

## RECTOR

Mauricio Alviar Ramírez

## VICERRECTORA DE INVESTIGACIONES

María Patricia Arbeláez Montoya

## DECANO

Juan Carlos Alarcón Pérez

## DIRECTORA

Ligia Luz Corrales García  
revistavitae@udea.edu.co

La Revista Vitae es el órgano difusor de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias de la Universidad de Antioquia. Está dirigida a profesionales y estudiantes interesados en la ciencia y tecnología farmacéutica y alimentaria. Contempla información derivada de investigaciones y revisiones relacionadas con los medicamentos, los cosméticos, los alimentos y los productos naturales.

*La responsabilidad por los juicios, opiniones y puntos de vista expresados en los resúmenes publicados corresponde exclusivamente a sus autores.*

## COMITÉ EDITORIAL

### EDITORES DE SECCIÓN

**ALIMENTOS CIENCIA, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA:** Misael Cortés Rodríguez. Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Diana María Granda Restrepo. Universidad de Antioquia, Colombia

**ATENCIÓN FARMACÉUTICA:** Pedro Amariles Muñoz. Universidad de Antioquia, Colombia.

**BIOTECNOLOGÍA:** Edison Javier Osorio Durango. Universidad de Antioquia, Colombia.

**FARMACOLOGÍA Y TOXICOLOGÍA:** Dora Benjumea Gutiérrez. Universidad de Antioquia, Colombia.

**INDUSTRIAL FARMACÉUTICA:** John Rojas. Universidad de Antioquia, Colombia.

**PRODUCTOS NATURALES:** Alejandro Martínez Martínez. Universidad de Antioquia, Colombia.

### MIEMBROS INTERNACIONALES

Blanca Cecilia Martínez Isaza. University of Minnesota, E.U.A.

Agustín García Asuero. Universidad de Sevilla, España.

Carles Codina Mahrer. Universidad de Barcelona, España.

Olivier Thomas. University of Nice, Francia.

Jesús Ofelia Angulo Guerrero. Instituto Tecnológico de Veracruz, México.

Ricardo Reyes Chilpa. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

## COMITÉ CIENTÍFICO

Micha Peleg. Universidad de Massachusetts, E.U.A.

Bernard Weniger. Universidad de Strasbourg, Francia.

Jaume Bastida Armengol. Universidad de Barcelona, España.

Raquel Rodríguez Raposo. Universidad de La Laguna, España.

José Luis Pedríguez Muñoz. Universidad del País Vasco, España.

Edda Sonia Costa Castro. Universidad de Chile, Chile.

Elio Jiménez González. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba.

Eduardo Enrique Chamorro Jiménez. Universidad Andrés Bello, Chile.

Germán Antonio Giraldo Giraldo. Universidad del Quindío, Colombia.

Luz Marina Carvajal de Pabón. Universidad de Antioquia, Colombia.

Gabriel Jaime Arango Acosta. Universidad de Antioquia, Colombia.

Ricardo D. Andrade P. Universidad de Córdoba, Colombia.

Silvia Luz Jiménez Ramírez. Universidad de Antioquia, Colombia.

## ASISTENTE EDITORIAL

Claudia Patricia Bedoya Palacio

## AUXILIAR

Arbey Lopera Agudelo

## PERIODICIDAD

Tres números al año

## PRECIO DE SUSCRIPCIÓN ANUAL

Colombia: \$ 120.000

Estudiantes: \$ 65.000

Exterior: US \$ 70

EUR \$ 55

## PRECIO PUBLICACIÓN ARTÍCULO

Colombia \$440.000

Exterior: US \$ 220

EUR \$ 180

## TIRAJE

500 ejemplares

revistavitae@udea.edu.co

<http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/vitae>

<http://www.udea.edu.co/vitae>

Fotografías superiores de izquierda a derecha: fuente, parainfo y vista panorámica de la Universidad de Antioquia. Cortesía del Periódico Alma Mater. Fotografía inferior: Afiche del III Congreso Colombiano de Atención Farmacéutica.

## CANJE

Universidad de Antioquia.

Departamento de Bibliotecas Sección Canje

canjebc@biblioteca.udea.edu.co

Apartado Aéreo 1226 Medellín – Colombia.

Telefax 57(4) 219 59 92 ó 219 59 93

## Indexada en:

- **ISI Web of Science:** Thomson Scientific.  
**Factor de impacto año 2013: 0.259**
- **SciVerse SCOPUS/Elsevier B.V.**
- **EMBASE:** Biomedical Answers.
- **PUBLINDEX:** Índice Nacional de Publicaciones Seriadas, Científicas y Tecnológicas de Colombia. Colciencias. Categoría A1.
- **LILACS:** Índice de la Literatura Latinoamericana en Ciencias de la Salud.
- **LATINDEX:** Índice Latinoamericano de Revistas Científicas y Tecnológicas.
- **CUIDEN:** Base de datos, Granada (España).
- **CAS:** Chemical Abstracts.
- **SciELO:** Scientific Electronic Library Online.
- **OJS:** Open Journal System.
- **DOAJ:** Directory of Open Access Journals.
- **e-revistas:** Plataforma Open Access de Revistas Electrónicas Españolas y Latinoamericanas.
- **REDALYC:** Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal.
- **SIIC Data Bases:** Sociedad Iberoamericana de Información Científica (SIIC).
- **EBSCO Host.**

## CORRESPONDENCIA Y SUSCRIPCIÓN

Edificio de Extensión Universidad de Antioquia

Calle 70 No. 52-62 Piso 3 Oficina 303

Teléfono: 57(4) 219 84 55

# Vitae

## **MISIÓN**

La Revista Vitae tiene como misión la difusión del conocimiento derivado de la investigación y de las revisiones bibliográficas relativas a los medicamentos, los cosméticos, los alimentos y los productos naturales, mediante publicaciones que tienen cobertura tanto a nivel nacional como internacional.

## **MISSION**

Journal Vitae's mission is the diffusion of the knowledge derived from researches and bibliographic reviews related to medicines, cosmetics, food and natural products, through publications of both national and international coverage.

## **OBJETIVO**

Divulgar los resultados de investigaciones relativas a los medicamentos, los cosméticos, los alimentos, los productos fitoterapéuticos y demás insumos sanitarios; obtenidos con una adecuada rigurosidad científica, tecnológica y académica, evaluados por pares académicos expertos en los diferentes temas, y que contribuyan al avance y desarrollo de las ciencias farmacéuticas y de los alimentos.

