperatura del producto final, permitiendo secar los productos sensibles al calor sin afectar mucho su calidad (1). En los zumos de frutas, el alto contenido de azúcar puede conducir a la obtención de productos con una alta pegajosidad e higroscopicidad, lo que reduce el rendimiento del proceso. La adición a la muestra de productos de alto peso molecular antes de atomización es una alternativa frecuentemente utilizada dado que aumenta la temperatura de transición vítrea (2) e influye en la estabilidad del polvo. Los aditivos más usados son maltodextrina, goma Arábiga o una combinación de ambos.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la temperatura de entrada del aire de secado y el flujo de alimentación en el proceso de secado por aspersión de dos soluciones modelo representativas de zumos de fruta, sobre la densidad y la humedad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron dos soluciones modelo cuya composición es similar a un grupo de frutas específico. La tabla 1 presenta la composición de las soluciones modelo de frutas. A cada solución modelo de la tabla 1 se le adiciono maltodextrina DE 19-10, en una concentración del 10% de la solución.

**Tabla 1.** Composición de las soluciones modelo de zumos de fruta

Solución	Agua	Sacarosa	Fructosa	Glucosa	Fibra dietética	Ácido cítrico
Solución A	91,01	1,08	1,07	0,99	1,95	3,87
Solución B	89,11	4,39	1,94	1,92	0,90	0,43

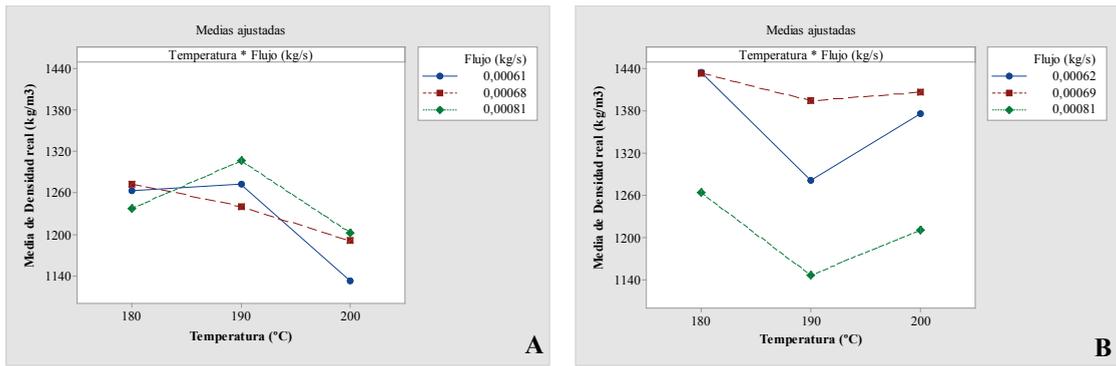
En la solución A se encuentran frutas como el lulo y el limón, consideradas frutas ácidas por su alto contenido en ácido cítrico y agua. En la solución B están la naranja, el melón y el durazno, que se caracterizan por un contenido de sacarosa superior al de la solución. El proceso de secado se realizó en un secador por aspersión (marca VIBRASEC), en el cual las corrientes de entrada del aire y de alimento están en flujo concurrente. Se analizó el efecto de dos factores, la temperatura de entrada del aire (180, 190 y 200 °C) y el flujo de alimentación representado en el porcentaje de la bomba que impulsa el líquido (8, 10 y 12%). Se aplicó el mismo diseño experimental para cada tipo de solución (A y B). Las variables de respuesta fueron el contenido de humedad, la densidad real y la densidad aparente. El contenido de humedad se determinó en un horno al vacío a 60°C por 24h, hasta peso constante; la densidad real se determinó por el método del picnómetro, utilizando como líquido inmiscible éter de petróleo (3), la densidad aparente de los polvos se midió adicionando 5g de polvo a una probeta y golpeando ésta durante un minuto (un golpe cada 3 segundos), y midiendo el volumen de polvo, a partir del cual se estableció la densidad aparente compactada (4). Las muestras de polvo se almacenaron aproximadamente a 4°C hasta la realización de las pruebas. Se utilizó el software Minitab 17 para el análisis estadístico de varianza (ANOVA) con un nivel de confiabilidad de 90% y para el proceso de optimización.

## RESULTADOS

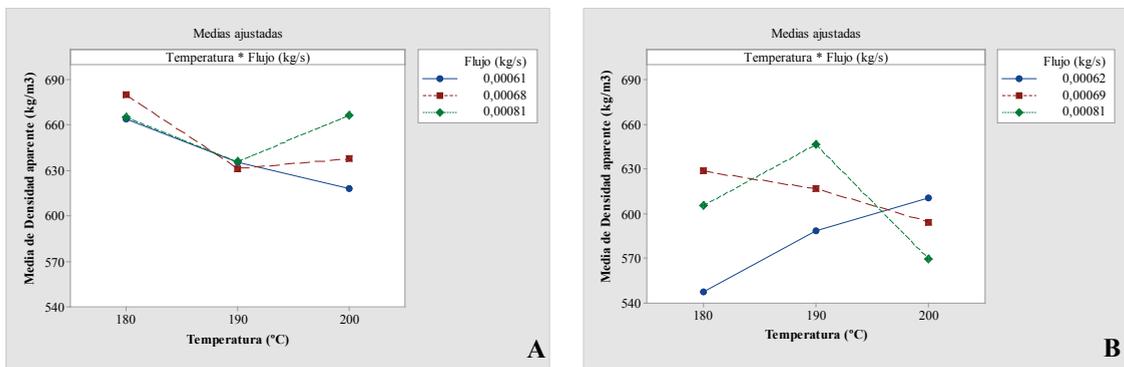
En la Figura 1, se muestra la interacción de la temperatura de entrada del aire y el flujo de alimentación sobre la densidad real para la solución A y B. En general, se obtuvieron mayores valores de densidad real para la solución B. Los valores de densidad real se encontraron en un rango de 1134,18 a 1386,28 kg/m<sup>3</sup> para la solución A, y para la solución B de 1061,06 a 1588,40 kg/m<sup>3</sup>.

En la figura 2, se observa que para la solución A se obtuvo mayor densidad aparente a la temperatura menor para un flujo de alimentación cercano a 6,8x10<sup>-4</sup> kg/s, por otro lado, la solución B alcanzó este valor a la temperatura intermedia para un flujo de 8,1 x10<sup>-4</sup> kg/s. Los valores de densidad aparente se encontraron en un rango de 594,36 a 712,29 kg/m<sup>3</sup> para la solución A, y 543,46 a 669,35 kg/m<sup>3</sup> para la solución B.

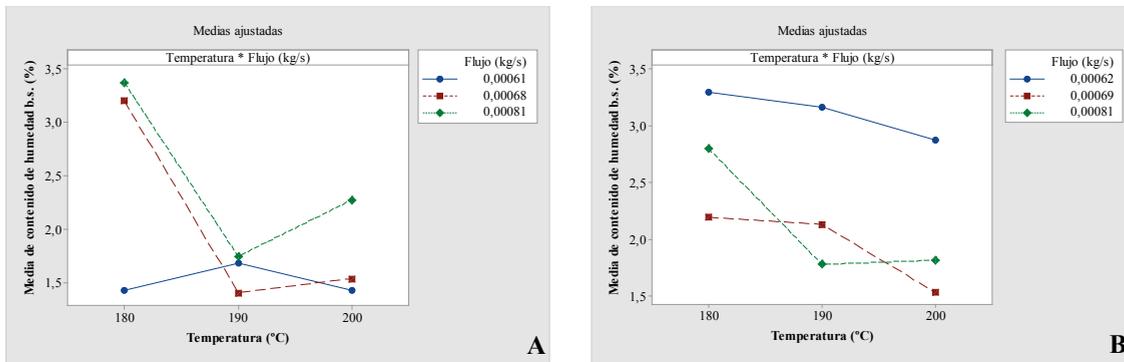
En la figura 3, se presenta la interacción de los factores sobre el contenido de humedad, donde para ambas soluciones, los valores fueron inferiores a 6%.



**Figura 1.** Interacción de la temperatura de entrada del aire y el flujo de alimentación sobre la densidad real en las soluciones A y B



**Figura 2.** Interacción de la temperatura de entrada del aire y el flujo de alimentación para la densidad aparente en la solución A y B



**Figura 3.** Interacción de la temperatura de entrada del aire y el flujo de alimentación para el contenido de humedad en la solución A y B

## DISCUSIÓN

En el efecto de la temperatura de entrada del aire y el flujo de alimentación sobre la densidad real para la solución A y B observados en la Figura 1, los valores mayores de densidad real para la solución B pueden ser causados por el mayor contenido de azúcares que tiene esta solución. Las variables

estudiadas no tuvieron influencia significativa ( $p > 0,1$ ), exceptuando la temperatura para la solución A, donde se observa una tendencia a disminuir la densidad real a medida que aumenta la temperatura. Los resultados obtenidos son comparables con los reportados del secado por aspersión de pulpa de tomate, donde se encontraron valores de densidad en un rango de 1070 a 1310 kg/m<sup>3</sup> (5).

En cuanto a la densidad aparente, los resultados estadísticos mostraron que para la solución A, el efecto de los factores fue significativo ( $p \leq 0,1$ ), pero su interacción no; para la solución B la interacción de la temperatura de entrada del aire y de flujo de alimentación fue significativa ( $p \leq 0,1$ ). La densidad aparente de una partícula en un secador por aspersión puede aumentarse mediante la reducción de la temperatura de entrada (6). Esto se observó en la solución A al trabajar a 180°C e inclusive en la solución B se observa esta tendencia para un flujo intermedio. Es deseable tener una alta densidad aparente, ya que requiere menos volumen cuando se envasa (7). Además, una alta densidad aparente generalmente significa que hay menos espacios vacíos disponibles para ser ocupados por aire, por lo que se puede evitar la oxidación y aumentar la estabilidad del polvo (8).

En cuanto al contenido de humedad, el hecho de obtener valores inferiores a 6%, permite que los productos puedan considerarse bioquímicamente y microbiológicamente estables (9). Los análisis estadísticos mostraron que la interacción de los factores fue significativa ( $p \leq 0,1$ ) para la solución A, y los factores independientes fueron significativos ( $p \leq 0,1$ ) para la solución B. Los resultados son comparables con los reportados por otros autores (10) en el secado de jugo de naranja (2,29% a 3,35%). La baja humedad evita la aglomeración de partículas, impidiendo el apelmazamiento del polvo (11). Por otra parte, Caliskan y Dirim (12) encontraron que el aumento de la concentración de maltodextrina durante el secado por aspersión resultó significativo en la disminución del contenido de humedad de los polvos, probablemente debido a un aumento de los sólidos en la alimentación y la cantidad de agua libre reducida. A pesar que en este estudio no se varió la concentración de maltodextrina, su adición puede ser una explicación de los bajos porcentajes de humedad encontrados para las dos soluciones.

Se llevó a cabo el proceso de optimización de las variables de respuesta, después de analizar las pruebas ANOVA. Según los resultados, las mejores condiciones de secado por aspersión fueron: Temperatura del aire de entrada de 190 °C y porcentaje de alimentación de la bomba 12%, es decir, aproximadamente  $8,1 \times 10^{-4}$  kg de alimentación/s, para las dos soluciones.

## CONCLUSIONES

El mejor tratamiento de secado por aspersión de las soluciones modelo para producir polvos con

menor contenido de humedad y mayor densidad se encontró en la temperatura intermedia estudiada, es decir, a 190°C y al mayor flujo de alimentación ( $8,1 \times 10^{-4}$  kg de alimentos). La composición de azúcares en la solución tiene un fuerte efecto en las características finales del producto.

Es importante anotar que en las soluciones modelo estudiadas no se tuvieron en cuenta otros componentes presentes en jugos reales como la fibra insoluble y los aceites esenciales.

## AGRADECIMIENTOS

A COLCIENCIAS que permitió la financiación de este proyecto.

## REFERENCIAS

1. Sharma S, Mulvaney S, Rizvi S. Ingeniería de alimentos: operaciones unitarias y prácticas de laboratorio. México DF, México: Limusa; 2003. 44p.
2. Bhandari B, Datta N, Howes T. Problem associated with spray drying of sugar-rich foods. *Dry Technol.* 1997; 15(2): 671-684.
3. Masuda H, Higashitani K, Yoshida H. *Powder Technology: Fundamentals of particles, powder beds, and particle generation.* Boca Raton, United States of America: CRC Press. 2006. 50 p.
4. Shenoy P, Viau M, Tammel K, Innings F, Fitzpatrick J, Ahrné L. Effect of powder densities, particle size and shape on mixture quality of binary food powder mixtures. *Powder Technol.* 2015 Mar; 272: 165-72.
5. Santos A, Vilela S, Ferreira N, Vaz H, Pascoli M, et al. Influence of spray drying conditions on the physical properties of dried pulp tomato. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* 2009 Apr-June; 29(2): 291-294.
6. American Institute of Chemical Engineers. Equipment Testing Procedures Committee. *Spray dryers: a guide to performance evaluation.* Second edition. New York, United States: AIChE's Chemical Engineering Technology. 2003. 25 p.
7. Kha TC, Nguyen MH, Roach PD, Stathopoulos CE. Microencapsulation of Gac oil: Optimisation of spray drying conditions using response surface methodology. *Powder Technol.* 2014 Sep; 264: 298-309.
8. Goula A, Adamopoulos K. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. Drying kinetics and product recovery. *Dry Technol.* 2008 May; 26(6): 714-725.
9. Tan SP, Kha TC, Parks SE, Stathopoulos CE, Roach PD. Effects of the spray-drying temperatures on the physicochemical properties of an encapsulated bitter melon aqueous extract powder. *Powder Technol.* 2015 Sep; 281: 65-75.
10. Islam MZ, Kitamura Y, Yamano Y, Kitamura M. Effect of vacuum spray drying on the physicochemical properties, water sorption and glass transition phenomenon of orange juice powder. *J Food Eng.* 2016 Jan; 169: 131-40.
11. da Silva FC, da Fonseca CR, de Alencar SM, Thomazini M, Balleiro JC de C, Pittia P, et al. Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-dried propolis, a natural food additive, using gum Arabic and OSA starch-based carrier systems. *Food Bioprod Process.* 2013 Jan; 91(1): 28-36.
12. Caliskan G, Dirim SN. The effect of different drying processes and the amounts of maltodextrin addition on the powder properties of sumac extract powders. *Powder Technol.* 2015 Oct; 287: 308-14.

# EVALUACIÓN DE PROTOCOLOS PARA EL ESTABLECIMIENTO Y DESINFECCIÓN *in vitro* DE MERISTEMOS DE PLATANO *Musa spp*

ASSESSMENT PROTOCOLS FOR THE ESTABLISHMENT AND DISINFECTION *in vitro* MERISTEM OF BANANA *Musa spp*

Lina María ARBELÁEZ A<sup>1\*</sup>, Jairo MONTOYA L.<sup>2</sup>, Sergio Andrés SAAVEDRA R.<sup>3</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** El plátano es el cuarto cultivo más importante del mundo, considerado un producto básico de exportación en numerosos países; presentando problemas de manejo de plantaciones y alta incidencia de plagas y enfermedades, que afectan negativamente la producción, el uso de herramientas biotecnológicas como el cultivo *in vitro* de tejidos vegetales permite obtener miles de plántulas de similar tamaño, edad, calidad y de elevado valor genético, siendo la contaminación del medio de cultivo un problema considerable y causado por microorganismos presentes en las células vegetales, que no se puede eliminar mediante la desinfección externa. **Objetivos:** Este trabajo evaluó el efecto de dos concentraciones de NaClO a diferentes tiempos y la concentración de hormonas en la generación de brotes de meristemos de plátano dominico hartón *Musa spp*. **Métodos:** La fase experimental, se realizó mediante el establecimiento aséptico del cultivo y la preparación del medio; se utilizó un modelo de regresión logística para estudiar el efecto de dos tratamientos de desinfección en la contaminación de los explantes (meristemos), para el establecimiento y la mayor contaminación por hongos y bacterias, tanto en el medio como en el explante. **Resultados:** El Tratamiento T1, presentó un efecto significativo en la contaminación de los explantes ( $p < 0,05$ ) evidenciando, una probabilidad de contaminación 8,65 veces mayor que T2, de igual manera al evaluar dos medios de cultivo para el establecimiento M1,

M2, de los meristemos, el medio de cultivo para el establecimiento M2, tuvo un efecto significativo en el brote ( $p < 0,05$ ) presentando una probabilidad de brote 4,36 veces mayor en el medio de establecimiento M1. **Conclusiones:** La contaminación por hongos en los medios de cultivo evaluados, no es significativa tanto en el medio como en el explante. Por otra parte, el medio de cultivo demostró ser significativo ( $p < 0,05$ ) en la contaminación por bacterias, tanto en el medio como en los explantes. La adición de un antibiótico resulta ser efectivo para reducir los niveles de contaminación por bacterias presentes en los explantes de meristemos de plátano *Musassp* establecidos *in vitro*.

**Palabras clave:** Antibióticos, hormonas *in vitro*, medios de cultivo meristemos.

## ABSTRACT

**Background:** The banana is the fourth most important crop in the world, considered an export commodity in many countries; presenting problems of plantation management and high incidence of pests and diseases, which negatively affect the production, use of biotechnological tools as the *in vitro* culture of plant tissues allows thousands of seedlings of similar size, age, quality and high genetic value, being pollution of the culture medium a considerable problem and caused by microorganisms present in the plant cells that cannot be deleted through the external disinfection. **Objectives:** This study evaluated the effect of two concentrations of

<sup>1</sup> Magister en Biología Vegetal con Énfasis en Biotecnología. Programa de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Quindío. Armenia. Colombia.

<sup>2</sup> Magister en Química, Programa de Química, Universidad del Quindío, Armenia. Colombia.

<sup>3</sup> Estudiante, Programa de Licenciatura en Biología y Educación Ambiental, Universidad del Quindío. Armenia. Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: linar@uniquindio.edu.co.

NaClO at different times and the concentration of hormones in the generation of outbreaks of banana meristems Dominico Harton *Musa spp.* **Methods:** The experimental phase, was carried out by means of the establishment of the cultivation and aseptic preparation of the environment; a logistic regression model was used to study the effect of two disinfection treatments on the pollution of the explants (meristem), for the establishment and the greatest contamination by fungi and bacteria, both in the east and in the explant. **Results:** The treatment T1, produced a significant effect on the pollution of the explants ( $p < 0.05$ ) introducing, a of contamination 8.65 times greater than T2, similarly to evaluate two culture media for the establishment M1, M2, the meristems, the culture medium for the establishment M2, had a significant effect on the outbreak ( $p < 0.05$ ) presenting a probability of outbreak 4.36 times greater in the middle of establishment M1. **Conclusions:** The contamination by fungi in the culture media evaluated, is not significant in both the east and in the explants. On the other hand, the culture medium proved to be significant ( $p < 0.05$ ) in the contamination by bacteria, both in the east as in the explants. The dd antibiotic is to be effective in reducing the levels of contamination by bacteria present in the explants of meristems of plantain *Musa ssp* established *in vitro*.

**Keywords:** Antibiotics, hormones in vitro, meristem culture media.

## INTRODUCCIÓN

El plátano es el cuarto cultivo más importante del mundo, es considerado un producto básico y de exportación, fuente de empleo e ingresos en numerosos países en desarrollo. El producto que entra en el comercio internacional es el procedente de los países latinoamericanos y del Caribe, entre los cuales se encuentra Colombia. (1). Uno de los problemas más frecuentes para estos cultivos es el inadecuado manejo de las plantaciones y la alta incidencia de plagas y enfermedades, que afectan negativamente la producción. Es por ello que el uso de herramientas biotecnológicas como el cultivo *in vitro* de tejidos vegetales permite obtener varios miles de plántulas de similar tamaño, edad, calidad y de elevado valor genético (2). Aunque la propa-

gación de plantas a través de la técnica de cultivo de tejidos se encuentra limitada por la presencia de microorganismos contaminantes, y existen pocas publicaciones sobre técnicas de esterilización y de manejo de la contaminación ocasionada por hongos y bacterias. La contaminación del medio de cultivo es un problema considerable y es causada por microorganismos presentes dentro de las células vegetales, que no se puede eliminar mediante la desinfección externa. Una de las formas de combatir este problema es adicionando al medio antibióticos (3), sin embargo, existen objeciones al uso generalizado de éstos para el control de contaminantes pues algunos no destruyen a todos los microorganismos, sólo los suprimen o generan retardos en su metabolismo, por lo que descuidos en las técnicas asépticas pueden generar resistencia, siendo más difícil controlarlos. Algunas de las sustancias más utilizadas en técnicas de desinfección del material vegetal son el hipoclorito de sodio (NaClO), hipoclorito de calcio (CaClO), peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), etanol ( $C_2H_5OH$ ) y bicloruro de mercurio ( $HgCl_2$ ), donde el hipoclorito de sodio ha sido el compuesto más frecuentemente empleado, con resultados apropiados para la desinfección y el establecimiento *in vitro* del material vegetal, a concentraciones y tiempos diferentes. El hipoclorito de sodio (NaClO), es efectivo, económico y de fácil adquisición (4). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de dos concentraciones de NaClO a diferentes tiempos y el efecto de la concentración de hormonas en la generación de brotes de meristemos de plátano dominico hartón *Musa spp.*

## MÉTODOS

La fase experimental, se realizó con una adaptación del método descrito por Marín et al. (5), que incluye las fases de establecimiento aséptico del cultivo y preparación del medio de cultivo. El material vegetal (colinos), se colectó en los municipios de Armenia, Calarcá, Filandia y Montenegro donde se encontraron cultivos en estado adulto. Para la selección de los (colinos) se tuvo en cuenta las condiciones fitosanitarias como la sanidad de la planta, Producción del cultivo, como se indica en la Figura 1.



**Figura 1.** Proceso extracción de meristemas Plátano *musa Spp*

**Establecimiento aséptico del cultivo**

Se colectaron colinos (100) que fueron reducidos a un tamaño de 15 cm para la obtención del meristemo, se empacaron en papel periódico húmedo y se depositaron en nevera de icopor con gel de enfriamiento para ser transportados al laboratorio, evaluándose dos tratamientos de desinfección (ver tabla 1).

**Tabla 1.** Tratamientos de desinfección

Tratamiento 1 (T1):	Tratamiento 2 (T2):
Hipoclorito de sodio (3%) + Benzil amino purina (BAP) + ácido ascórbico + tween + agua 15 min	Hipoclorito de sodio (5%) + Benzil amino purina (BAP) + ácido ascórbico + estreptomicina + tween + agua 10 min

Posteriormente todos los colinos se lavaron con jabón neutro, se realizó una reducción de tamaño entre 3 y 4 cm, una vez extraídos los meristemas, la mitad (50) se sumergieron en el tratamiento de desinfección 1 (T1), y la otra mitad en tratamiento de desinfección 2 (T2) y por último se adicióno agua destilada para eliminar residuos de desinfectante.

**Preparación del Medio de Cultivo:** Para la preparación del medio de cultivo se utilizaron las concentraciones y cantidades sugeridas por otros autores (5) y ajustado a un pH 5,7. (Tabla 2).

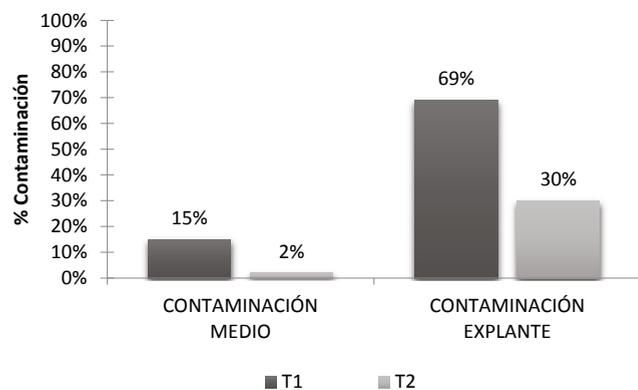
**Tabla 2.** Concentraciones de Reguladores de crecimiento empleados para establecimiento de meristemas de plátano *Musa spp*

Medio 1 M.S 100%	Medio 2 M.S 100%
Benzil amino purina (BAP) 3 mg/L + tidiázuron citocina 1mg/L + estreptomicina 5 mg/L	Benzil amino purina (BAP) 2 mg/L + ácido indol acético (AIA) 3 mg/L + ácido giberelico (AG) 2 mg/L

Las variables que se evaluaron fueron, el porcentaje de explantes contaminados y el porcentaje de explantes con brotes; para el análisis estadístico se empleó un modelo de regresión logística, el cual consistió de un análisis de regresión para predecir la efectividad de los tratamientos de desinfección y el efecto de los medios de cultivo en el brote de los explantes, en función de los explantes contaminados y los explantes con brotes, trabajando con 5% de probabilidad de error y empleándose el paquete estadístico stapgrafic para el análisis de los resultados.

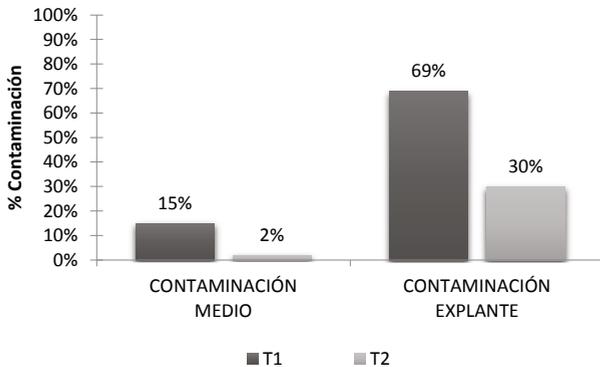
**RESULTADOS**

Se observó que el tratamiento (T1), produjo un efecto significativo en la contaminación de los explantes ( $p < 0,05$ ) presentando una probabilidad de contaminación 8,65 veces mayor que T2 (Figura 2), lo que indica que este último es más adecuado para la desinfección de los explantes y su posterior establecimiento.



**Figura 2.** Desinfección meristemas plátano *musa spp*

Para el medio de cultivo se observó un efecto significativo en el brote ( $p < 0,05$ ) presentando una probabilidad de brote 4,36 veces mayor en (M1) que en (M2) (Figura 3).



**Figura 3.** Brote y contaminación de meristemos de plátano *Mussa spp*

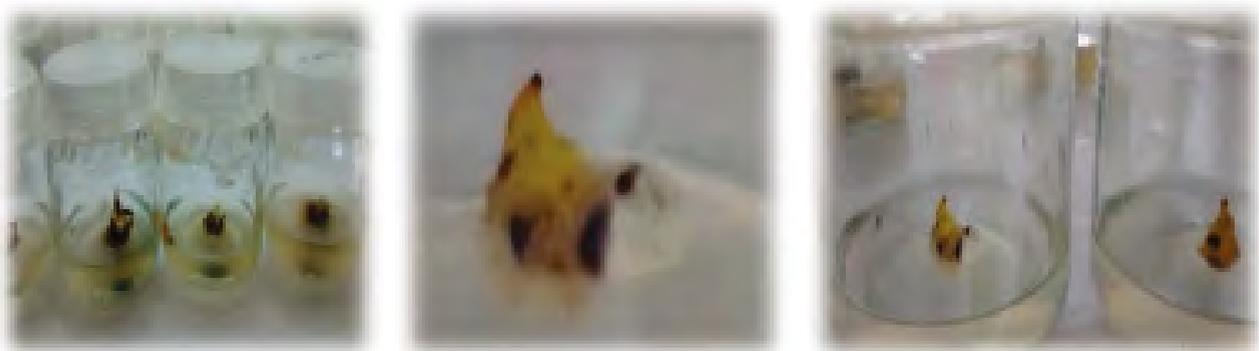
## DISCUSIÓN

La asociación explante-medio y las condiciones físicas en que normalmente se incuban los cultivos conforman un ambiente propicio para la proliferación de microorganismos (bacterias, hongos), los cuales pueden destruir tales cultivos y competir con el explante por el medio de cultivo o modificarlo (5). Por otra parte, los medios de cultivo demostraron ser significativos ( $p < 0,05$ ) en la contaminación por bacterias, tanto en el medio como en el explante, siendo notablemente mayor la contaminación en (M2) (Figura 3). La contaminación del medio presentó problemas considerables y fue causada por microorganismos presentes dentro de las células vegetales y que no se pudieron eliminar mediante la desinfección externa; la manera con que se

combatió este problema fue mediante la adición de antibióticos al medio de cultivo.

En la fase de establecimiento los meristemos presentaron un engrosamiento prudente (figura 4) aunque todos los explantes tratados, presentaron oxidación desde su iniciación, esto no es un obstáculo para el establecimiento y multiplicación del plátano, en este estudio los meristemos de plátano se mantienen en la fase de establecimiento.

El tratamiento (T2), resultó ser el más efectivo para la desinfección de los explantes, este tratamiento contenía 2 mg/L de antibiótico estreptomycin, como lo propuesto en otras investigaciones (6), en algunos casos el uso de antibióticos es capaz de incrementar la tasa de crecimiento de los tejidos cultivados *in vitro*. Algunos autores (7) reportan que la utilización de antibióticos en grandes cantidades generalmente conduce a una fitotoxicidad, por que inhiben el crecimiento y desarrollo de plantas superiores. La contaminación por hongos en los medios de cultivo evaluados no mostró ser significativa tanto en el medio como en el explante. La propagación de plantas a través de la técnica de cultivo de tejidos se encuentra limitada por la presencia de microorganismos contaminantes ocasionada por hongos y bacterias, similar a lo propuesto por otros autores (8), en donde reportan que la contaminación bacteriana es un problema para el desarrollo de algunas especies *in vitro*, y ésta es la causa de una gran cantidad de fracasos. Tanto en los tratamientos evaluados de desinfección como en los de establecimiento resulto ser más efectivo el tratamiento que contenía antibiótico, aunque algunos autores (8), afirman que el empleo de antibióticos solamente se justifica, en casos de excepción y en cultivos de corta duración.



**Figura 4.** Establecimiento *in vitro* meristemos de plátano *Mussa spp* (similar comentario figura 1)

## CONCLUSIONES

El uso de antibióticos en la etapa de desinfección y el establecimiento de meristemas de plátano puede ser una alternativa en la eliminación de microorganismos que los explantes contraen tanto endógenos como exógenos. El Hipoclorito de sodio sigue siendo uno de los mejores desinfectantes usados en la técnicas de cultivo *in vitro*, evitando contaminaciones bajas por hongos y bacterias en los explantes. Para el establecimiento in vitro de plátano es necesario utilizar la Hormona BAP en combinaciones con auxina.