## **OBJECTIVE**

Journal Vitae's objective is to disclose the results of researches related to medicines, cosmetics, food, phytotherapeutic products and other sanitary supplies, obtained with adequate scientific, technological and academic rigor. These results are evaluated by academic partners who are experts in the different subjects, and contribute to the advance and development of the pharmaceutical and food sciences.





Entre el 16 y el 18 de Marzo del 2016 la Universidad de Nariño realizó el **I Congreso Internacional de Conservación para la Industria Agroalimentaria CINCIA 2016**, en las instalaciones del Club Colombia de la ciudad de Pasto–Nariño. El evento contó con la participación de prestigiosos investigadores y académicos de talla nacional e internacional, presentando ponencias en los siguientes ejes temáticos:

- Valoración de elementos científicos y técnicos para el procesamiento agroalimentario
- Postcosecha y comercialización como eje o alternativa primaria del sector productivo
- Procesos industriales que potencializan las cadenas de valor regionales

El lema del Congreso fue **INVESTIGACIÓN CON UN PROPÓSITO**, haciendo referencia a que los proyectos de investigación, deben orientarse no solo al logro de resultados técnico científicos, sino que también deberían ser pertinentes y ofrecer soluciones a problemas reales a nivel de región o país, contribuyendo a la innovación y al desarrollo económico y social.

El evento Club Colombia fue realizado con fondos del proyecto BPIN 2012000100188 del Sistema General de Regalías CT+i y además gracias a la contribución de la Gobernación de Nariño, la Universidad de Nariño y de empresas nacionales y regionales.

### **COMITÉ ORGANIZADOR**

Dr. Oswaldo Osorio Mora, Coordinador General Congreso CINCIA 2016.  
Dr. William Albarracín, Coordinador Comité Científico Congreso CINCIA 2016.  
M.Sc. Diego Fernando Mejía España, Decano  
Grupo de Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario (GAIDA)  
Departamento de Procesos Industriales  
Facultad Ingeniería Agroindustrial  
Universidad De Nariño

## COMITÉ CIENTIFICO

- Dr. William Albarracín Hernández, Coordinador.  
Dr. Oswaldo Osorio Mora, Universidad de Nariño.  
MsC. Diego Fernando Mejía España, Universidad de Nariño.  
Dr. Oscar Arango Bedoya, Universidad de Nariño.  
MsC. Olga Lucia Benavides Calvache, Universidad de Nariño.  
MsC. Mauricio Buchely, Universidad de Nariño.  
Dr. Juan José Lozada Castro, Universidad de Nariño.  
Dr. Henry Vaquiro Herrera, Universidad del Tolima.  
Dr. José Fernando Solanilla Duque, Universidad del Tolima.  
Dr. Luis Eduardo Ordoñez Santos, Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira.  
Dr. Carlos David Grande Tobar, Universidad San Buenaventura – Cali.  
MsC. Andrea Molina Cortes, Universidad de San Buenaventura – Cali.  
MsC. Gloria Carmenza Rodríguez de la Pava, Universidad de San Buenaventura – Cali.  
Dr. Raúl Alberto Cuervo Mulet, Universidad de San Buenaventura – Cali.  
Dr. Francisco Javier Castellanos Galeano, Universidad de Caldas.  
Dr. Aníbal Herrera Arévalo, Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá.  
Dr. Misael Cortes Rodríguez, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.  
MsC. Luis Miguel Mejía Giraldo, Universidad La Gran Colombia – Armenia.  
Dr. Héctor Samuel Villada, Universidad del Cauca.  
MsC. Víctor Dumar Quintero Castaño, Universidad del Quindío.  
Dr. Alfredo Ayala Aponte, Universidad del Valle.  
Dr. Jader Rodríguez Cortina, Corpoica Tibaitata.  
Dr. Armando Alvis Bermúdez, Universidad de Córdoba.  
Dr. José Luis Hoyos, Universidad del Cauca.  
Dr. José Igor Healp zapata, Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira.  
Dr. Pao Talens Oliag, Universidad Politécnica de Valencia – España.  
Dra. Gemma Moraga Ballesteros, Universidad Politécnica de Valencia.- España.  
Dr. Julián Gómez Salazar, Universidad de Guanajuato – México.  
Dr. Gustavo Gonzales Aguilar, CIAD – México.  
Dr. Fernando Sampedro Parra, Universidad de Minnesota – USA.  
Dr. Lorenzo Zacarías García, IATA. CSIC. Valencia – España.  
Dr. Antonio Martínez López, IATA. CSIC. Valencia – España.  
Dr. Hernán Muñoz Guerrero, Universidad de Antofagasta – Chile.  
Dr. Jorge Mina Ortega, UPEC – Ecuador.  
Dra. Lourdes Carmona López, Fundecitrus – Brasil.