## REFERENCIAS

- Martínez G O, Tremont Y J, Hernández. Manual técnico para la propagación de Musáceas. 2004. Revista Digital Ceniap Hoy 4. Enero – Abril. Maracay, Venezuela. URL:www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n4/texto/gmartinez.htm (visitado el 28/12/2008).
- Usui K, Okabe K, Pernillo R, Ramírez A. Principios Básicos del Cultivo de Tejidos Vegetales. Guatemala ICTA/JOV. 1996. 1, 87 P.
- Rodríguez J. L. *et al.* Obtención y propagación de plantas de alcatraz *Zantedeschia sp.*. A partir del cultivo *in vitro* de yemas de bulbo. Memorias del III Congreso Nacional de Biotecnología. ANABAF. Chihuahua. México.1996. 50 p.
- Medero V, Del sol L, García M, López J, Ventura C, Rodríguez S. Metodología para la micropropagación del ñame (*Dioscorea alata L.*). Resúmenes BIOCAT-99, Granma, Cuba. 1999; 12 p.
- Marín A, Albarrán J G, Fuenmayor F, Dinaba Perdomo. Evaluación del efecto de los reguladores de crecimiento en la regeneración in vitro de cinco cultivares élites de yuca (*Manihot esculenta Crantz*). Revista Científica UDO Agrícola, ISSN-e 1317- 9152. 2009; 9(3): 556-562.
- Martínez Y M, Villegas M A, Villegas A, Tejacal I, Villegas O G, López V. Cultivo in vitro de pitayo (*Stenocereus stellatus* [Pfeiffer] Riccobono). Revista Chapingo. Ser.Hortic. Chapingo sep./dic. 2011; 17(3)
- Pereira G A, Ribeiro B V, Marcílio H C, Santaella M B. Desinfestação e estabelecimento in vitro de explantes de bananeira IAC 2001 em diferentes concentrações de hipoclorito de sódio. *Tecnologia e Ciência Agropecuária*. 2009. 3, 43.
- Hernández J, González M E. Efectos de la contaminación microbiana y oxidación fenólica en el establecimiento in vitro de frutales perennes. Cultivos Tropicales. La Habana. 2010; 31(4)

# CARACTERISITICAS FISICOQUÍMICAS DE LA HARINA DE PLÁTANO (*Musa Paradisiaca*) DOMINICO HARTON Y HARINA DE TRIGO COMERCIAL CON TENDENCIAS FUNCIONALES

PHYSICO-CHEMICAL FEATURES OF THE FLOUR OF PLANTAIN (*Musa Paradisiaca*) DOMINICO HARTON AND COMERCIAL WHEAT FLOUR WITH FUNCTIONAL TRENDS

Jairo MONTOYA L.<sup>1\*</sup>, Sneyder RODRIGUEZ -BARONA<sup>2</sup>, German GIRALDO G.<sup>3</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** Las raíces, tubérculos y frutos nativos presentan diferentes propiedades funcionales, comparadas con las harinas de fuentes convencionales y por lo tanto se estudian las nuevas aplicaciones en productos de importancia comercial y alimentos funcionales elaborados con productos no convencionales con alto valor nutritivo y con excelentes características organolépticas que promuevan una óptima nutrición que genere calidad de vida y el bienestar integral del individuo. **Objetivos:** Este trabajo, pretende investigar la harina de plátano (*Musa Paradisiaca*) dominico hartón y la harina de trigo comercial en sus características fisicoquímicas y funcionales y compararlas; buscando el desarrollo de alimentos funcionales. **Métodos:** Se trabajó con la variedad de Plátano (*Musa Paradisiaca*) Dominico Hartón AAB, procedente del municipio de Armenia Quindío y con la harina comercial que más se consume en el departamento; posteriormente se determinó la caracterización fisicoquímica mediante análisis proximal y la caracterización funcional mediante análisis de viscosidad rápida. La caracterización proximal se realizó por triplicado utilizando un diseño experimental completamente al azar. **Resultados:** El análisis proximal de la harina de plátano mostró: humedad 8,25%, cenizas 2,65%, proteína 3,01%, lípidos 0,18%, fibra cruda 1,73%, carbohidratos 84,18% y valor calórico 350,38 Kcal/100g y para la harina de trigo: humedad 12,60%, cenizas 1,06%, proteína 12,61%, lípidos

0,50%, fibra cruda 0,46%, carbohidratos 72,77% y valor calórico 346,02 Kcal/100g. Las harinas de plátano y trigo presentaron, viscosidades de 1132 cP y 825 cP, con temperaturas de empastamiento de 75,1 y 74,85°C; una viscosidad final de 1121 cP y 850 cP; Breakdown de 18 y 335 cP; Secback de 117 y 330 cP respectivamente. **Conclusiones:** La harina de plátano dominico hartón presenta características fisicoquímicas y funcionales atractivas que comparadas con la harina de trigo comercial, permiten su utilización en el diseño de alimentos funcionales, debido a su alto contenido nutricional, resaltando los contenidos de fibra, carbohidratos y minerales.

**Palabras clave:** Harina, Musáceas, plátano, caracterización.

## ABSTRACT

**Background:** The roots, tubers and native fruits have different functional properties compared with the meal of conventional sources and therefore explores the new applications in products of nutritional importance and commercial and Functional Foods and unconventional prepared with high nutritional value and excellent organoleptic characteristics that promote optimal nutrition that generates quality of life and the well-being of the individual. **Objectives:** This work intends to investigate the plantain flour (*Musa Paradisiaca*) Dominico Harton and the commercial wheat flour in their physico-chemical features and functional and compare them; looking for the development of functional

<sup>1</sup> Estudiante de Doctorado en Ingeniería, Programa de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia. Manizales. Colombia.

<sup>2</sup> PhD. En Ciencia y Tecnología de Alimentos, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia. Manizales. Colombia.

<sup>3</sup> PhD. En Ciencia y Tecnología de Alimentos, Programa de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Quindío. Armenia. Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: jmontoya@uniquindio.edu.co.

foods. **Methods:** We worked with the variety of banana (*Musa paradisiaca*) AAB Dominico Harton, from the municipality of Armenia Quindio and commercial flour most consumed in the department; later we determined the Physiochemical characterization by proximate analysis; the thermal characterization by differential scanning calorimetry and analysis termogravimétrico; the physical characterization by x-ray diffraction and functional characterization through analysis of viscosity fast. The proximal characterization was performed by using an experimental design tripled completely random. **Results:** The proximate analysis of the plantain flour showed: moisture 8.25%, Ash 2.65%, 3.01% protein, lipids 0.18%, crude fiber 1.73%, carbohydrates 84,18% and caloric value 350,38 kcal/100g and for wheat flour: moisture 12,60%, Ash 1.06%, protein 12.61%, lipids 0.50%, crude fiber 0.46%, carbohydrates 72,77% and caloric value 346,02 kcal/100g. The flours of banana and wheat presented, viscosities 1132 cP and 825 cP, with temperatures of empastamiento 75.1 and 74,85°C; a final viscosity of 1121 cP and 850 cP; breakdown of 18 and 335 cP; Secback 117 and 330 cP respectively. **Conclusions:** The plantain flour presents characteristics physicochemical and functional attractive for use in the design of functional foods by their behavior similar to that of the wheat flour allow its use in the design of functional foods, because of its high nutritional content, highlighting the content of fiber, carbohydrates and minerals

**Keywords:** Flour, bananas, banana, characterization.

## INTRODUCCIÓN

Los alimentos ricos en almidones son parte fundamental de la dieta del hombre desde la prehistoria, cambiando su manera de obtención con el transcurso del tiempo; el trigo un cereal rico en almidón, que ingerían nuestros antepasados era muy diferente en forma y calidad al de la harina de trigo que consumimos hoy en día, la refinación a la que es sometida la harina de trigo trae como consecuencia que el producto final sea un polvo blanco fino sin ningún valor nutricional, trayendo como consecuencia que la legislación exija a los productores enriquecer esta harina con vitaminas sintéticas (1). Esto ha permitido que actualmente se adelanten estudios que faciliten la incorporación en productos alimenticios, de materias primas no tradi-

cionales, provenientes de raíces, tubérculos, frutos y leguminosas las cuales pueden presentar diferentes propiedades funcionales a las de las harinas de fuentes convencionales (2); una de estas alternativas es la harina de plátano, la cual se convierte en una opción importante en el mercado de productos procesados. Este trabajo, pretende investigar la harina de plátano dominico hartón y la harina de trigo comercial en sus características fisicoquímicas, térmicas y funcionales y compararlas; buscando el desarrollo de alimentos funcionales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el caso del plátano se trabajó con la variedad Dominico Hartón AAB, procedente del municipio de Armenia Quindío, los racimos cosechados se cortaron en rodajas y se llevaron a una estufa a 40°C durante 48 horas, para después molerlas con el fin de obtener la harina. En el caso del trigo se utilizó una muestra de harina comercial a la cual se le aplicó la técnica del cuarteo.

### Análisis Proximal

El contenido de humedad, minerales y proteínas se determinó con la NTC 282, la fibra y la grasa se determinaron según la NTC 668, el contenido de carbohidratos se hace por diferencia y el valor calórico por cálculo, de acuerdo al siguiente aporte nutricional por gramo. Carbohidratos 4 kcal/g, grasas 9 Kcal/g y proteínas 4 Kcal/g. El análisis de viscosidad se realizó utilizando un analizador rápido de viscosidad RVA-4 (Viscoamilograma RVA Rapid Visco Analyser, Newport Scientific Narabeen, NSW, Australia), con perfil de temperatura de 50°C hasta 90°C incrementando 6°C/min., la temperatura se mantiene durante 5 minutos y luego se enfría hasta 50°C disminuyendo 6°C/min, en la preparación de las muestras se utilizó una suspensión al 8% de muestra en base seca en presencia de inhibidor de  $\alpha$ -amilasa (AgNO<sub>3</sub>; 0,002 mol/l).

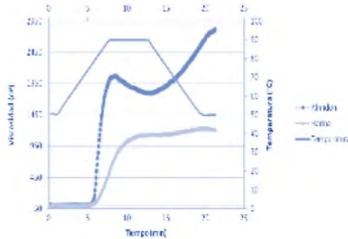
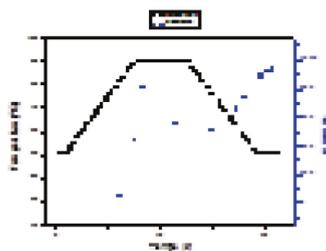
## RESULTADOS

La muestra los resultados de la caracterización fisicoquímica de la harina de plátano y la harina de trigo, para la primera se obtuvo un contenido de humedad de 8,25% y para el trigo 12,60%; los análisis de ceniza indican que la harina de plátano, presentó valores superiores a los de la harina de trigo 2,65% y 1,06% respectivamente.

**Tabla 1.** Análisis proximal de las harinas

	Harina Plátano	Harina de trigo
Humedad (%)	8,25±0,03	12,60±0,02
Ceniza (%)	2,65±0,03	1,06±0,03
Proteína (%)	3,01±0,02	12,61±0,01
Grasa (%)	0,18±0,001	0,50±0,002
Fibra cruda (%)	1,73±0,04	0,46±0,03
Carbohidratos (%)	84,18±0,04	72,77±0,04
Valor calórico (kcal/100 g)	350,38±0,04	346,02±0,04

La harina de plátano presentó un valor de 3,01% en proteína, mientras que la harina de trigo 12,61%; el contenido de grasa en la harina de plátano y la harina de trigo fue de 0,18% y 0,50% respectivamente, evidenciándose una cantidad menos de grasa en la harina de plátano; el porcentaje de fibra es mayor en la harina de plátano 1.73%, es mayor a l de la harina de trigo 0,46%; los resultados de carbohidratos y valor calórico en la harina de plátano son de 84,18% y 350,38 kcal/100g, respectivamente, valores que comparados con los de la harina de trigo son similares.

**Figura 1a.** Amilograma de Harina de Plátano**Figura 1b.** Amilograma de Harina de Plátano

Las figuras 1a y 1b presentan los amilogramas de la harina de plátano y de la harina de trigo. el análisis de viscosidad evidencio que en la harina de trigo la viscosidad máxima alcanzada fue de 825 cP, valor relativamente bajo (figura 4b) con una temperatura en pico de 74,85°C y un tiempo en pico de 5,13 min; la viscosidad máxima alcanzada por la

harina de plátano fue de 1132 cP (figura 4a) con una temperatura en pico de 89,9°C y un tiempo en pico de 12,47min, la viscosidad máxima de la harina de plátano es relativamente baja, Breakdown de 18 y 335 cP; Secback de 117 y 330 cP respectivamente.

## DISCUSIÓN

Los datos obtenidos para la humedad de la harina de plátano son menores a los de la harina de trigo y comparándolos con lo reportado en la literatura (3). (3,91 a 6,17%) para el plátano se encuentran diferencias significativas, mientras que para la harina de trigo son superiores a lo reportado por otros autores (4); los resultados del análisis de cenizas en la harina de plátano son similares con otras investigaciones (3), la harina de trigo reportó valores similares a otros trabajos (4, 5) esta cantidad reducida de minerales se debe a la perdida de la suplementación realizada según el decreto (1944 de 1996 por el cual se reglamenta la fortificación de la harina de trigo y se establecen las condiciones de comercialización, rotulado, vigilancia y control).

Se ha reportado que la harina de trigo tiene un alto contenido en proteína (11,97%) (5), y la harina de plátano muy bajo haciéndola un alimento libre de gluten y de fácil asimilación por el organismo. El análisis de fibra demostró que la harina de plátano tiene mayor cantidad que la harina de trigo, con valores similares a lo reportado en otras investigaciones (6). En cuanto al contenido de Grasa, carbohidratos y valor calórico no existen diferencias significativas entre las harinas analizadas, encontrándose que para la harina de plátano los carbohidratos y el valor calórico poseen valores superiores a lo reportado por otros investigadores (7). Los análisis de viscosidad presentaron valores por debajo de lo reportado (8) en harinas de diferentes variedades de plátano.

## CONCLUSIONES

La harina de plátano dominico hartón, presenta una ventaja nutricional comparativa con respecto a la harina de trigo comercial, resaltando los contenidos de fibra la cual es soluble e ideal para disminuir colesterol, regular el tránsito intestinal, y prevenir enfermedades gastrointestinales, los carbohidratos y el valor calórico que equivalen a un aporte energético aproximado del 3% de la cantidad diaria recomendada de calorías que necesita un adulto y minerales por presentar valores superiores a los de

la harina de trigo, debido a la presencia de potasio, magnesio, fósforo, zinc, y calcio haciéndola aceptable para utilizarla como matriz alimentaria base en el desarrollo de alimentos funcionales que prevengan o disminuyan enfermedades gracias al equilibrio de fibra, carbohidratos y micronutrientes (9, 10).

## REFERENCIAS

1. Decreto número 1944 de 1996 por el cual se reglamenta la fortificación de la harina de trigo y se establecen las condiciones de comercialización, rotulado, vigilancia y control. Octubre 28 de 1996.
2. Sandoval A, Imad F, Fernández A, Hill S. The influence of extrusion process conditions on extrudates from two colombian cassava (*Manihot esculenta* Crantz) starches. *Memorias IV Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica*. Morelia, Michoacán (Méjico). 2006.
3. Da Mota R V, Lajolo F M, Ciacco C, Cordenunsi B R et al, R. V.. Composition and Functional Properties of Banana Flour from Different Varieties. En: *Starch/Stärke* 2000. 52( 2-3): 63-68.
4. Wasiu A, Clara O, Bilkisu F. Acceptability and chemical composition of bread from beniseed composite flour. *Nutr. Food Sci.* 6. 2001: 310-313.
5. Benítez B, Archile A, Rangel L, Ferrer K., Márquez E, Barboza Y. Composición proximal, evaluación microbiológica y sensorial de una galleta formulada a base de harina de yuca y plasma de bovino. *Interciencia*. 2008 ene; .33(1).
6. Soto Azurduy V. S. 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. 2002. 2 p
7. Lehmann J, Silva Jr J P, Rondon M, Cravo M S, Greenwood J, Nehls T, Steiner C and Glaser B 2002 Slash-and-char – a feasible alternative for soil fertility management in the central Amazon? In *Proceedings of the World Congress of Soil Science, Thailand*. (In press). 2002.
8. Lucas J C, Díaz A, Dufour D. Caracterización físico-química y evaluación de las curvas de empastamiento de tres variedades de plátano: Hartón (*Musa AAB*), Cubano Blanco (*Musa AAB*), Cachaco (*Musa ABB*). En: *Memorias Reunión Internacional Acorbat, Medellín, Colombia 2000*: 412 p
9. VALERA, Jorge. Harina de plátano. [En línea]. Lima, Perú: [s.n]. [Citado el 19 de septiembre de 2009]. Url disponible en:[http://www.medicinasnaturistas.com/harina\\_platano\\_anorexia\\_ar-dor\\_estomago\\_caida\\_cabello\\_colesterol\\_diarrea\\_gastritis.php](http://www.medicinasnaturistas.com/harina_platano_anorexia_ar-dor_estomago_caida_cabello_colesterol_diarrea_gastritis.php)
10. LICATA, Marcela. El fosforo en la nutrición. [En línea]. [Citado 7 de agosto de 2009]. Url disponible en:<http://www.zonadiet.com/nutricion/fosforo.htm>

# DETERMINACIÓN DE LA DIFUSIVIDAD DE HUMEDAD Y EL COEFICIENTE CONVECTIVO EN FRITURA POR INMERSIÓN DE PLÁTANO (*MUSA PARADISIACA AAB*)

DETERMINATION OF MOISTURE DIFFUSIVITY AND THE CONVECTIVE COEFFICIENT IN DEEP-FAT FRYING PLANTAIN (*MUSA PARADISIACA AAB*)

Mario Humberto MARÍN MARÍN Ing. Alimen<sup>1\*</sup> Francisco Javier CASTELLANOS GALEANO Ph.D<sup>2</sup>, Lorenzo Julio MARTÍNEZ HERNÁNDEZ M.Sc.<sup>3</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** En la fritura por inmersión ocurren los procesos simultáneos de transferencia de calor y masa. La transferencia de calor se da por convección entre el aceite y la superficie del alimento, y por conducción dentro del alimento. La cantidad de esta transferencia está influenciada por las propiedades térmicas del alimento y estas pueden cambiar durante el proceso. La transferencia de materia durante la fritura se caracteriza, principalmente por el movimiento del vapor de agua del alimento al aceite, y por el movimiento del aceite al alimento, causada por la transferencia de calor del aceite al alimento, por tal motivo es necesario describir ambos fenómenos juntos. **Objetivo:** determinar los parámetros de transferencia de masa y energía en el proceso de fritura por inmersión de plátano (*Musa Paradisiaca AAB*) en condiciones de vacío y atmosférica. **Métodos:** se utilizó plátano Dominico Hartón el cual fue adecuado a 29,4 mm  $\pm$  0.07 mm de diámetro y 7 mm de espesor, sometido a fritura por inmersión a dos presiones diferentes (9 y 78 kpa) utilizando una misma diferencia de temperatura entre el medio de fritura y la temperatura de ebullición del agua.  $h$  y  $D$  se determinaron usando la solución de la segunda ley de Fick para geometría de placa plana. **Resultados:** Los resultados obtenidos a presión de 9 kpa para  $h$  estuvieron entre 31,493 y 1116,511  $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  y para  $D \times 10^9$  entre 8,6268 y 18,3353  $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ , mientras que a la presión de 78 kpa

$h$  entre 460,953 y 1242,59  $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  y  $D \times 10^9$  entre 10,3931 y 64,115  $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ , mostrando un incremento a medida que aumenta la temperatura del medio de fritura para ambos parámetros de transferencia. Una relación tipo Arrhenius fue empleada para representar la dependencia de la temperatura con la difusividad de humedad. **Conclusiones:** Los datos obtenidos fueron comparados con otros autores encontrando coincidencias en cuanto a la difusividad pero diferencias en el coeficiente de transferencia de calor por convección, lo que se puede explicar dado a que diferentes autores obtienen valores máximos de  $h$ , los cuales se presentan a menor tiempo a medida que la temperatura del medio de fritura aumenta.

**Palabras clave:** Fritura, coeficiente convectivo de transferencia de calor, difusividad de humedad.

## ABSTRACT

**Background:** In deep-fat frying concurrent processes of heat and mass transfer occur. Heat transfer occurs by convection between the oil and the food surface, and by conduction within the food. The amount of this transfer is influenced by the thermal properties of food and these may change during the process. Mass transfer during frying is mainly characterized by the movement of water vapor from the feed oil and by the movement of oil to the food, caused by heat transfer oil to the feed, as such it is necessary to describe both phenomena together. **Objective:** To determine

<sup>1</sup> Estudiante Maestría en Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingenierías Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

<sup>2</sup> Profesor Asociado, Director Maestría en Ingeniería de Alimentos, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingenierías, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

<sup>3</sup> Profesor Asociado, Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia francisco.castellanos@ucaldas.edu.co

the parameters of mass and energy transfer in the process of deep frying plantain (*Musa Paradisiaca* AAB) under vacuum and atmospheric. **Methods:** It was used Dominico Harton bananas which was adequate to  $29.4 \text{ mm} \pm 0.07 \text{ mm}$  in diameter and  $7 \text{ mm}$  thick, deep-frying under two different pressures (9 and 78 kPa) using the same temperature difference between the frying medium and the boiling point of water.  $h$  and  $D$  were determined using the solution of Fick's second law for flat plate geometry. **Results:** The results obtained pressure of 9 kPa for  $h$  and ranged from  $31.493$  to  $1116.511 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  and  $D \times 10^9$  between  $8.6268$  and  $18.3353 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ , while the pressure of 78 kPa  $h$  between  $460.953$  and  $1242.59 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  and  $D \times 10^9$  between  $10.3931$  and  $64.115 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ , showing an increase with increasing temperature of the frying medium to transfer both parameters. An Arrhenius type relationship was used to represent the dependence on temperature with moisture diffusivity. **Conclusions:** The data obtained were compared with others authors finding matches in terms of diffusivity but differences in the coefficient of heat transfer by convection, which can be explained given that different authors obtain maximum values of  $h$ , which are presented shortest time as the temperature of the frying medium increases.

**Keywords:** Frying, convective heat transfer coefficient, moisture diffusivity.

## INTRODUCCIÓN

En el proceso de fritura por inmersión, hay dos transferencias de masas importantes: la transferencia de la humedad y la transferencia de grasa. Estos mecanismos de transferencia de masa ocurren junto con el proceso de transferencia de calor. En el proceso de fritura, la transferencia de calor hace que el agua en la superficie del producto se evapore e induce que el agua de adentro migre a la superficie. Al mismo tiempo, la superficie permeable provoca que la grasa penetre en el producto. (1) señalaron que la pérdida de humedad se produce por el gradiente de difusión entre la superficie seca y el núcleo húmedo de los alimentos, y el gradiente de presión creado por la evaporación de la humedad interior. En los productos fritos se crea una capa protectora (costra) que reduce al mínimo la pérdida de humedad y absorción de aceite. Durante la fritura, el agua libre en la superficie de las patatas fritas se evapora rápidamente, la superficie se vuelve seca y la humedad interior se convierte en vapor, lo que crea

un gradiente de vapor (2). A medida que aumenta la temperatura de fritura, el contenido de humedad para el tiempo de fritura mismo disminuye, ya que un aumento de la temperatura resulta en una mayor energía cinética de las moléculas de agua que lleva a una pérdida de humedad más rápido en forma de vapor, lo que finalmente reduce el contenido de humedad del producto. A medida que avanza la fritura, (3) encontraron que  $h$  aumenta a un valor máximo y luego disminuye. Por lo tanto,  $h$  incrementa con la pérdida de agua. La fritura es uno de los procesos más antiguos en la preparación de alimentos, se remonta a los años 1600 A.C, aunque algunos autores creen que la fritura se usa desde el año 3000 A.C. (4). Algunos de los productos fritos que se consumen pueden ser típicos o tradicionales, pero un producto que es consumido a nivel mundial y se podría decir el más famoso, son las papas fritas, también conocidas como "Papas a la Francesa" (5). El proceso de fritura puede realizarse de dos formas, de manera superficial o por inmersión. La temperatura del aceite normalmente está por encima del punto de ebullición del agua, lo que hace que el producto alimenticio pierda humedad debido a la evaporación (6, 7). En la fritura por inmersión ocurren los procesos simultáneos de transferencia de calor y masa. La transferencia de calor se da por convección entre el aceite y la superficie del alimento, y por conducción dentro del alimento. La cantidad de esta transferencia está influenciada por las propiedades térmicas del alimento y estas pueden cambiar durante el proceso. La transferencia de materia durante la fritura está caracterizada, principalmente por el movimiento del vapor de agua del alimento al aceite, y por el movimiento del aceite al alimento. Ésta transferencia de masa es causada por la transferencia de calor del aceite al alimento, por tal motivo es necesario describir ambos fenómenos juntos. El presente trabajo tiene como objetivo determinar los parámetros de transferencia de masa y energía en el proceso de fritura por inmersión de placas circulares de plátano (*Musa Paradisiaca* AAB) en condiciones de vacío (9kpa) y atmosférica (78kpa).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó plátano variedad Dominico Hartón (AAB) cosechada en la granja Montelindo de la Universidad de Caldas (vereda Santágueda, municipio de Palestina,  $22,8^{\circ}\text{C}$ ,  $2200 \text{ mm/año}$ , humedad relativa de 76%,  $1010 \text{ m.s.n.m}$ ) Departamento de

Caldas, Colombia (8), con un contenido de agua de  $58.7 \pm 3.2\%$ , y con sólidos solubles del plátano de  $14 \pm 6$  °Brix. Los plátanos fueron pelados manualmente y cortados en rodajas de 7 mm de espesor en una tajadora manual marca Omega, con la ayuda de un sacabocado en acero inoxidable, se ajustó el diámetro de las rodajas a un valor de  $29,4 \text{ mm} \pm 0.07 \text{ mm}$  de diámetro, la relación plátano-aceite fue de  $6,67 \pm 1 \text{ g/L}$  (9). El aceite utilizado, fue una mezcla de aceites vegetales refinados de soya y oleína de palma con antioxidante (TBHQ). Las frituras se realizaron en un equipo con una capacidad de 10 litros, que consta de tres termocuplas para registrar temperaturas internas las cuales fueron ubicadas en el centro geométrico de las rodajas de plátano, otra termocupla para registrar la temperatura del medio de fritura, un tablero de control automatizado, una bomba de vacío y software a la medida capaz de controlar y registrar las condiciones de trabajo necesarias. La fritura se desarrolló a presión atmosférica (78Kpa) y a presión de vacío (9Kpa). Una vez preparadas las muestras se montaron en el portamuestras del equipo de fritura y se sumergieron cuando el medio de fritura alcanzó las temperaturas de 140, 160 y 180 °C, para presión atmosférica y 90, 110 y 130°C para presión de vacío, por un tiempo de 1000 segundos para ambas presiones. A las muestras extraídas de la freidora se les retiró el exceso de aceite superficial con papel absorbente. Las rodajas se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente (18°C), se empacaron en bolsas Ziploc apropiadamente rotuladas y posteriormente fueron colocadas en un desecador antes de su respectivo análisis el cual se hizo por triplicado.

El coeficiente de transferencia de calor se determinó partiendo de la solución de la ecuación diferencial de calor por conducción para coordenadas cartesianas, ecuación (1), usando la condición de frontera descrita en la ecuación (2) (10).

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}, 0 \leq x \leq L \text{ para } t > 0 \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial x}(0, t) &= 0 & -k \frac{\partial T}{\partial x}(L, t) &= h(T_{(L,t)} - T_{oil}) \\ T_{(L,0)} &= T_i \end{aligned} \quad \text{Ecuación (2)}$$

La solución de la de ecuación se da en forma de serie infinita y explica la temperatura en cualquier ubicación de dentro de la placa infinita como función del tiempo.

$$\left( \frac{T(x,t) - T_{oil}}{T_i - T_{oil}} \right) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \sin \mu_n}{\mu_n + \sin \mu_n \cos \mu_n} x \cos \left( \mu_n \frac{x}{L} \right) \exp \left( -\mu_n^2 \frac{\alpha t}{L^2} \right) \quad \text{Ecuación (3)}$$

Para números de Fourier  $\left( \frac{\alpha t}{L^2} \right)$  superiores a 0,1, se usa sólo el primer término de la ecuación (3) obteniendo resultados bastante precisos (11). La forma reducida de la ecuación (3) puede ser usada para obtener una solución de una geometría de placa infinita.

$$\left( \frac{T(x,t) - T_{oil}}{T_i - T_{oil}} \right) = \frac{2 \sin \mu_1}{\mu_1 + \sin \mu_1 \cos \mu_1} \exp \left( -\mu_1^2 \frac{\alpha t}{L^2} \right) \quad \text{Ecuación (4)}$$

La solución de la ecuación (4) se realiza a través de una regresión no lineal graficando  $\left( \frac{T(x,t) - T_{oil}}{T_i - T_{oil}} \right)$  contra el tiempo utilizando el software matemático Matlab versión 7.8. Una vez determinado y con las propiedades termofísicas del plátano (12), Conductividad térmica,  $k = 2469 \text{ W/mK}$ , Densidad,  $\rho = 1190.5 \text{ kg/m}^3$  (método desplazamiento de agua) y Calor específico,  $C_p = 2469 \text{ J/kg K}$ , asumidas como constantes, se determina el coeficiente convectivo de transferencia de calor  $h$  usando el número adimensional de *Biot* para transferencia de calor descrito en la ecuación (5 y 6).

$$Bi_h = \mu_1 \tan \mu_1 \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$Bi_h = \frac{hL}{k} \quad \text{Ecuación (6)}$$

El contenido de humedad se determinó según método oficial AOAC 930.15, en un horno convencional natural marca Binder, modelo ED053-UL. Se utilizaron las mismas temperaturas y presiones que para la determinación de  $h$  pero se tomaron muestras cada 50 segundos hasta llegar a 1000 segundos. La ecuación que relaciona la humedad como una función del tiempo y de la posición resulta de resolver la segunda ley de Fick, ecuación (7), con las condiciones de frontera descritas en la ecuación (8) (10).

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} &= \frac{1}{D} \frac{\partial c}{\partial t}, \\ 0 \leq x \leq L \text{ para } t > 0 \end{aligned} \quad \text{Ecuación (7)}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial x}(0, t) &= 0 \\ -D \frac{\partial C}{\partial x}(L, t) &= K_c C_{(L,t)} - C_\infty \\ C_{(L,0)} &= C_i \end{aligned} \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$\begin{aligned} \left( \frac{C(x,t) - C_\infty}{C_i - C_\infty} \right) &= \\ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \sin \mu_n}{\mu_n + \sin \mu_n \cos \mu_n} & \\ x \cos \left( \mu_n \frac{x}{L} \right) \exp \left( -\mu_n^2 \frac{Dt}{L^2} \right) & \end{aligned} \quad \text{Ecuación (9)}$$

Tomando solo el primer término de la solución de la serie infinita obtenida en la ecuación (9), para tiempos de procesamiento largos e integrando a través de todo el volumen de la rodaja ( $\frac{1}{V} \int_0^V C(x,t) dV$ ), y como  $C_\infty$  es el contenido de humedad del medio de fritura que se asume como 0, se obtiene la ecuación (10).

$$\left( \frac{\bar{C}(t)}{C_i} \right) = \frac{2 \sin^2 \mu_1}{\mu_1 [\mu_1 + \sin \mu_1 \cos \mu_1]} \exp \left( -\mu_1^2 \frac{Dt}{L^2} \right) \quad \text{Ecuación (10)}$$

Donde  $\bar{C}$  es el promedio de la humedad en un cierto tiempo.

La solución de la ecuación (10) se realiza a través de una regresión no lineal graficando  $\left( \frac{\bar{C}(t)}{C_i} \right)$  contra el tiempo utilizando el software matemático Matlab versión 7.8. Después de obtener la raíz positiva de  $\mu_1$ , se determinó la difusividad de humedad ( $D$ ) usando el número adimensional de Biot para transferencia de masa descrito en la ecuación (11) y (12)

$$Bi_m = \mu_1 \tan \mu_1 \quad \text{Ecuación (11)}$$

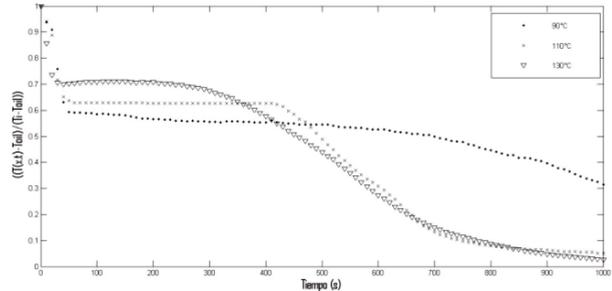
$$Bi_m = \frac{DL}{k} \quad \text{Ecuación (12)}$$

Por medio de una ecuación tipo Arrhenius se determina la dependencia de la difusividad de humedad con la temperatura, ecuación (13).