## CONTENIDO

EDITORIAL. “INVESTIGACION CON UN PROPOSITO”	22
<b>PONENCIAS INTERNACIONALES</b>	
• EL COLOR DE LOS PRODUCTOS AGROALIMENTARIOS: MÁS ALLÁ DE LOS EFECTOS DEL PROCESAMIENTO – UN ALIADO PARA EL PEQUEÑO PRODUCTOR Andrea MOLINA CORTÉS M. Sc.	23
• PROTEÍNAS EMERGENTES Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA Diana BAIGTS ALLENDE Ph. D	27
• PRODUCTOS CÁRNICOS FUNCIONALES: OPORTUNIDADES Y DESARROLLO Francisco JIMENES COLMENERO Ph. D.	31
• USO DE HERRAMIENTAS PARA LA GESTION Y EVALUACION DE RIESGOS MICROBIOLÓGICOS EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS Fernando SAMPEDRO PARRA Ph. D.	37
• VALIDACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS EN EL SECADO DE PRODUCTOS AGROINDUSTRIALES Henry A. VAQUIRO H. Ph.D.	41
• RESIDUOS AGROINDUSTRIAL DE FRUTAS: FUENTE DE COMPUESTOS CAROTENOIDES Luis Eduardo ORDÓÑEZ-SANTOS	42
• USO DE RADIOFRECUENCIA COMO ALTERNATIVA EFICAZ PARA LA DESINFESTACIÓN POSTCOSECHA: UNA REVISIÓN PARA ALIMENTOS SECOS Cristina GARCÍA-MOSQUEDA B. Eng., Abel CERÓN-GARCÍA PhD., Manuel Darío SALAS ARAIZA Ph.D., María Elena SOSA-MORALES Ph.D.	46
• MUSÁCEAS, INVESTIGACIÓN CON PROPÓSITO Francisco Javier CASTELLANOS-GALEANO Ph.D., Cristina Inés ÁLVAREZ-BARRETO Ph.D.	51
• EMPAQUES ACTIVOS ANTIMICROBIANOS PARA EL CONTROL DE PATÓGENOS Paula Judith PEREZ ESPITIA Ph.D., Rejane ANDRADE BATISTA Ph. D(c).	56
<b>ARTICULOS DE INVESTIGACIÓN</b>	
• INCORPORACIÓN DE PLASMA BOVINO COMO EMULSIFICANTE/ESTABILIZANTE EN UN HELADO DE CREMA Javier Francisco REY RODRÍGUEZ, Diana Patricia ALMENDRALES RANGEL, Ingrid Sofía BUSTOS ARÉVALO.	60
• CARACTERIZACIÓN COMPOSICIONAL Y FÍSICOQUÍMICA DE LECHE DE CABRA ( <i>Capra aegagrus hircus</i> ) EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO Soany ERASO GRISALES I.A., Oscar ARANGO BEDOYA Ph.D.	66
• DETERMINACIÓN DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN RESIDUOS DE FRUTO DE PAPAYA ( <i>Carica papaya</i> ) M.C. RIVERA-OCHOA, N.Z. CASTILLO-ROBLES, K. FIGUEROA-SEPÚLVEDA, M.C. ROJAS-DORADO, J. ESPARZA, L.E. ORDOÑEZ-SANTOS	70
• FORMULACIÓN DE UNA GALLETA A BASE DE YOGUR DESHIDRATADO Germán A. GIRALDO G, Zaira T. MARIN-ARANGO, Lina Marcela AGUDELO-LAVERDE	74
• EFECTO DEL SECADO CONVECTIVO Y DE VENTANA DE REFRACTANCIA SOBRE COMPUESTOS VOLÁTILES DE “BANANO BOCADILLO” ( <i>Musa acuminata Colla</i> ) DESHIDRATADO Angela M. ORMAZA Z. Dr (c), Aristóteles ORTIZ. M.Sc., Alfredo A. AYALA-APONTE. Ph.D.	79
• CAMBIOS FÍSICOS DURANTE EL SECADO DE BANANO BOCADILLO ( <i>Musa acuminata Colla</i> ) MEDIANTE LA TÉCNICA DE VENTANA DE REFRACTANCIA Angela M. ORMAZA Z.; Alfredo A. AYALA-APONTE; Karen J. ORTEGA K.	84

- EXTRACCIÓN DE MANTECA DE CACAO A PARTIR DE DOS HIBRIDOS DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) 88  
Camilo VILLEGAS Ing., William ALBARRACÍN Ph.D. Manuela CORAL
- HINCHAMIENTO DE EMPAQUES DURANTE EL PROCESO DE ALMACENAMIENTO EN MAP DE ARVEJA (*Pisum Sativum* L.) VARIEDAD OBONUCO ANDINA 91  
Alvaro ALVEIRO VELASCO Ing., William ALBARRACÍN Ph.D., Oswaldo OSORIO Ph.D.
- EVALUACIÓN DEL EFECTO DE PRE-TRATAMIENTO CON ULTRASONIDO EN LA EXTRACCIÓN DE FLAVONOIDEOS CONTENIDOS EN LAS CASCARAS DE CÍTRICOS 95  
Y. CAMPO. M.Sc., D. VILLADA. M.Sc., V. ORDOÑEZ Ph.D.
- EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ULTRASONIDO SOBRE LAS CINÉTICAS DE SECADO CONVECTIVO DE FRESA (*Fragaria vesca*) 100  
Y. CAMPO. M.Sc., D. VILLADA. M.Sc.; V. ORDOÑEZ. Ph.D.
- CARACTERÍSTICAS VISCOELÁSTICAS Y CONDICIONES DE GERMINACIÓN DE TRES VARIEDADES DE MAÍZ 105  
Leidy M. MONTOYA. Dr (c), Aida R. STOUVENEL. Ph.D
- ESTABILIDAD FÍSICA DE ADEREZOS EMULSIONADOS CON ADICIÓN DE UCHUVA (*Physalis peruviana* L.) 110  
M.I.SÁNCHEZ TAMAYO MSc., C.A. VÉLEZ PASOS Ph.D, A. FERNÁNDEZ QUINTERO, Ph.D
- EVALUACIÓN DE LOS EXTRACTOS CRUDOS DE ALOE VERA *BARBADENSIS* RECOLECTADAS EN DOS PERIODOS DEL DÍA 114  
Hugo de Jesús HENAO MEJÍA, Germán GIRALDO G, Zaira T. MARIN-ARANGO
- MODELADO DEL SECADO POR CAPA DELGADA DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) VARIEDAD SAN ISIDRO, SANTA ISABEL Y ALCALÁ 118  
Darío C. PANTOJA I. AI, Oswaldo OSORIO P. hD y Henry A. VAQUIRO P. hD.
- EFECTO DEL ESCALDADO SERIAL DE BROCOLI (*Brassica oleracea* var. *Legacy*) EN LA ACTIVIDAD DE PEROXIDASA Y CONTENIDO DE CLOROFILA 123  
Darío C. PANTOJA Ing., Osorio OSWALDO P. hD ; J. Gustavo GUERRERO M. Sc.
- EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS FÍSICOS DE ARVEJA (*Pisum sativum*) SOMETIDA A PROCESOS DE FRITURA PLANA: ANÁLISIS DE COLOR 127  
Andrea MOLINA C. MSc., Oswaldo OSORIO M. Ph.D.
- EFECTO DEL ULTRASONIDO Y CAMPOS MAGNÉTICOS SOBRE LA DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* EN CARNE DE LOMO DE ATÚN (*katsuwonus pelamis*) 132  
Lorenzo FUENTES. M.Sc., Víctor M. GÉLVEZ. Ph.D, Carlos J. MÁRQUEZ. Ph.D
- EVALUACIÓN DE RESIDUOS DE CADMIO, COBRE Y PLOMO EN CEBOLLÍN, LECHUGA Y REPOLLO COSECHADOS EN TOLEDO NORTE DE SANTANDER 136  
Alexandre. ARRIETA S. M.Sc., Arnulfo A. TARON D. M.Sc., Lorenzo FUENTES B. M.Sc.
- ESTUDIO DE COMPOSICIÓN CENTESIMAL Y PROPIEDADES TERMO - FÍSICAS PARA LA PULPA DE AÇAÍ 140  
Sebastián ARIAS-GIRALDO, IA.; Adela M. CEBALLOS-PEÑALOZA, MSc., Luis F. GUTIÉRREZ-MOSQUERA, Ph.D.
- DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE PROPIEDADES TÉRMICAS Y FÍSICAS PARA JUGO DE CAÑA, MIEL Y PANELA 145  
Sebastián ARIAS-GIRALDO, IA.; Adela M. CEBALLOS-PEÑALOZA, MSc., Luis F. GUTIÉRREZ-MOSQUERA, Ph.D.
- PELÍCULAS DE GELATINA REFORZADAS CON MICROPARTÍCULAS Y NANOPARTÍCULAS DE POLVO DE AJO 149  
K. J. FIGUEROA-LÓPEZ. Ing., H. ARIZA-CALDERÓN. Ph.D., O. L. TORRES VARGAS. Ph.D.
- EVALUACION FISCOQUIMICA DE PULPA DE GUANABANA (*Annona muricata* L.) TRATADA ENZIMATICAMENTE 155  
Juan Carlos LUCAS AGUIRRE, M.Sc., Alexandra HOYOS, Ing, Victor Dumar QUINTERO CASTAÑO M.Sc
- VARIACIÓN DEL PERFIL VOLÁTIL DEL “BANANO BOCADILLO” (*Musa acuminata* Colla) POR EFECTO DEL SOLUTO OSMÓTICO 159  
Aristóteles ORTIZ. M.Sc.; Angela M. ORMAZA Z. Dr. (C).; Alfredo A. AYALA-APONTE. Ph.D.
- BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS COMO ADITIVO PROTECTOR DE MICROORGANISMOS NO DESEABLES EN CARNES CURADAS 165  
Guillermo ARRAZOLA Ph.D, Armando ALVIS Ph.D, Adriana PÉREZ MSc
- PERSPECTIVAS DE AGROINDUSTRIALIZACIÓN DEL FRUTO GUAYABITA PELUA (*Eugenia acapulensis* Steud) COSECHADAS EN CÓRDOBA 170  
Guillermo ARRAZOLA Ph.D, Armando ALVIS Ph.D, Marcela VILLALBA MSc