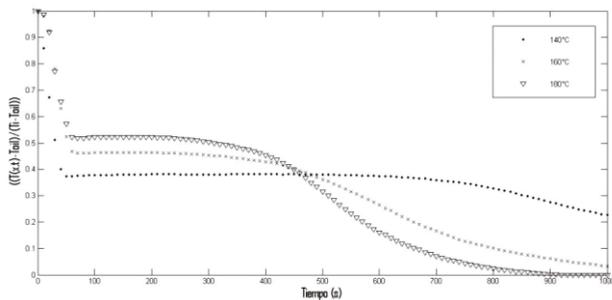
$$D = D_0 \exp \left( -\frac{E_a}{RT} \right) \quad \text{Ecuación (13)}$$

## RESULTADOS

**Tabla 1.** Perfiles adimensionales vs tiempo

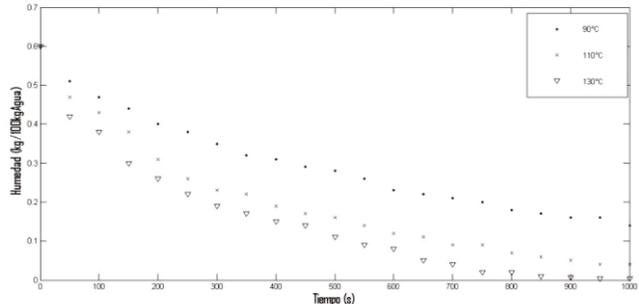


**Figura 1.** Temperatura a presión de 9 kpa

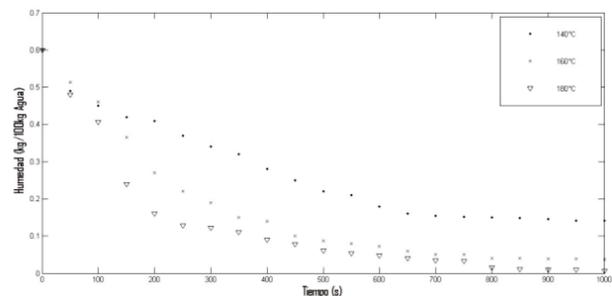


**Figura 2.** Temperatura a presión de 78 kpa

**Tabla 2.** Perfiles de humedad vs tiempo



**Figura 3.** Perfil de humedad a presión de 9 kpa



**Figura 4.** Perfil de humedad a presión de 78 kpa

**Tabla 3.** Valores del número de Biot y del coeficiente convectivo de transferencia de calor y la difusividad de humedad

Presión (kpa)	Temperatura del aceite (°C)	Bi	$h$ (W/m <sup>2</sup> K)	Bi	$D \times 10^9$ (m <sup>2</sup> /s)
9	90	8,683	1116,511	7,2956	8,6268
	110	3,802	488,794	6,8915	16,6141
	130	0,245	31,493	17,8849	18,3353
78	140	9,665	1242,590	7,0036	10,3931
	160	6,178	794,335	3,0995	31,4400
	180	3,585	460,953	1,4974	64,1105

$h$ : Coeficiente convectivo de transferencia de calor.  $D$ : Difusividad de humedad. Bi: Número de Biot.

La energía de activación ( $E_a$ ) fue de 70,9424 kJ/kmol ( $R^2=0,9905$ ) para la presión de 78 kpa y de 23,2 kJ/kmol ( $R^2=0,8673$ ) para la presión de 9 kpa, obteniéndose las ecuaciones 14 y 15 para la difusividad de humedad dependiente de la temperatura a las presiones respectivas.

$$D = 10,347 \exp \frac{-8532,4}{T} \quad \text{Ecuación (14)}$$

$$D = 2,04 \times 10^{-5} \exp \frac{-2790,3}{T} \quad \text{Ecuación (15)}$$

## DISCUSIÓN

Durante el proceso de fritura el alimento incrementa su temperatura interior hasta alcanzar el punto de ebullición del agua, el cual es levemente superior al del agua pura, debido a la presencia de sólidos solubles (13). Una vez que se encuentra en este punto, la temperatura se mantiene hasta que el alimento se encuentra seco (14), después incrementa hasta alcanzar la temperatura del medio de fritura. Al graficar la temperatura adimensional contra el tiempo se ve que esta disminuye con forme el tiempo de fritura va aumentando (Figuras 1 y 2). Para el cálculo del coeficiente convectivo de transferencia de calor  $h$  se hizo una regresión no lineal de la zona de la gráfica que permaneció constante por más tiempo, de acuerdo a la metodología descrita. Los valores de  $h$  a diferentes temperaturas y a las presiones de trabajo se presentan en la Tabla 3, los cuales coinciden con lo reportado por otros autores (10), aunque difiere de lo hallado por (15, 16, 17). A medida que el plátano se va calentando forma costra, la cual se convierte en una barrera para la salida del agua. Una vez toda el agua libre ha abandonado

el alimento éste se convierte totalmente en costra y llega a una humedad constante (Figuras 3 y 4). La difusividad de humedad se determinó como se explicó en la metodología y sus valores son presentados en la Tabla 3. La difusividad  $D$  presentó un aumento coincidiendo por lo encontrado por (18, 10, 19, 20, 17 17, 21, 22).

## CONCLUSIÓN

En el presente trabajo se determinaron los parámetros de transferencia de energía y materia en el proceso de fritura por inmersión de placas circulares de plátano (*Musa Paradisiaca* AAB). La metodología usada se basó en los cálculos de la temperatura y la humedad dependientes del tiempo. Los datos obtenidos fueron comparados con otros autores encontrando coincidencias en cuanto a la difusividad pero diferencias en el coeficiente de transferencia de calor por convección, lo que se puede explicar dado a que diferentes autores obtienen valores máximos de  $h$ , los cuales se presentan a menor tiempo a medida que la temperatura del medio de fritura aumenta (23).

## REFERENCIAS

- Gamble MH, Rice P, Selman JD. Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from c.v. Record U.K. tubers. *International Journal of Food Science and Technology* 1997; 22: 233-241.
- Farinu A, Baik O-D. Deep fat frying of foods—Transport Phenomena. *Food Reviews International*. 2005; 21(4): 389-410.
- Costa RM, Oliveira FA, Delaney O, Gekas V. Analysis of the heat transfer coefficient during potato frying. *Journal of Food Engineering*. 1999; 39(3): 293-9.
- Stier RF. Frying as a science—an introduction. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2004;106(11): 715-21.
- Sumnu SG, Sahin S. *Advances in deep-fat frying of foods*: CRC Press; 2008.
- Gupta MK, Warner K, White PJ. *Frying technology and practices*: AOCS Press; 2004.
- Wang Y. *Heat and mass transfer in deep fat frying of breaded chicken nuggets*: McGill University; 2005.
- Guzmán O, Castaño J. Reconocimiento de nematodos fitopatógenos en plátanos Dominico Hartón (*Musa* AAB Simmonds), África, FHIA-20 y FHIA-21 en la granja Montelindo, municipio de Palestina (Caldas), Colombia. *Rev Acad Col Cien Ex Fís Nat*. 2004; 28(107): 205-32.
- Da Silva PF, Moreira RG. Vacuum frying of high-quality fruit and vegetable-based snacks. *LWT - Food Science and Technology*. 2008 12//;41(10):1758-67.
- Yıldız A, Koray Palazoğlu T, Erdoğdu F. Determination of heat and mass transfer parameters during frying of potato slices. *Journal of Food Engineering*. 2007; 79(1): 11-7.
- Crank J. *The mathematics of diffusion*: Oxford university press; 1975.
- Rahman MS. *Food properties handbook*: CRC press; 2008.
- Budžaki S, Šeruga B. Determination of convective heat transfer coefficient during frying of potato dough. *Journal of Food Engineering*. 2005; 66(3): 307-14.

14. Claeys WL, De Vleeschouwer K, Hendrickx ME. Quantifying the formation of carcinogens during food processing: acrylamide. *Trends in Food Science & Technology*. 2005; 16(5): 181-93.
15. Hubbard LJ, Farkas BE. A method for determining the convective heat transfer coefficient during immersion frying. *Journal of Food Process Engineering*. 1999; 22(3): 201-14.
16. Farinu A, Baik O-D. Heat transfer coefficients during deep fat frying of sweetpotato: Effects of product size and oil temperature. *Food Research International*. 2007 10//; 40(8): 989-94.
17. Alvis A, Cortés LE, Páez M. Transferencia de Calor y Materia durante la Fritura de Trozos de Ñame (*Dioscórca alata*). *Información tecnológica*. 2009; 20(1): 99-109.
18. Sosa-Morales ME, Orzuna-Espíritu R, Vélez-Ruiz JF. Mass, thermal and quality aspects of deep-fat frying of pork meat. *Journal of Food Engineering*. 2006 12//; 77(3): 731-8.
19. Bravo J, Sanjuán N, Ruales J, Mulet A. Modeling the dehydration of apple slices by deep fat frying. *Drying Technology*. 2009; 27(6): 782-6.
20. Troncoso E, Pedreschi F. Modeling water loss and oil uptake during vacuum frying of pre-treated potato slices. *LWT - Food Science and Technology*. 2009 7//; 42(6): 1164-73.
21. Dehghan Nasiri F, Mohebbi M, Tabatabaee Yazdi F, Haddad Khodaparast MH. Kinetic modeling of mass transfer during deep fat frying of shrimp nugget prepared without a pre-frying step. *Food and Bioprocesses Processing*. 2011 7//; 89(3): 241-7.
22. Mosavian MTH, Karizaki VM. Determination of Mass Transfer Parameters During Deep Fat Frying of Rice Crackers. *Rice Science*. 2012 3//; 19(1): 64-9.
23. Mir-Bel J, Oria R, Salvador ML. Influence of temperature on heat transfer coefficient during moderate vacuum deep-fat frying. *Journal of Food Engineering*. 2012 11//; 113(2): 167-76.

# INFLUENCIA DE UN PRETRATAMIENTO OSMÓTICO SOBRE LA CALIDAD FÍSICA DEL MELÓN CONGELADO POR IQF Y SU EVALUACIÓN EN ALMACENAMIENTO

INFLUENCE OF AN OSMOTIC PRETREATMENT ON THE PHYSICAL QUALITY OF FROZEN CANTALOUPE FOR IQF AND YOUR EVALUATION IN STORAGE

CASTELLANOS-BASTIDAS, L.H.<sup>1\*</sup>, MURILLO-VILLADA, K.<sup>1</sup>, ORTEGA-VILLALBA, K.J.<sup>2</sup>, VÉLEZ-PASOS, C.A.<sup>3</sup>, AYALA-APONTE, A.A.<sup>4</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** La congelación es uno de los mejores métodos de conservación de alimentos. Sin embargo, algunos alimentos como las frutas y vegetales después de la congelación-descongelación, presentan cambios bruscos y daños irreversibles en la calidad en términos de pérdida de fase líquida (PFL), color y en algunos casos alteraciones indeseadas de sabores y aromas. Como alternativa para disminuir el deterioro durante el almacenamiento en congelación, se utiliza deshidratación osmótica (DO) como pretratamiento, ya que reduce el agua congelable de la fruta obteniendo mejores características finales en la congelación-descongelación. El método congelación rápida individual (IQF) es una de las mejores técnicas de congelación, pero también se han encontrado problemas de calidad en frutas. Por consiguiente, el método combinado DO+IQF es una excelente alternativa para mejorar o reducir pérdidas de calidad en frutas y vegetales congelados con alto contenido de humedad. **Objetivos:** El propósito de este trabajo fue evaluar la influencia de un pre-tratamiento osmótico sobre la PFL y el color ( $L^*$ ,  $C^*$  y  $H^*$ ) durante el almacenamiento de melón por IQF. **Métodos:** Las muestras se deshidrataron en una solución osmótica con 65 °Brix de sacarosa comercial a 30 0,2°C, posteriormente se congelaron por IQF a -30°C con una velocidad del aire de 4 m/s y se almacenaron durante 1 y 20 días a -18°C. Como muestra control se empleó fruta fresca

congelada por IQF sin pretratamiento osmótico. La PFL se determinó por diferencia de peso empleando una balanza analítica, y los parámetros de color se midieron con un colorímetro. **Resultados:** En todos los tratamientos se incrementó la PFL durante el almacenamiento en congelación, sin embargo las muestras tratadas con DO mostraron las menores pérdidas. Con respecto al color, los tratamientos con DO presentaron menores pérdidas en términos de luminosidad y pureza de color. La tonalidad de la fruta no fue afectada por ningún factor. **Conclusiones:** La DO como pretratamiento al proceso de congelación por IQF benefició la retención de la fase líquida y la disminución del cambio de color en muestras melón durante el tiempo de almacenamiento.

**Palabras clave:** Cucumis melo, deshidratación osmótica, I.Q.F., almacenamiento de alimentos, calidad.

## ABSTRACT

**Background:** Freezing is one of the best methods of food conservation. Nevertheless, products such as fruits and vegetables, after the freezing-defrosting, present some sharp changes and irreversible loss of quality such as the drip loss (DL), color, and in some cases loss of flavor and aroma. An alternative to diminish the inferior quality of fruits and vegetables during the storage in freezing is the application of the osmotic dehydra-

<sup>1</sup> Estudiante Ingeniería de Alimentos, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle. Cali, Colombia.

<sup>2</sup> Estudiante de Maestría en Ingeniería de Alimentos, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle. Cali, Colombia.

<sup>3</sup> Profesor Titular Ph.D. en Ingeniería de Alimentos, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle. Cali, Colombia.

<sup>4</sup> Profesor asociado. Ph.D. en Ciencia y tecnología de los alimentos, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: luis.castellanos@correounivalle.edu.co

tion (OD) as pretreatment, since this process reduce the freezable water of the fruit, obtaining better final characteristics of quality in the frozen-defrosted product. The method of individually Quick Frozen (IQF) is one of the best freezing techniques, but there has also been found quality problems in fruits. Consequently, the combined method OD+IQF is an excellent alternative to improve or reduce the loss of quality of frozen fruits and vegetables with high moisture content. **Objectives:** The purpose of this study was to evaluate the effect of an osmotic pretreatment on the drip loss (DL) and the color ( $L^*$ ,  $C^*$  and  $H^*$ ) during the storage of melon for IQF. **Methods:** The samples were dehydrated in an osmotic solution of 65°Brix of sucrose at 30 0,2°C. Afterwards, they were frozen by IQF to -30°C with an airspeed of 4 m/s and they were stored for 1 to 20 days at -18°C. The control sample was frozen fresh fruit frozen by IQF without osmotic pretreatment. DL was determined by weight difference using an analytic balance, and color parameters were measured with a colorimeter. **Results:** In all treatments DL increased during the storage in freezing; however, the samples treated with OD showed lower losses. With regard to color, the treatments with OD presented lower loss in terms of lightness and color pureness. The hue of the fruit was not affected by any factor. **Conclusions:** The OD as a freezing pretreatment for IQF benefited the retention of the liquid phase and the decrease in the change of color on the melon sample over the period of storage.

**Keywords:** Cucumis melo, osmotic dehydration, I.Q.F., food storage, quality.

## INTRODUCCIÓN

El melón es una de las frutas tropicales más conocidas y demandadas por los países desarrollados, sin embargo, debido a su alto contenido de humedad es altamente perecedero (1). La DO consiste en sumergir un alimento ya sea entero o en trozos en soluciones hipertónicas, promoviendo en simultáneo la pérdida de agua y la penetración de solutos en el alimento con condiciones de tiempo-temperatura específicas (2), además es un proceso ampliamente utilizado para remover parte del contenido de agua de la fruta, con el fin de obtener un producto de humedad intermedia o como un pretratamiento antes de un procesamiento posterior, como la congelación (3). La congelación por IQF emplea altas

velocidades de congelación favoreciendo la formación de pequeños cristales durante el proceso, que reduce el daño en el tejido vegetal y por ende las pérdidas de calidad durante la descongelación. La osmocongelación o deshidrocongelación es uno de los procesos combinados que se presenta como una alternativa tecnológica de gran interés para obtener productos congelados de buena calidad, buscando contrarrestar el efecto dañino de la congelación, incluso en tejidos muy delicados como frutas y vegetales (4), además se ha evidenciado en la literatura que cuando se aplica la DO como un pretratamiento para la congelación se ha disminuido la pérdida de calidad. Así lo confirma varios autores (12, 6, 11) que obtuvieron resultados favorecedores en el melón. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de un pretratamiento osmótico sobre la PFL y el color en términos de  $\Delta L^*$ ,  $\Delta C^*$  y  $\Delta H^*$  durante el almacenamiento de melón congelado por IQF.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleó melón variedad Cantaloupe (*Cucumis melo* var. *Cantalupensis*) con un contenido de humedad inicial de  $91,88 \pm 0,5\%$  (b.h). Las muestras se cortaron en cilindros de 1,5 cm de alto y 2 cm de diámetro, y se deshidrataron en una solución osmótica (SO) de sacarosa a 65°Brix a  $30 \pm 0,2^\circ\text{C}$  con una relación SO-fruta de 20:1 y agitación constante de 1000rpm con un agitador mecánico (DSL Overhead Scientifica, USA) para evitar el fenómeno de enconstramiento por efecto del azúcar en la superficie de la muestra. La DO se realizó durante 70 min hasta alcanzar un contenido de humedad (CH) de  $80,0 \pm 0,3\%$  (b.h). Después de este proceso se eliminó el exceso de solución de la fruta utilizando agua destilada y papel absorbente. Las muestras control y las pre-tratadas osmóticamente se almacenaron por 12 h a 5°C previamente a la congelación. Una vez las muestras congeladas por IQF a -30°C con velocidad de congelación de 4m/s, se empacaron en bolsas plásticas resellables y se almacenaron a -18°C por 1 y 20 días en una nevera comercial. Las muestras se descongelaron a 8°C por 16 h para evitar la presencia de hielo (5,6).

La PFL, se determinó mediante la diferencias de peso de las muestras, antes y después del proceso de congelación-descongelación (Ecuación 1), para ello se utilizó una balanza analítica (Mettler Toledo AB204-S/FACT), con precisión de 0,0001 g.

$$\% PFL = \frac{m_f - m_o}{m_o} \times 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:  $m_o$  es el peso de la muestra antes de congelar y  $m_f$  es peso de la muestra después de congelar-descongelar.

El color se midió a través del espectro de reflexión, mediante un ColorFlex (Hunterlab, Reston, VA, USA), obteniendo las coordenadas CIE- $L^*a^*b^*$ , donde  $L^*$  es luminosidad o claridad,  $a^*$  es coloración entre rojo-verde y  $b^*$  coloración entre amarillo-azul (7). A partir de estas coordenadas, se estimaron la tonalidad ( $H^*$ ) y el croma ( $C^*$ ), mediante las Ecuaciones 2 y 3, respectivamente.

$$H^* = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Posteriormente se calculó el cambio de luminosidad ( $\Delta L^*$ ), cambio del tono ( $\Delta H^*$ ) y el cambio de croma ( $\Delta C^*$ ) de manera similar a la realizada para la PFL (Ecuación 1).

## RESULTADOS

La figura 1 representa la PFL de las muestras de melón con y sin DO los días 1 y 20 de almacenamiento, observándose en todos los tratamientos el incremento de PFL durante el tiempo de almacenamiento, sin embargo las muestras tratadas con DO fueron las de menor pérdida de fase líquida.

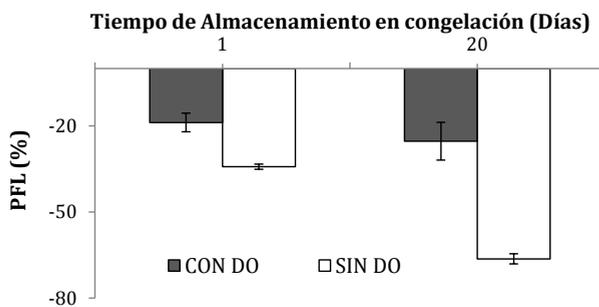


Figura 1. PFL del melón

La figura 2 muestra el cambio de luminosidad de las muestras de melón durante el almacenamiento en congelación. Las muestras no presentaron cambios significados ( $p > 0.05$ ) por efecto del almacenamiento, mientras que el tipo de tratamiento si fue significativo ( $p < 0.05$ ).

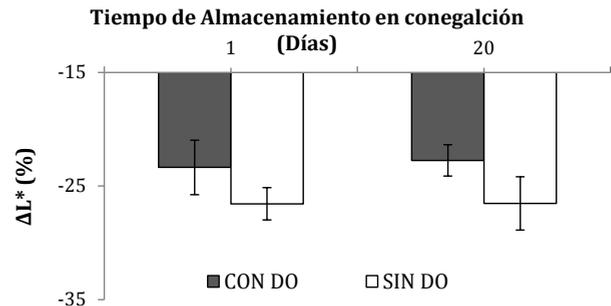


Figura 2. Cambio de luminosidad del melón

Los cambios de pureza de color o croma durante el almacenamiento en congelación se presentan en la figura 3. El tiempo de almacenamiento no influyó significativamente ( $p > 0.05$ ) sobre la pureza de color en ningún tratamiento, sin embargo las muestras tratadas osmóticamente si mostraron significativamente ( $p < 0.05$ ) menores cambios respecto a la no tratada.

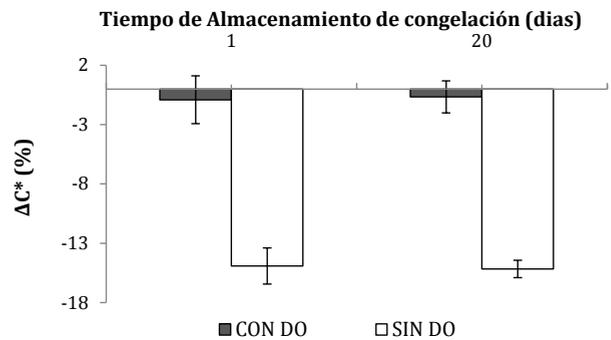


Figura 3. Cambio del croma de las muestras de melón

La figura 4 representa el cambio del tono de melón durante la congelación. El ANOVA no evidenció cambios significativos ( $p > 0.05$ ) en las muestras por efecto del tiempo de almacenamiento y del tratamiento.

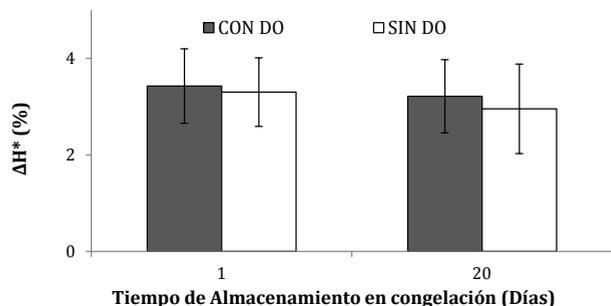


Figura 4. Cambio de la tonalidad en las muestras del melón

## DISCUSIÓN

El incremento de la PFL en todos los tratamientos con el tiempo de almacenamiento puede atribuirse al rompimiento mecánico de las membranas durante el almacenamiento en congelación, debido a la recrystalización del hielo durante este proceso, ocasionando una disminución de componentes líquidos celulares y pérdida de la capacidad de retención del agua de la célula (8, 9, 10). Las muestras tratadas con DO presentaron las menores PFL, debido posiblemente a una menor recrystalización del hielo por contener menor agua congelable, y como consecuencia menor daño estructural. Otros investigadores han reportado similar comportamiento en diferentes frutas y vegetales (4) y en melón (8, 11, 12).

Las menores pérdidas de  $\Delta L^*$  en las muestras tratadas con DO (Figura 2), pueden explicarse por el ingreso de solución osmótica cercana a la superficie de la muestra con el posterior desplazamiento de gas que implica un índice refractivo más homogéneo en el tejido y por consiguiente mayor absorción de la luz de la superficie de la muestra (13). Un comportamiento similar se obtuvo en melón (1,12). Estos resultados indican que las muestras tratadas osmóticamente perdieron menos claridad que las no tratadas.

Las menores pérdidas de pureza de color ( $\Delta C^*$ ) en las muestras tratadas osmóticamente (Figura 3), indican menor pérdida de la viveza; lo que significa que la DO aplicada mostró un efecto crioprotector en el almacenamiento del melón. Mientras que las mayores pérdidas de las muestras no tratadas, indican pérdida de su viveza de color que podría atribuirse a la destrucción de flavonoides y carotenoides, pigmentos responsables del color naranja del melón, por efecto de recrystalización del hielo explicado en las PFL.

Con respecto a los cambios no significativos de la tonalidad en la fruta, es un indicador que el proceso de congelación y el pretratamiento no provocaron cambios de pardeamiento o degradación significativa de los pigmentos naturales de melón (13). Resultado positivo para la conservación característica del color naranja de la fruta durante el almacenamiento en congelación. Comportamiento similar se reporta en estudios de papaya (7).

## CONCLUSIONES

La aplicación de un pretratamiento osmótico con sacarosa evidenció un efecto crioprotector en melón congelado por IQF, mostrando mayor retención de fase líquida y mayor retención del color en términos de claridad y pureza de color.

## REFERENCIAS

1. Maestrelli A, Lo scalzo R, Lupi D, Bertolo G, Torreggiani D. Partial removal of water before freezing: cultivar and pre-treatments as quality factors of frozen muskmelon (*Cucumis melo*, cv reticulatus Naud). J Food Eng. 2001 Aug; 49: 255-260.
2. Ayala-Aponte AA, Serna-Cock L, Giraldo-Cuarteras, CJ. Efecto de la agitación sobre la deshidratación osmótica de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* s.). Empleado soluciones de sacarosa. Interciencia. 2009 Jul; 34(7): 492-496.
3. Torreggiani D, Bertolo G. Present and future in process control and optimization of osmotic dehydration. Ilustrada. San Diego, USA: Advances in Food and Nutrition Research (Steve Taylor, ed.); 2004. 320 p.
4. Marani CM, Agnelli ME, Mascheroni RH. Osmo-frozen fruit: mass transfer and quality evaluation. J Food Eng. 2007 Apr; 79: 1122-1130.
5. Sriwimon W, Boonsupthip W. Utilization of partially ripe mangoes for freezing preservation by impregnation of mango juice and sugars. Food Sci Technol Int. 2011 March; 44: 375-383.
6. Talens P, Escriche I, Martínez-Navarrete N, Chiralt A. Influence of osmotic dehydration and freezing on the volatile profile of kiwi fruit. Food Res Int. 2003 April; 36: 635-642.
7. Ayala-Aponte A, Sánchez M, Rodríguez H, Influencia de la osmocongelación sobre algunas propiedades físicas de papaya (*Carica papaya* L.). Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 2014 Jul-Dec; 17(2): 487-494.
8. Fennema OR. Nature of the freezing process. In: Low temperature preservation of foods and living matter. J Agr Food Chem. 2002 Apr; 50(11): 3085-3089.
9. Goncalves E, Abreu M, Brandao T, Silva C. Degradation kinetics of colour, vitamin C and drip loss in frozen broccoli (*Brassica oleracea* L. ssp.) during storage at isothermal and nonisothermal conditions. Int J Refrig. 2011 Dec; 34(8):2136-2144.
10. Simandjuntak V, Barrett D, Wrolstad R. Cultivar and frozen storage effects on muskmelon (*Cucumis melo*), colour, texture and cell wall polysaccharide composition. J Sci Food Agr. 1996 Jan; 71: 291-296.
11. Ayala A, Cadena M.I. The influence of osmotic pretreatments on melon (*Cucumis melo* L.) quality during frozen storage. DYNA-COLOMBIA. 2014 Jul-Aug; 81(186): 81-86.
12. Bermúdez A, Narvaez M, Cadena M, Ayala A. Reducción de pérdida de calidad de melón (*Cucumis melo*) durante la congelación mediante aplicación previa de deshidratación osmótica. Alimentos Hoy. 2013 Aug; 22(30):23-29.
13. Talens P, Martínez-Navarrete N, Fito P, Chiralt A. Changes in optical and mechanical properties during osmodehydrofreezing of kiwi fruit. Innov. Food Sci. & Emerg. Technol. 2001 June; 3: 191-199.

# MODELO DE NEGOCIO PARA INICIATIVAS EN CTeI. UNA APLICACIÓN PARA LA AGROINDUSTRIA PISCÍCOLA EN EL CAUCA

BUSSINES MODEL POR INITIATIVES IN SCIENCE, TECHNOLOGY AND INNOVATION. AN APPLICATION FOR THE FISH AGROINDUSTRY OF CAUCA

Wilfred Fabián RIVERA<sup>1\*</sup>, José Luis HOYOS CONCHA<sup>2</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** Tradicionalmente las actividades agroindustriales en Colombia han enfrentado fuertes asimetrías en relación a la proporción del precio final que reciben los diferentes actores de la cadena productiva. Es el productor quien recibe el menor porcentaje y absorbe buena parte de los riesgos asociados con la producción, cosecha y post-cosecha. Si bien el modelo de negocio utilizado actualmente favorece la presencia de intermediarios y otorga los mayores beneficios a quienes desarrollan actividades de agregación de valor al producto final, es necesario explorar nuevos esquemas de negocio que no solo favorezcan la inserción de productores rurales a mercados mejor remunerados sino que promuevan el desarrollo tecnológico y la innovación en el sector agroindustrial como un eje de desarrollo económico, productivo, y social en el país. **Objetivos:** En esta investigación se estructuró un modelo de negocios para una empresa de base tecnológica dedicada a la producción de alimento concentrado para la alimentación de especies menores. **Métodos:** La orientación metodológica principal para el desarrollo de los objetivos se inspira en nociones aportadas por la Investigación-Acción- Participativa (IAP), según el cual las personas se involucran en el proceso de investigación como sujetos activos y no como meros objetos de observación. En ese sentido los productores piscícolas participan en la creación de conocimiento alrededor del problema y aportan en la generación creativa de soluciones. **Resultados.** Se estructuró de manera colaborativa un modelo de negocio a partir de la metodología Canvas que permite concentrar las actividades y ac-

ciones necesarias para que una empresa que utiliza el conocimiento como principal insumo para agregar valor logre desarrollar productos innovadores con éxitos demostrables en el mercado. Este modelo de negocio ha sido validado con piscicultores y disminuye los niveles de riesgo e incertidumbre toda vez que el productor –que a su vez es proveedor de vísceras y cliente del alimento concentrado- ha estado involucrado en el diseño y despliegue del modelo.

**Palabras clave:** CTeI, piscicultura, innovación, comercio.

## ABSTRACT.

**Background.** Traditionally agribusiness activities in Colombia have faced strong asymmetries in relation to the proportion of the final price received by different actors in the production chain. It is the producer who receives the lowest percentage and takes much of the risks associated with the production, harvest, and postharvest. Even though the business model used favors the presence of intermediaries and provides the greatest benefits for those developing adding value activities to the final product, it is necessary to explore new business schemes that not only to promote the integration of rural producers to better paying markets but to promote technological development and innovation in the agribusiness sector as an axis of economic, productive, and social development in the country. **Objectives.** In this research, a business model for a technology-based company dedicated to the production of concentrated food for fish industry was structured. **Methods.** The main methodological guidance for the development of the objectives

<sup>1</sup> Magíster en Estudios Interdisciplinarios del Desarrollo, Investigador adscrito al Centro Regional de Productividad e Innovación del Cauca-CREPIC. Popayán-Colombia

<sup>2</sup> Ph.D(c). Profesor titular, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad del Cauca. Popayán-Colombia

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

is based on notions provided by the Participatory Research-Action-(IPA), in which people engage in the research process as active subjects rather than mere objects of observation. In that sense the fish farmers involved participate in the creation of knowledge about the problem and contribute to the generation of solutions. **Results.** it was structured, collaboratively, a business model from the Canvas methodology to concentrate activities and actions, necessary for a company that uses knowledge as main input to add value, to develop innovative products with demonstrable success in the market. This business model has been validated with fish farmers; and it has decreased risks and uncertainty when the producer –which in turn is provider of viscera and customer of concentrated food –, has been involved in the designing and development of the model.