- ACETILACIÓN DE ALMIDÓN NATIVO DE BATATA (*Ipomeas batata* L) 174  
Jorge A. FIGUEROA FLÓREZ, Jairo G. SALCEDO MENDOZA, María C. RODRÍGUEZ LORA
- CONTROL DEL CRECIMIENTO DE *LISTERIA MONOCYTOGENES* EN SALCHICHONES CERVECEROS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BIOPELÍCULAS ACTIVAS 180  
Rafael Emilio GONZÁLEZ CUELLO PhD, Lena Beatriz MORÓN ALCÁZAR PhD, Arnulfo Antonio TARON DUNOYER PhD.
- CARACTERIZACIÓN FÍSICO MECÁNICA DE BIOPELÍCULAS COMESTIBLES BINARIAS A BASE DE K – CARRAGENATO Y GELANA DE ALTO ACILO 185  
Rafael Emilio GONZÁLEZ CUELLO PhD, Lena Beatriz MORÓN ALCÁZAR PhD, Arnulfo Antonio TARON DUNOYER PhD
- EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE CÁSCARA DE TRES VARIEDADES DE PAPA (*Solanum tuberosum*) CULTIVADAS EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO 190  
Iván LÓPEZ-LEDEZMA, Leidy CERÓN-MARTÍNEZ, Mauricio BUCHELI JURADO
- ESPECTROSCOPIA DE IMPEDANCIA ELÉCTRICA APLICADA DURANTE LA FERMENTACIÓN HÚMEDA DEL CAFÉ 195  
Julio César CAICEDO-ERASO, Félix Octavio DÍAZ ARANGO, Diana Rocio VARÓN-SERNA
- CARACTERIZACIÓN DE LA MADUREZ FISIOLÓGICA DEL PLÁTANO DOMINICO HARTON POR ESPECTROSCOPIA DE IMPEDANCIA ELECTRICA 199  
Julio César CAICEDO-ERASO, Luis Fernando MEJÍA GUTIÉRREZ, Félix Octavio DÍAZ ARANGO
- EFECTO DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN SOBRE LA CALIDAD DE MELON (*Cucumis melo*) CONGELADO POR IQF 204  
ORTEGA-VILLALBA, K.J., VÉLEZ-PASOS, C.A., AYALA-APONTE, A.A.
- CINÉTICAS DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE MELON (*Cucumis melo*) Y EFECTO SOBRE SU CALIDAD 208  
ORTEGA-VILLALBA, K.J., VÉLEZ-PASOS, C.A., AYALA-APONTE, A.A.
- EFECTO DE LA TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO SOBRE LA VIABILIDAD DEL *BIFIDOBACTERIUM ANIMALIS* MICROENCAPSULADO. 213  
RODRÍGUEZ-RESTREPO Yeimy A. ORREGO Carlos E, RODRÍGUEZ-BARONA Sneyder
- COMPORTAMIENTO FRENTE AL AGUA DE UNA MATRIZ BIODEGRADABLE DE HARINA DE YUCA RECUBIERTA CON COLOFONIA 217  
Aley René CERÓN MOSQUERA M.Sc., Héctor Samuel VILLADA CASTILLO Ph.D.
- EVALUACIÓN DE LA PERMEABILIDAD DE UN RECUBRIMIENTO ELABORADO A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA NATIVO Y MODIFICADO 222  
Sandra P. PAZ PEÑA, Silvio A. MOSQUERA SÁNCHEZ, Héctor S. VILLADA CASTILLO
- CONTENIDO DE GRASA TOTAL, PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS Y TRIGLICÉRIDOS PROVENIENTE DE CACAOS FINOS DE AROMA: COLOMBIA, ECUADOR, PERÚ, VENEZUELA 226  
RIAÑO H.NM, CHICA M.MJ, ECHEVERRI G.LF, AGUIRRE M.JL ORTIZ. A, Rocío Del Pilar PINEDA S.R, OLARTE N.HH
- DESHIDRATACIÓN DE AFRECHO DE YUCA POR MÉTODOS COMBINADOS 231  
Karen CONTRERAS LOZANO Plácido ARRIETA BOLAÑO, Jairo SALCEDO MENDOZA, Manuel CERVERA RICARDO
- EVALUACIÓN DEL SECADO DE MELON (*Cucumis melo* L.) MEDIANTE SECADO CONVECTIVO Y BOMBA DE CALOR 236  
ESPINOSA-SANDOVAL L.A.; ORMAZA A.M.Z.; AYALA-APONTE A.A.
- SECADO CONVECTIVO CON AIRE CALIENTE EN MUESTRAS DE MELÓN (*Cucumis melo* L.)". 241  
ESPINOSA-SANDOVAL L.A., ORMAZA A.M.Z., AYALA-APONTE A.A.
- DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS (CATEQUINAS, CAFEÍNA, ÁCIDOS ORGÁNICOS) EN TE VERDE (*Camellia sinensis*) USANDO CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA RESOLUCIÓN 245  
RAMIRÉZ-ARISTIZABAI L.S. ORTIZ A. OSPINA-OCAMPO L.F.,
- UTILIZACION DE AFRECHO DE YUCA EN GALLETAS 250  
Maribel GARCÍA, Jairo SALCEDO, Elvis HERNANDEZ
- DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE LETALIDAD TERMICA F<sub>0</sub> EN CONSERVAS DE ARVEJA ANDINA Y SUREÑA (*Pisum sativum*) 255  
Yamid A. PINCHAO Ing.; Oswaldo OSORIO Ph.D.
- CORRELACION DEL INDICE DE MADUREZ DE UCHUVA (*Physalis peruviana*) Y TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum*) CON LA CONCENTRACIÓN DE CAROTENOIDES 260  
Yamid A. PINCHAO Ing., Oswaldo OSORIO Ph.D., Luis ORDOÑEZ-SANTOS Ph.D.