**Keywords:** CTel, fish culture, innovation, trade.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la actividad piscícola en Colombia y particularmente en el departamento del Cauca, genera subproductos como piel, huesos, escamas, vísceras y cabezas, que no están siendo dispuestos adecuadamente, convirtiéndose en un problema ambiental (contaminación de fuentes de aguas y suelos) y en foco de enfermedades para las personas. Por otro lado, la alimentación en los peces constituye uno de los principales aspectos para el éxito económico de esta actividad productiva, ya que representa cerca del 60 % de los costos de producción (1). La tecnología de ensilaje es reconocida como una solución útil al manejo de los subproductos generados por la actividad piscícola, que posteriormente se pueden incluir en dietas para la alimentación animal (2). Tecnología estudiada en la Universidad del Cauca, donde los resultados de las investigaciones realizadas, mostraron que el alimento obtenido a partir de ensilaje de residuos de tilapia y trucha, presentan efectos positivos no sólo en cuanto a la reducción de costos de producción, sino también en la respuesta de parámetros zootécnicos en especies menores y en la reducción de la contaminación generada por los subproductos inadecuadamente dispuestos.

Por lo anteriormente expuesto, se pretende contribuir al fortalecimiento de la cadena piscícola, mediante el desarrollo del proyecto “Alternativas para el uso de subproductos derivados de la Agroindustria

Piscícola” ALTPEZ. La labor científica se integra al sector productivo mediante la transferencia de tecnología y prototipos a una planta de procesamiento de subproductos, lo cual permitirá obtener información valiosa sobre el proceso a escala.

En este orden de ideas, se ha construido un modelo de negocios considerando diferentes variables: i) las expectativas de los productores, ii) las características de las empresas proveedoras de alimento concentrado, iii) la estructura y alistamiento organizacional con que se pondrá a disposición el producto, y iv) las condiciones del entorno en donde viven y producen los piscicultores.

El instrumento metodológico para estructurar este modelo de negocio se fundamentó en los principios del lienzo CANVAS que en lugar de promover la estructuración de planes de negocio con alto riesgo de fracaso, plantea la formulación de hipótesis y el desarrollo de experimentos de validación que permiten avanzar mediante ensayos y errores hasta encontrar las actividades necesarias para que el desarrollo tecnológico conlleve a un producto innovador en el mercado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto ALTPEZ realizará todos los alistamientos técnicos y organizacionales para contar con una planta de proceso en el Cauca que transformará subproductos de la actividad piscícola de la zona productora de Trucha Arcoiris (municipios de Silvia, Totoró, Jambaló) y de Tilapia (municipios de Morales y Suarez) en alimento para especies menores. Se destaca como elemento particular que la tecnología a transferir es desarrollada por la Universidad del Cauca para posteriormente articularse con la planta piloto en donde se despliegan los procesos productivos y de escalamientos necesarios para llevar el producto al mercado. Este elemento constituye un verdadero factor diferenciador en esta iniciativa de ciencia y tecnología dado el componente de innovación que permite impactar positivamente la cadena productiva con soluciones de largo plazo, no con el ánimo somero de ejecutar proyectos, sino de desarrollar una estrategia organizacional que genere productos rentables que le agregan valor económico y social a quienes están involucrados. Lo anteriormente mencionado evidencia la necesidad de poner en práctica metodologías que permitan estructurar modelos de negocio que aporten a la estrategia de sostenibilidad en el largo plazo de esta iniciativa

La orientación metodológica principal para el desarrollo de los objetivos se inspira en nociones aportadas por la Investigación-Acción- Participativa (IAP), según el cual las personas se involucran en el proceso de investigación como sujetos activos y no como meros objetos de observación (3). En ese sentido los productores piscícolas participan en la creación de conocimiento alrededor del problema y aportan en la generación creativa de soluciones.

En el plano instrumental se planteó la adopción del modelo mixto que integra herramientas y métodos de captura y análisis de datos que provienen de los enfoques cualitativo y cuantitativo, posibilitando una mejor comprensión del fenómeno bajo estudio (4).

La investigación se desarrolló en dos (2) fases. En la primera, denominada Concepción se identificó el análisis bibliográfico de los diferentes abordajes alrededor de los modelos de negocio para agro cadenas así como los factores que inciden en su desarrollo. Se utilizaron cuatro estrategias: i) la revisión teórica que permitió establecer las corrientes y paradigmas relevantes (5); ii) la revisión documental -información y documentos web- de la agroindustria piscícola en el Cauca; iii) dos grupos focales con expertos en agronegocios para indagar y profundizar sobre las opiniones y experiencias con relación al desarrollo de modelos de negocios en agro cadenas; iv) una encuesta que se administró a productores para conocer sus opiniones y evaluar los factores clave.

La segunda fase denominada Análisis, introdujo la información cualitativa que se acopió mediante matrices de datos, mientras que la de naturaleza cuantitativa se sometió a análisis estadístico aplicando métodos discriminantes. Una vez procesada la información se trabajó en el diseño de un modelo de negocios pertinente al contexto local. Para esta tarea se adoptó la metodología de co-creación, un conjunto de técnicas participativas que promueven el diseño de soluciones innovadoras cuya gestión se plasma en un lienzo CANVAS involucrando a los usuarios o beneficiarios de las mismas en su concepción y desarrollo. (6).

### **El Modelo CANVAS**

Un modelo de negocio describe la lógica de cómo una organización crea, entrega, y captura valor (7). Para el caso de las empresas de base tecnológica, este consiste en nueve elementos

Propuesta de valor, Clientes, Canales de distribución, Relaciones con los clientes, Fuentes de ingresos, Recursos claves, Actividades clave, Alianzas Claves, Estructura de costos,

En 2010 Alex Osterwalder (8) diseñó el modelo de negocio CANVAS, un formato que visualiza el modelo de negocio según estos nueve campos en sólo una 'hoja', resultando un documento que ofrece directamente una visión global de la idea de negocio, mostrando claramente las interconexiones entre los diferentes elementos.

## **RESULTADOS**

Se determinó que el esquema de comercialización tradicional en esta agro cadena no permite utilidades significativas a los productores de zonas rurales en el Cauca en virtud de las distancias geográficas desde los puntos de venta del alimento concentrado hasta las estaciones piscícolas, lo cual incrementa el costo del alimento concentrado, esto sumado a la creciente revaluación del peso colombiano frente al dólar han desencadenado alzas en los precios de este insumo que han impactado fuertemente las finanzas de los productores.

Con esto en consideración, se realizaron talleres a fin de consolidar una oferta de valor agregado para el alimento concentrado que indagará entre los productores acerca de los elementos que realmente constituían valor para ellos. Se aprecia que el alimento concentrado adquiere valor para los productores en función de 4 pilares clave: i) un menor precio que el ofrecido por las grandes empresas productoras de alimento concentrado, ii) la mayor tasa de conversión alimenticia, iii) la estabilidad en los precios, y iv) los beneficios ambientales. Al combinar estos factores en el producto que se dirige a 2 nichos claramente definidos cuales son los productores de trucha/ tilapia –en una primera fase- y de aves de corral –en una fase posterior- se obtiene una sincronía entre oferta y demanda que posibilita la sostenibilidad del ejercicio.

Otro de los resultados de este ejercicio fue la identificación de frentes de trabajo claves para la empresa de base tecnológica –EBT- a partir de la identificación de puntos críticos en el desarrollo del proceso de comercialización que se traducen en actividades relacionadas con el suministro y la investigación permanente.



Figura 1. Modelo de negocios para la empresa de base tecnológica

Un elemento diferencial en la forma en que esta EBT se relaciona con los clientes es la dualidad de los mismos al ser proveedores y clientes. Esto se presenta dado que suministran vísceras y estas constituyen el insumo clave para la producción del alimento concentrado que compran posteriormente. Este aspecto no solo compromete al productor con la organización dada su doble importancia en el proceso sino que también permite unos menores costos de operación dado el flujo permanente de insumos para la actividad productiva, de hecho, como se aprecia en el ítem de las fuentes de ingreso, se contempla la posibilidad de que el productor compre parte del alimento concentrado con pago en especie mediante el suministro de las vísceras.

## DISCUSIÓN

Es importante que se comprenda a fondo la diferencia entre las pequeñas y medianas empresas –PYME- y las empresas pequeñas intensivas en conocimiento –EPIC- (9). Las PYME son empresas con diversos niveles tecnológicos, cuyo éxito depende de la eficiencia en los canales de distribución, del manejo de los intermediarios, de la negociación con proveedores, de la estandarización en procesos y de la inversión en mercadeo masivo para clientes y competidores. El éxito de las EPIC,

en cambio, depende de la innovación constante, de la permanente elevación de sus capacidades y de la calidad de sus redes de interacción, cooperación e información, nacionales y globales. Son dos formas distintas de ser modernas, competitivas, rentables y sostenibles. En Latinoamérica, especialmente en Colombia, existen nacientes EPIC que permiten trabajar con ellas a fin de determinar las formas más efectivas de apoyo, incluyendo aquellas que facilitarían buenas y fructíferas relaciones de colaboración con las empresas productoras de recursos naturales, extranjeras y nacionales. En suma, podemos afirmar que en las condiciones del nuevo paradigma, se agiganta la importancia de las empresas pequeñas (10): para la competitividad de los territorios, para el crecimiento, para la generación de empleo, para atraer inversión extranjera, para retener en el país capacidades en alta tecnología (y también para atraer de vuelta a parte de la “diáspora” científica, tecnológica y empresarial), para aprovechar el espíritu emprendedor local, para aumentar las exportaciones, para sacar provecho de las especialidades locales para la calidad de vida de toda la población.

La actividad productiva piscícola en el Cauca se ha venido abordando tradicionalmente desde la perspectiva de las PYME en gran medida porque no ha contado con procesos de transferencia tec-

nológica que inyecten investigación y desarrollo tecnológico en el proceso productivo. A partir de los avances en la generación de alimento concentrado a partir de las vísceras de trucha/tilapia es posible impactar favorablemente los costos de producción beneficiando la rentabilidad que percibe el productor. Lo anterior va a demandar de un monitoreo permanente y de estrategias de seguimiento participativas a fin de garantizar la operación y despliegue del modelo de negocio propuesto.

## CONCLUSIONES

Las empresas de base tecnológica tienen como particularidad el uso del conocimiento como insumo clave para el desarrollo de sus productos y la permanente agregación de valor en su cadena de procesos. Esta característica plantea un reto para el *management* y la gestión del proceso comercial en la agroindustria colombiana dado que, no será posible afrontar estos desafíos con herramientas anacrónicas que no sean adaptadas para el contexto local.

Si bien las dificultades del encadenamiento productivo han estado presentes en cada uno de los eslabones –producción, transformación, distribución y comercialización–, el proceso comercial ha presentado tradicionalmente los mayores cuellos de botella. Estas dificultades se deben en gran medida a la ausencia de un modelo de negocio claro que responda a las necesidades del mercado, que haya sido validado por los propios clientes, que involucre a diferentes *stakeholders* o actores de interés durante el proceso productivo y que reconozca en este tipo de organizaciones al conocimiento como insumo esencial para el desarrollo del producto.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Departamento Nacional de Planeación (DNP), al Sistema General de Regalías de Colombia (SGR), al Centro Regional de Productividad e Innovación del Cauca – CREPIC y a la Universidad del Cauca a través del proyecto “Alternativas para el uso de subproductos derivados de la Agroindustria Piscícola” ALTPEZ.

## REFERENCIAS

1. Zapata A, Espejo J. Prueba de crecimiento en tilapia roja (*Oreochromis sp*) con niveles crecientes de inclusión de harina de yuca en la dieta. 2008. [En línea]. Disponible desde internet en: <[http://www.clayuca.org/clayucanet/edicion12/articulo\\_tilapia.pdf](http://www.clayuca.org/clayucanet/edicion12/articulo_tilapia.pdf)>. [Con acceso el 24-02-10]: 19-30.
2. Hoyos J. Valoración técnica económica de los subproductos obtenidos del proceso de transformación de la tilapia roja (*Oreochromis spp.*) en la represa “La Salvajina”, mediante el proceso de ensilaje, incluyéndolos en un programa de aprovechamiento de residuos sólidos para la disminución de los costos de producción. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
3. Rai A, Swapna H.C, Bhaskar N. Effect of fermentation ensilaging on recovery of oil from fresh water fish viscera. 2010. *Enzyme and Microbial Technology*. 46: 9-13.
4. Balcázar F E. Investigación acción participativa: Aspectos conceptuales y dificultades de implementación. *Fundamentos en Humanidades*: 76-79
5. Hernandez R, Fernandez C, Baptista L. Metodología de la investigación. México, Mc Graw Hill. 2006: 256p
6. Montenegro M. Producciones narrativas: una propuesta teórico-práctica para la investigación narrativa. En Maite Rodigou Nocetti y Horacio Luis Paulín (Eds.), *Coloquios de investigación cualitativa: desafíos en la investigación como relación social* Córdoba: Socialex. 15-42
7. Sanders E, Simons P J. “Co-Creation and the New Landscapes of Design.” *CoDesign* 4.1. 2008: 5-18.
8. Osterwalder A. *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*. John Wiley & Sons. 123-130
9. Osterwalder A. Clarifying business models: origins, Present, and future of the concept. *Commun. AIS*. 34-54
10. Pérez C. *Technological Revolutions and Finance Capital: The Dynamics of Bubbles and Golden Ages*. Cheltenham, Edward Elgar. 20-22

# BIOCONSERVACION DE MANGO (TOMMY ATKINS) MEDIANTE IMPREGNACION A VACIO DE BACTERIAS ACIDO LACTICAS

BIOCONSERVATION OF MANGO (TOMMY ATKINS) BY VACUUM IMPREGNATION OF  
ACID LACTIC BACTERIA

MUÑOZ-ARTUNDUAGA, K.<sup>1\*</sup>, RAMÍREZ-TORO C.<sup>2</sup> AYALA-APONTE, A.A.<sup>3</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** La impregnación a vacío (IV) es un método de conservación no térmico, que tiene la capacidad de modificar la formulación de los alimentos, aumentar su funcionalidad y extender su tiempo de vida útil mediante la incorporación de compuestos fisiológicamente activos como son las bacterias ácido lácticas (BAL). **Objetivos:** Evaluar el efecto de la impregnación de BAL sobre características fisicoquímicas y microbiológicas en muestras de mango durante el almacenamiento. **Métodos:** Se realizó IV a cilindros de mango (variedad Tommy Atkins), utilizando como medio de impregnación una mezcla 50/50 v/v de soluciones que contenían BAL (*L.casei* y *L.sakei*), a este sistema se aplicó una presión de 0,76 bar a 25°C durante 10 min, posteriormente se restituyó la presión atmosférica y las muestras permanecieron por 10 min de relajación. Muestras impregnadas y frescas fueron empacadas a presión atmosférica (AT) o de vacío (V) y almacenadas durante 60 días a 25°C y 70% de humedad relativa. Se evaluaron el pH, % azúcares totales y reductores, color, calidad microbiológica y viabilidad de las bacterias lácticas. **Resultados:** La IV permitió la incorporación de BAL en matrices de mango, obteniéndose un alimento bioconservado con viabilidad de los microorganismos en 10<sup>6</sup> UFC/g hasta el día 10 de almacenamiento a 25°C en AT y V, sin afectar significativamente el contenido de humedad de las muestras, con variaciones del pH entre 4.15 y 3.15 a lo largo del almacenamien-

to. La variación del % de azúcares totales para las muestras impregnadas estuvo entre el 24 y 11% y azúcares reductores entre 4 y 2%. El parámetro de color correspondiente a la claridad (L\*) disminuyó a través del tiempo, siendo menores los cambios en las matrices de mango impregnadas con empaque al vacío con respecto a las muestras sin impregnar. **Conclusiones:** La IV con BAL en mango resultó ser una técnica efectiva para inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos y conservar características de calidad como el color.