- MODELAMIENTO DE LA CINÉTICA DE HIDRÓLISIS DE LAS PROTEÍNAS DEL PLASMA SANGUÍNEO BOVINO CON ENDOPROTEASA ALCALINA BACTERIANA 264  
Pedro J. BARRAGÁN Ph.D.(c), Óscar J. SÁNCHEZ Ph.D., Sandra MONTOYA Ph.D.
- BEBIDA DE CAFÉ POR EL MÉTODO DE GOTEO (MÉTODO AMERICANO) 269  
Julián David LARGO JARAMILLO, Ing. Félix Octavio DÍAZ ARANGO Msc. Luis Fernando MEJÍA GUTIÉRREZ. Msc.
- ANALISIS DE CALIDAD DEL ACEITE DE PALMA Y SNACKS DE PLATANO DOMINICO HARTON, MUSA AAB SIMONDS EN PROCESO DE FRITURA 274  
Julián David LARGO JARAMILLO, Ing.; Luis Fernando MEJÍA GUTIÉRREZ, Msc., Félix Octavio DÍAZ ARANGO, Msc.
- EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE ENSILAJE COMO MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SUBPRODUCTOS DE TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*) 278  
Alan Fernando MUÑOZ VELASCO, Ing., Jhon Edisson BUCHELI IMBACHI, Ing., Rocío BONILLA MÉNDEZ, M.Sc (c), José Luis HOYOS CONCHA, Ph. D (c)
- EFECTO DE LA PRESION SOBRE LOS PARAMETROS DE CALIDAD (COLOR-TEXTURA) DE CHIPS DE PLATANO VERDE DURANTE LA FRITURA POR INMERSION 283  
Santiago RESTREPO LOPEZ Ing. Alimen Francisco J. CASTELLANOS GALEANO Ph.D, Daniel F. LEYTON TRIANA Ing. Alimen
- EFECTO DE LA PRESIÓN EN EL DETERIORO DE ACEITE EN LA FRITURA POR INMERSIÓN DE RODAJAS DE PLÁTANO VERDE 289  
Francisco J. CASTELLANOS GALEANO Ph.D, Daniel F. LEYTON TRIANA Ing. Alimen, Santiago RESREPO LOPEZ Ing. Alimen
- CAMBIOS EN MICROBIOTA DEL ENSILAJE DE RESIDUOS DE PESCADO CON *L. plantarum* AISLADA DE INTESTINO DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*) 294  
PLAZA, J. L. M.Sc., BOLÍVAR, G. Ph.D., RAMÍREZ, C. Ph.D.
- EFECTO DEL SECADO DEL ENSILADO DE RESIDUOS DE PESCADO CON *L. plantarum* SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL PRODUCTO 299  
PLAZA, J. L. M.Sc., BOLÍVAR, G. Ph.D., RAMÍREZ, C. Ph.D.
- EVALUACIÓN DE UNA PELÍCULA DE ALTA BARRERA PARA EL ALMACENAMIENTO DE CAFÉ EN ATMOSFERAS MODIFICADAS 304  
Félix Octavio DÍAZ ARANGO, Luis Fernando MEJÍA Libardo LEÓN AGATÓN
- DESARROLLO DE CAFÉ EXPRESS A PARTIR DE MEZCLAS DE CAFÉ COLOMBIANO 310  
Félix Octavio DÍAZ ARANGO, Luis Fernando MEJÍA Libardo LEÓN AGATÓN
- APORTE RADIANTE DURANTE EL SECADO POR VENTANA DE REFRACTANCIA DE RODAJAS DE ZAPALLO (*Cucurbita maxima*) 315  
M. J. ORTIZ-JEREZ, Ph.D.; C. I. OCHOA-MARTÍNEZ, Ph.D.
- EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE HUMEDAD Y CAMBIOS DE COLOR EN AHUYAMA (*Cucúrbita moschata*) SOMETIDA A OSMODESHIDRATACIÓN Y FRITURA POR INMERSIÓN 320  
Jhonatan RODRÍGUEZ Esp. G.E, Francisco J. CASTELLANOS Ph.D., Armando ALVIS B. Ph.D., Luis F. GUTIÉRREZ Ph.D. William Y. DÍAZ Ing. Alimen., Danny GARZÓN J. Ing. Alimen.
- EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE HUMEDAD Y CAMBIOS DE COLOR EN UNA HAMBURGUESA DE RES COMERCIAL SOMETIDA A FRITURA POR INMERSIÓN 325  
Pedro ROMERO M.Sc., Francisco J. CASTELLANOS Ph.D., Luis F. GUTIÉRREZ Ph.D. William Y. DÍAZ Ing. Alimen., Jhonatan RODRÍGUEZ Esp. G. E., Santiago RESTREPO Ing. Alimen.
- CONGELACIÓN DE ARVEJA EMPLEANDO UN SISTEMA DE CONGELACIÓN INDIVIDUAL, IQF 330  
Karen LOAIZA L., Stephanía ERAZO C., Carlos VELEZ P. Ph.D.
- EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA PRE-COCCIÓN SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y ESTRUCTURALES DEL PLÁTANO DOMINICO HARTÓN (*MUSA AAB SIMMONDS*) 335  
Sandra Liliana CARDONA CARVAJAL, Germán A. GIRALDO G., Lina Marcela AGUDELO-LAVERDE
- EFECTO DE LA FERMENTACIÓN SÓLIDA EN GRANOS DE SOYA CON *Rhizopus oryzae* (MUCL 28168) SOBRE LOS INHIBIDORES DE TRIPSINA 339  
HIDALGO Estefanía IDA, López Daniel IDA, BOLÍVAR Germán Ph.D., RAMÍREZ Cristina Ph. D., LONDOÑO Liliana M. Sc.
- CAMBIOS ESTRUCTURALES DE FILETES DE TILAPIA BIOCONSERVADOS MEDIANTE IMPREGNACIÓN CON BACTERIAS LÁCTICAS 345  
Constanza MONTALVO – RODRÍGUEZ, Cristina RAMÍREZ – TORO, Germán BOLÍVAR – ESCOBAR

- EFECTO DE LA TEMPERATURA Y LA VELOCIDAD DE ROTACION DE TORNILLOS SOBRE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UNA PELÍCULA FLEXIBLE BIODEGRADABLE 350  
William Vicente GUERRERO PALACIOS, Giovanni Alejandro VARONA BELTRÁN, Diego Fabián JOAQUI DAZA, Héctor Samuel VILLADA CASTILLO
- BIOPRESERVACIÓN CON *Lactobacillus plantarum* JCM 1149 Y SECADO POR BOMBA DE CALOR DE RODAJAS DE MELÓN CANTALOUPE (*Cucumis melo*) 355  
Johana BOLÍVAR-MONSALVE Ing., Claudia RUBIANO-GAVILÁN Ing., Cristina RAMÍREZ-TORO Ph.D., Juan Carlos GÓMEZ-DAZA Ph.D., Germán A. BOLÍVAR Ph.D.
- CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE PELÍCULAS A BASE DE GOMA XANTÁN 361  
Leidy Carolina AYALA-SÁNCHEZ Ing., Henry A. VAQUIRO H. Ph.D.; José F. SOLANILLA D. Ph.D.
- ANALISIS DE LAS ISOTERMAS DE DESORCION DURANTE EL PROCESO DE TOSTION DEL CAFÉ VERDE 366  
Adriana Paola TABARES ARENAS\*, Luis Fernando MEJÍA, Félix Octavio DIAZ
- ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE MASA DURANTE EL PROCESO DE TOSTION DEL CAFÉ VERDE VARIEDAD CASTILLO 371  
Adriana Paola TABARES ARENAS, Félix Octavio DIAZ, Luis Fernando MEJÍA
- EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA DE HIDROSECADO EN CÁSCARAS DE NARANJA (*Citrus Sinensis*) CASSO-HARTMANN, L.M., POLANÍA-RIVERA, A.M.Ing., AYALA-APONTE, A.A.Ph.D. 375
- CAMBIOS DE COLOR EN CASCARA DE NARANJA (*Citrus Sinensis*) USANDO LA TÉCNICA DE HIDROSECADO 379  
POLANÍA-RIVERA, A.M., CASSO-HARTMANN, L.M., AYALA-APONTE, A.A.
- ESTUDIO DE LAS MERMAS DE CAFÉ PERGAMINO DURANTE EL ALMACENAMIENTO EN REFRIGERACIÓN 383  
Luis Alfonso TRUJILLO OTÁLVARO, Ing, Luis Fernando MEJÍA GUTIÉRREZ. MSc, Félix Octavio DÍAZ ARANGO. MSc
- SECADO POR ASPERSIÓN DE SOLUCIONES MODELO REPRESENTATIVAS DE ZUMOS DE FRUTAS 387  
Dadyan Raquel FLAQUER-FLOREZ; Diana María DELGADO-SOLARTE; Alejandro FERNÁNDEZ-QUINTERO Ph.D.; Claudia Isabel OCHOA-MARTÍNEZ Ph.D.
- EVALUACIÓN DE PROTOCOLOS PARA EL ESTABLECIMIENTO Y DESINFECCIÓN *in vitro* DE MERISTEMOS DE PLATANO *Musa spp* 391  
Lina María ARBELÁEZ A, Jairo MONTOYA L., Sergio Andrés SAAVEDRA R.
- CARACTERISITICAS FISCOQUÍMICAS DE LA HARINA DE PLÁTANO (*Musa Paradisiaca*) DOMINICO HARTON Y HARINA DE TRIGO COMERCIAL CON TENDENCIAS FUNCIONALES 396  
Jairo MONTOYA L., Sneyder RODRIGUEZ -BARONA, German GIRALDO G.
- DETERMINACIÓN DE LA DIFUSIVIDAD DE HUMEDAD Y EL COEFICIENTE CONVECTIVO EN FRITURA POR INMERSIÓN DE PLÁTANO (*MUSA PARADISIACA AAB*) 400  
Mario Humberto MARÍN MARÍN Ing. Alimen' Francisco Javier CASTELLANOS GALEANO Ph.D, Lorenzo Julio MARTÍNEZ HERNÁNDEZ M.Sc.
- INFLUENCIA DE UN PRETRATAMIENTO OSMÓTICO SOBRE LA CALIDAD FÍSICA DEL MELÓN CONGELADO POR IQF Y SU EVALUACIÓN EN ALMACENAMIENTO 406  
CASTELLANOS-BASTIDAS, L.H., MURILLO-VILLADA, K., ORTEGA-VILLALBA, K.J., VÉLEZ-PASOS, C.A., AYALA-APONTE, A.A.
- MODELO DE NEGOCIO PARA INICIATIVAS EN CTel. UNA APLICACIÓN PARA LA AGROINDUSTRIA PISCÍCOLA EN EL CAUCA 410  
Wilfred Fabián RIVERA, José Luis HOYOS CONCHA
- BIOCONSERVACION DE MANGO (*TOMMY ATKINS*) MEDIANTE IMPREGNACION A VACIO DE BACTERIAS ACIDO LACTICAS 415  
MUÑOZ-ARTUNDUAGA, K., RAMÍREZ-TORO C. AYALA-APONTE, A.A.
- EFECTO DE UNA BIOPELÍCULA DE ALGINATO EN LA CONSERVACIÓN DE CEBOLLA LARGA (*Allium fistulosum* L.) 419  
Gladys ROZO M.Sc. Dolly GÓMEZ M.Sc. Claudia ROZO M.Sc.
- CAMBIOS EN LA VISCOELASTICIDAD DE PITAHAYA AMARILLA (*Selenicereus megalanthus*) LIOFILIZADA DURANTE EL ALMACENAMIENTO A DIFERENTES TEMPERATURAS 424  
GIRALDO-CUARTAS, C.J., Ph.D., AYALA-APONTE, A.A., Ph.D.; SERNA-COCK, L., Ph.D.
- MARCO DE REFERENCIA PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DEL MODELO DE GESTIÓN DEL CENTRO BIOTECNOLÓGICO AGROINDUSTRIAL-CBA 428  
Gloria Liliana ROJAS F., Alberto de J. GONZÁLEZ, José Luis HOYOS C.