**Palabras clave:** Impregnación a vacío, mango, bacterias ácido lácticas, conservación de alimentos

## ABSTRACT

**Background:** Vacuum impregnation (VI) is a non-thermal preservation method that has the ability to modify food formulation, enhance functionality and extend its shelf life by incorporating physiologically active compounds such as lactic acid bacteria (LAB). **Objectives:** Assessing the effect of impregnation of lactic acid bacteria on physicochemical and microbiological characteristics on mango samples during storage **Methods:** Vacuum impregnation was performed to mango cylinders (Tommy Atkins variety) using a mixture (50/50 v/v) of solutions containing lactic acid bacteria (*L.casei* and *L.sakei*) as impregnating media. To this system, a pressure of 0,76 bar at 25°C for 10 minutes was applied, after that, the atmospheric pressure was restituted and samples were kept immersed by 10

<sup>1</sup> Estudiante de Maestría en Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle. Cali, Colombia.

<sup>2</sup> Profesora asociada. Ph.D. en Ingeniería de Bioprocesos, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle. Cali-Colombia.

<sup>3</sup> Profesor asociado. PhD. en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Alimentos Universidad del Valle. Cali-Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: katherine.munoz.a@correounivalle.edu.co

minutes. Impregnated and fresh samples were packaged at atmospheric pressure (AT) or at vacuum (V) and were stored for 60 days at 25°C and 70% relative humidity. pH, total and reducing sugars, color, microbiological quality and viability of lactic acid bacteria were evaluated during the storage.

**Results:** The incorporation of lactic acid bacteria into mango matrices was enabled using vacuum impregnation, obtaining a bio-preserved food with microorganism viability of 10<sup>6</sup> CFU/g up to the 10<sup>th</sup> storage day at 25°C in atmospheric and vacuum pressure, with no affecting significantly moisture samples content with pH variations between 4,15 to 3,15 along the storage. Total sugar variations for impregnated samples were in between 11% to 24%, and 2% to 4% for reducing sugars. Color values, corresponding to clarity (L\*), decreased over time with minor changes in matrices with impregnated mango samples packaged at vacuum in contrast with those samples with no impregnated. **Conclusions:** Vacuum Impregnation of mango samples with lactic acid bacteria turned out to be an effective technique to inhibit pathogenic microorganisms growing and to preserve quality characteristics as color.

**Keywords:** Vacuum-impregnation, mango, lactic acid bacteria, food preservation.

## INTRODUCCIÓN

Debido a las propiedades fitoquímicas y a su buena fuente de antioxidantes, el mango es una fruta adecuada para ser conservada por la técnica de impregnación al vacío, la cual puede mejorar la funcionalidad del producto elaborado y a su vez permite su efectiva comercialización al atenuar su deterioro, permitiendo incorporar componentes biológicamente activos como las BAL (1) que no presentan riesgos a la salud del consumidor por lo cual son consideradas como GRAS (reconocidas generalmente como seguras) por la Food and Drug Administration de USA. Utilizando como fruta modelo el mango por sus características nutricionales y organolépticas, este trabajo tiene como objetivo determinar las características fisicoquímicas, microbiológicas y la funcionalidad del fruto tratado

por impregnación al vacío con cepas de bacterias ácido lácticas (BAL), que realicen control de los microorganismos asociados a la descomposición del producto procesado durante el almacenamiento a 25 ° C.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon cilindros de mango (variedad Tommy Atkins) de 1,2 cm de diámetro por 1,5 cm de altura (*Mangifera indica L.*) de la variedad Tommy Atkins, con contenido de humedad de 81.10±0.35%. Se impregnaron al vacío (IV) por inmersión en una en una mezcla 50/50 (v/v) de solución de melaza, leche de soya, suero de leche y salvado de trigo, con crecimiento de *Lactobacillus casei rhamnosus* y *Lactobacillus sakei*, con relación sólido-medio de impregnación de 1:10; en un deshidratador osmótico con vacío (Centricol S.A., Colombia). Se aplicó una presión de 0,76 bar a 25°C durante 10 min, posteriormente 10 min de relajación a presión atmosférica (2). Las muestras impregnadas fueron empacadas a dos niveles de presión, atmosférica (0,9bar)(AT) y vacío (-0,8bar) (V) y almacenadas durante 60 días a 25°C y 70% de HR junto con muestras control (no impregnadas de BAL). Durante el almacenamiento se midieron: pH (NTC 440) (3), el color mediante un colorímetro (Hunter Lab, USA), el % de azúcares totales por el método de antrona (4) y % de azúcares reductores por el método de Lane-Eynon (NTC 440) (3). Las características microbiológicas se determinaron mediante el recuento de mohos y levaduras, el número más probable de coliformes totales y fecales y el recuento de bacterias ácido lácticas siguiendo las recomendaciones de siembra en NTC 4092 (5). Para el análisis de los resultados se realizaron análisis de varianza de dos factores correspondientes a empaque y tiempo de almacenamiento, utilizando el paquete estadístico Minitab 16 ®

## RESULTADOS

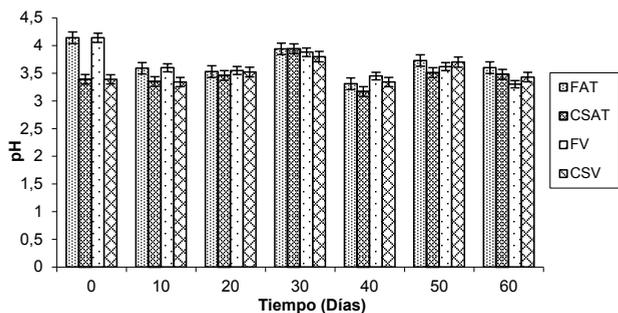
La caracterización fisicoquímica y microbiológica de cilindros de mango se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1.** Valores iniciales de contenido de humedad, color y recuento de lactobacilos en trozos de mango frescos e impregnados con *L. casei* + *L. sakei*.

	Humedad (%)	pH	Color (L*)	BAL (UFC/g)
Muestra Control (Fresco)	81,24 ± 0,80	4,15 ± 0,01	31,13 ± 4,48	1,5x10 <sup>1</sup> ± 2,13 x10 <sup>1</sup>
Muestra Impregnada ( <i>L.casei</i> + <i>L.sakei</i> )	82,12±1,07	3,39± 0,01	36,91 ± 3,24	4.95x 10 <sup>7</sup> ±1.63 x 10 <sup>7</sup>

Los resultados indican que las muestras cumplen características comerciales en cuanto al pH (6), presentando una disminución de las muestras impregnadas con respecto al mango fresco. L\* muestra un aumento, siendo más claras respecto a la fresca.

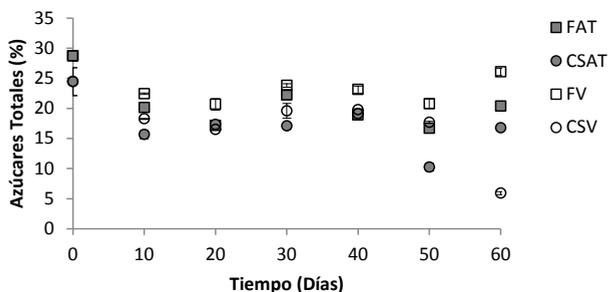
En la figura 1 se muestra la variación del pH en muestras de mango almacenadas.



**Figura 1.** Evolución del pH para muestras frescas e impregnadas con BAL en el almacenamiento

Durante el tiempo de almacenamiento no se observa una tendencia definida del pH, ya que varían entre 4.15 y 3.15, presentándose una disminución significativa ( $p < 0.05$ ) a los 10, 20, 40 y 60 días de almacenamiento. No hubo efecto significativo ( $p > 0.05$ ) por la presión.

La Figura 2 presenta el % de azúcares totales en mango durante el almacenamiento.

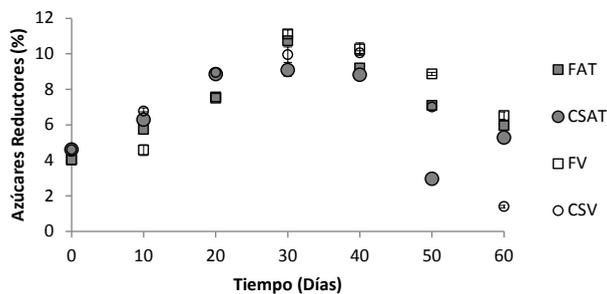


**Figura 2.** Evolución del contenido de azúcares totales para muestras frescas e impregnadas con bacterias lácticas durante el almacenamiento.

El % azúcares totales disminuye significativamente ( $p < 0.05$ ) con el tiempo de almacenamiento, mientras que el factor presión de empaque no mostró diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

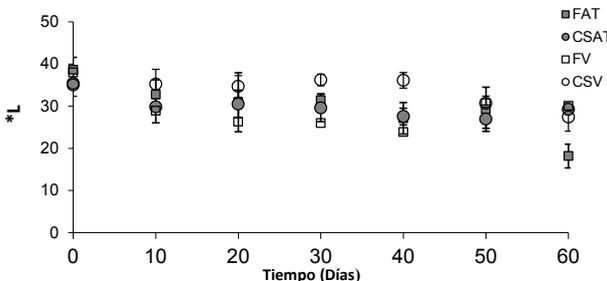
La figura 3 presenta la evolución del % de azúcares reductores en muestras de mango con y sin impregnación de BAL. Todos los tratamientos se incrementan hasta el día 30 de almacenamiento y posteriormente disminuye. No se presentaron

diferencias significativas debidas a la presión de empaque ( $p > 0.05$ ).



**Figura 3.** Evolución del contenido de azúcares reductores para muestras de mango durante el almacenamiento

En la figura 4 se presentan los cambios L\* de mango durante el almacenamiento, observándose la pérdida de claridad con el tiempo, siendo más evidente en los tratamientos empacados a presión atmosférica con diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), lo que indica que las muestras fueron más oscuras.



**Figura 4.** Cambios de claridad en muestras de mango con y sin BAL durante el almacenamiento

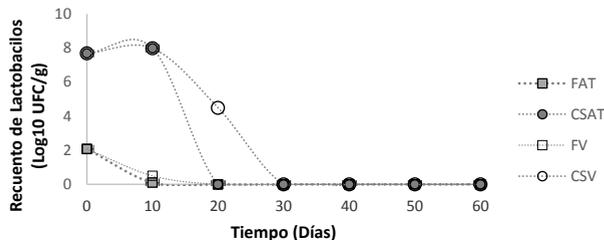
Con respecto al efecto de la aplicación de BAL, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), siendo las muestras impregnadas (CSV y CSAT) las que presentaron los menores cambios de claridad con respecto a los de las muestras sin impregnar (FAT y FV) para ambos tipos de empaque.

Microbiológicamente las muestras no presentaron contaminación por coliformes totales ni fecales durante el almacenamiento, en cuanto al recuento de mohos y levaduras se encontró por encima  $10^5$  UFC/g en las muestras sin impregnar al día 50 de almacenamiento.

La Figura 5 muestra los resultados de la viabilidad de las BAL durante el almacenamiento.

Se observa que las muestras sin impregnar presentan un recuento inicial de bacterias ácido lácticas ( $10^1$  UFC/g), las cuales pierden su viabilidad durante el almacenamiento en ambos empaques a partir del

día 10. En las muestras impregnadas, se encontró que se logró incorporar a la matriz del mango recuentos de BAL de  $10^7$  UFC/g, permaneciendo viables hasta el día 10 de almacenamiento para las muestras empacadas a presión atmosférica y hasta el día 20 para las muestras empacadas al vacío.



**Figura 5.** Evolución del recuento de *Lactobacillus* en las muestras durante el almacenamiento

## DISCUSIÓN

La disminución en el pH en las muestras impregnadas respecto a la muestra fresca se debe al pH del medio de impregnación. El comportamiento observado en la figura 1 se debe a que a pesar del crecimiento de las bacterias lácticas en la matriz vegetal, su metabolismo fermentativo no disminuye considerablemente el pH de las muestras, no obstante son muestra ácidas hecho que favorece su conservación.

La variación observada en la figura 2, puede estar relacionada con la actividad enzimática que metaboliza la escisión de la sacarosa en fructosa y glucosa en la fruta, por el crecimiento bacteriano o por los procesos de maduración de la fruta (7); indicando que las bacterias limitan los procesos de maduración del mango en el almacenamiento, la disminución además es producto del consumo de las BAL durante su crecimiento en las muestras, ya que el consumo de azúcares está relacionado con su tasa de crecimiento (8).

La disminución de  $L^*$  en las muestras empacadas al vacío, se deben al retardo de los procesos metabólicos del deterioro normal, acelerados por las operaciones de preparación de la muestra (pelado y corte), que favorecen la degradación oxidativa de los pigmentos con la consiguiente reacción de oscurecimiento del tejido (9). Siendo menor en las muestras impregnadas debido posiblemente a que en el intercambio gas-líquido durante la impregnación, las bacterias ocupan los poros de la fruta creando una barrera para la respiración de la misma, disminuyendo los daños en la célula y su proceso

de pardeamiento enzimático y a los cambios en el índice de refracción de las muestras (10).

En la figura 5 se observa como las bacterias logran adaptarse al medio y activar su capacidad metabólica para crecer en el mismo, aprovechándose de los nutrientes presentes en la matriz vegetal, limitando su viabilidad probablemente por competición de los nutrientes por lo cual las muestras impregnadas lograron mantener su viabilidad en el valor recomendado para ejercer su actividad bioprotectora ( $10^6$  UFC/g), hasta el día 10 de almacenamiento a  $25^{\circ}\text{C}$  en AT y V.

## CONCLUSIONES

La bioconservación de matrices de mango mediante el proceso de impregnación al vacío con microorganismos lácticos, *Lactobacillus casei* y *Lactobacillus sakei*, resultó ser una técnica efectiva para inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos y conservar características de calidad como el color. Por consiguiente, esta técnica es de gran interés en la comercialización de productos frescos con mayor valor agregado.

## REFERENCIAS

- Ostos SL, Díaz AC, Suarez H. Evaluación de diferentes condiciones de proceso en la fortificación de Mango (Tommy Atkins) con calcio mediante impregnación a vacío. *Rev Chil Nutr.* 2012 Jun; 39 (2): 181-190.
- Betoret N, Puente L, Díaz MJ, Pagán MJ, García MJ, Gras ML, et al. Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation. *J Food Eng.* 2003; 56(2-3): 273-277.
- ICONTEC NTC 440: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Colombia), Productos alimenticios métodos de ensayo, Bogotá – Colombia; 1971.
- DuBois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. *Anal Chem.* 1956; 28(3): 350-356.
- ICONTEC NTC 4092: Instituto Colombiano De Normas Técnicas y Certificación (Colombia), Microbiología de alimentos y de alimentos para animales. Reglas generales para el análisis microbiológico, Bogotá – Colombia; 1997.
- ICONTEC NTC 5210: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Colombia), Frutas frescas. Mango Variedades Mejoradas Especificaciones, Bogotá – Colombia; 2003.
- Helland HS, Leufvén A, Bengtsson GB, Pettersen MK, Lea P, Wold AB. Storage of fresh-cut swede and turnip: effect of temperature, including sub-zero temperature, and packaging material on sensory attributes, sugars and glucosinolates. *Postharvest Biol Tec.* 2016; 111: 370-379
- González-Aguilar GA, Wang CY, Buta JG. Maintaining quality of fresh-cut mangoes using antibrowning agents and modified atmosphere packaging. *J Agric Food Chem.* 2000; 48(9): 4204-4208.
- Guerrero-Beltrán JA, Swanson BG, Barbosa-Canovas GV. Inhibition of polyphenoloxidase in mango puree with 4-hexylresorcinol, cysteine and ascorbic acid. *LWT.* 2005; 38: 625-630.
- Djioua T, Charles F, Lopez-Lauri F, Filgueiras H, Coudret A, Freire Jr M, Ducamp-Collin M Sallanon H. Improving the storage of minimally processed mangoes (*Mangifera indica* L.) by hot water treatments. *Postharvest Biol. Technol.* 2009; 52: 221-226.