- PRODUCCIÓN DE CELULOSA BACTERIANA EN COROZO DE LATA (*Bactris guineensis*): UNA ALTERNATIVA DE IMPLEMENTACIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA 433  
Olga PERNA M., Rubén JARAMILLO L., Adriana GONZALEZ V.
- EVALUACIÓN DE UN ALIMENTO SEMISÓLIDO TIPO MAYONESA A BASE DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) COMO SUSTITUTO PARCIAL POR ACEITE VEGETAL 438  
Lizeth BARRIOS. Ing., Oswaldo OSORIO M. Ph.D. Andrés CERÓN M.Sc. (c), Lucy Marcela FIGUEROA. Ing.
- EFECTO DE LA FERMENTACIÓN CON *RHIZOPUS ORYZAE* SOBRE EL CONTENIDO DE ALMIDÓN Y OTROS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE GRANOS DE SORGO 442  
Carlos CEBALLOS-GONZÁLEZ, Oscar MONTES-GÁLVEZ, Liliana LONDOÑO-HERNÁNDEZ M.Sc., Cristina RAMÍREZ-TORO Ph.D., Germán A. BOLÍVAR Ph.D.
- OPTIMIZACIÓN DE UN SUSTRATO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE *Lactobacillus casei subsp. rhamnosus* EMPLEANDO RESPUESTAS MÚLTIPLES 447  
Vladimir VALLEJO-CASTILLO M.Sc. Ph.D. (c), Viviana RÚALES-GUZMÁN M.Sc. Ph.D. (c), Milena GUERRERO-FLÓREZ M.Sc. Ph.D. (c) ; Oscar BURBANO-FIGUEROA M.Sc .
- EFECTO DE LA TEMPERATURA Y LA VELOCIDAD DE ROTACION DE TORNILLOS SOBRE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UNA PELÍCULA FLEXIBLE BIODEGRADABLE 451  
Willian Vicente GUERRERO PALACIOS, Giovanni Alejandro VARONA BELTRÁN, Diego Fabián JOAQUIN DAZA, Héctor Samuel VILLADA CASTILLO
- DISEÑO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO PARA EL ENLATADO DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) DE DOS VARIETADES SUREÑA Y ALCALÁ 455  
William DIAZ L. M.Sc., Andrés CERÓN C. M.Sc. (c), Oswaldo OSORIO M. Ph.D.
- EVALUACIÓN DE ALGUNAS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO SOBRE LA COLORIMETRÍA DE UN PRODUCTO CONFITADO A BASE DE PANELA (MELCOCHA) 460  
Julián M. ACOSTA MARTÍNEZ M.Sc (c), Hugo A. GOMAJOA ENRIQUES M.Sc (c), David E. ÁLVAREZ SÁNCHEZ M.Sc., Oswaldo OSORIO MORA Ph.D.
- OPORTUNIDADES DE CRECIMIENTO DEL SUBSECTOR PRODUCTIVO DE ARVEJA (*Pisum Sativum* L.) DE NARIÑO A NIVEL NACIONAL 464  
Ruben D. SOLARTE. M.Sc (c), Oswaldo OSORIO Ph.D
- ANALISIS INSTRUMENTAL DEL COLOR EN LA MADURACIÓN DE CARNE DE CORDEROS DE PELO 469  
William ALBARRACÍN Ph.D., Ivan SÁNCHEZ M. Sc., Camilo VILLEGAS Ing.
- COMPATIBILIDAD *IN VITRO* DE AGROQUÍMICOS, BIOINSUMOS Y ACEITE ESENCIAL EN EL CONTROL DE *Macrophomina phaseolina* AISLADO DE FRÍJOL 473  
TOFIÑO-RIVERA, A; ROYERO-LÓPEZ, L, ORTEGA-CUADROS, M
- EVALUACIÓN *IN VITRO* DE COMPATIBILIDAD DE AGROQUÍMICOS, BIOINSUMOS Y ACEITE ESENCIAL SOBRE EL CONTROL DE *Colletotrichum gloeosporioides* AISLADO DE AJÍ 478  
TOFIÑO-RIVERA, A; CHINCHILLA-SÁNCHEZ, K; ORTEGA-CUADROS, M
- INFLUENCIA DE PRESIÓN Y TIEMPO EN PROPIEDADES SENSORIALES, BROMATOLÓGICAS Y MICROBIOLÓGICAS EN PRODUCTO A BASE DE BERENJENA (*Solanum melongena* L) 483  
Luis Carlos BALETA MEDRANO. M.Sc., Rafael Emilio GONZÁLEZ CUELLO. Ph.D., Ricardo PEÑA FLÓREZ. M.Sc..
- SIMULACIÓN DEL PROCESO DE REFINACIÓN DE ACEITE DE PALMA 487  
María B. OCAMPO Ing. Alim., Luis F. GUTIÉRREZ Ph.D., Óscar J. SÁNCHEZ Ph.D.
- EVALUACIÓN DE HARINA DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) VARIEDAD SUREÑA COMO SUSTITUTA PARCIAL EN PANIFICACIÓN 493  
Andrés CERÓN C. MSc. (c), Evelyn CHICAIZA F. Ing., Oswaldo OSORIO M. Ph.D., Diego MEJIA E. MSc.
- EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL LÍQUIDO DE COBERTURA AADICIONADO CON CALCIO EN ARVEJAS (*Pisum sativum* L.) ENLATADAS A DIFERENTES HUMEDADES 498  
Andrés CERÓN C. M.Sc. (c), Oswaldo OSORIO M. Ph.D., Lizeth BARRIOS B. Ing.
- ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE ACEITES ESENCIALES DE *LIPPIA ALBA* Y *CYMBOPOGON CITRATUS* SOBRE *STREPTOCOCCUS MUTANS* Y CITOTOXICIDAD EN CÉLULAS CHO 503  
ORTEGA-CUADROS M, TOFIÑO-RIVERA, A; MENA-ALVAREZ O MARTÍNEZ-PABÓN MC.
- VIABILIDAD DE LA UTILIZACION DE IMÁGENES TERMOGRÁFICAS COMO CONTROL DE ALMACENAMIENTO DE CARNE FRESCA DE BOVINO 507  
O.L. TORRES-VARGAS, A.J. GARCÍA-SALCEDO; K.J. FIGUEROA-LÓPEZ
- INFLUENCIA DE NANOPARTÍCULAS DE AJO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE HAMBURGUESAS 512  
O.L. TORRES-VARGAS, A.J. GARCÍA-SALCEDO; K.J. FIGUEROA-LÓPEZ

- EFICIENCIA BIOLÓGICA COMO VARIABLE DE BIOPROCESAMIENTO DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS PARA LA PRODUCCIÓN DEL HONGO COMESTIBLE Y MEDICINAL (*Pleurotus ostreatus*) 518  
Olga L. BENAVIDES CALVACHE, Hugo RUIZ ERASO, Daniel ARAUJO
- PRODUCCIÓN DE UN MEJORADOR DE SUELOS A PARTIR DE LA TRANSFORMACIÓN BIOLÓGICA DE PULPA DE CAFÉ (*Coffea arabica*), CEPA DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) Y ESTIERCOL DE CUY (*Cavia porcellus*) 522  
Danilo BETANCOURT, Carlos RODRÍGUEZ, Olga L. BENAVIDES
- ACEITE ESENCIAL DE *Lippia origanoides* COMO POSIBLE PRODUCTO BIORRACIONAL EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum*) 526  
David E. ALVAREZ SÁNCHEZ M.Sc., Andrés M. HURTADO BENAVIDES Ph.D., Julián M. ACOSTA Martínez. I.A.
- EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE CHIPS DE 12 VARIEDADES DE MUSÁCEAS GENOTIPO AAB SOMETIDAS A FRITURA POR INMERSIÓN 531  
Magda Ivonne PINZÓN F., Jairo MONTOYA L., Juan Carlos LUCAS A.
- EVALUACIÓN DE LA TEXTURA DE UNA EMULSIÓN CÁRNICA EMPLEANDO MEZCLAS DE HARINA DE ARROZ (*Oryza sativa*) PARTIDO Y ALMIDÓN COMERCIAL 536  
Pedro ROMERO Msc. Armando ALVIS Ph.D., Carlos GARCIA Msc.
- COLESTEROL EN QUESOS PRODUCIDOS MEDIANTE REMPLAZO DE GRASA LÁCTEA POR LÍPIDOS DE AGUACATE (*Persea americana var. Hass*) 540  
Rosa N. AGUIRRE C., José V. HIGUERA M., Fernando ARENAS G., Guillermo A. CORREA L.
- CARACTERIZACIÓN TÉRMICA Y COMPOSICIONAL DE HARINAS EXTRAÍDAS DE 30 VARIEDADES DE MUSÁCEAS COMO ALTERNATIVAS EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA 545  
LUCAS-AGUIRRE JC, VELÁSQUEZ-HERRERA JD, QUINTERO-CASTAÑO VD.
- EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS Y COMPOSICIONALES DE ALMIDONES EXTRAÍDOS DE 26 VARIEDADES DE MUSÁCEAS 551  
LUCAS-AGUIRRE JC, VELÁSQUEZ-HERRERA JD, QUINTERO-CASTAÑO VD
- EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA TEXTURA EN 30 VARIEDADES DE MUSÁCEAS DURANTE EL PROCESO DE COCCIÓN EN AGUA Y VAPOR 557  
HENAO OSSA Johan Sebastián, VELÁSQUEZ-HERRERA JD, LUCAS AGUIRRE Juan Carlos.
- COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD EN EL PROCESO DE FRITURA DE 8 VARIEDADES DIFERENTES DE MUSÁCEAS DEL GENOTIPO AAA 562
- HENAO OSSA JS, VELÁSQUEZ HERRERA JD, LUCAS AGUIRRE JC.
- EVALUACIÓN DEL PROCESO DE HIDROCAVITACIÓN EN LA CONSERVACIÓN DE PULPA DE LULO (*Solanum quitoense*) 567  
Daniel CARDONA, Ing Alimen., Luis F. GUTIÉRREZ Ph.D., José F. GONZÁLEZ, M.Sc.
- EFECTO DE LA HIDROCAVITACIÓN EN LA LIBERACIÓN DE AZÚCARES DEL ASERRÍN DE ROBLE: EVALUACIÓN EXPLORATORIA 572  
Daniel F. CARDONA Ing. Alim., Luis F. GUTIÉRREZ Ph.D., Óscar J. SÁNCHEZ Ph.D.
- COMPARACIÓN CUANTITATIVA DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN TOMATE CHONTO Y AHUYAMA POR LOS MÉTODOS ABTS, DPPH Y VOLTAMPEROMETRÍA CÍCLICA 576  
Irma M. GARCÍA G. Henry REYES P., Alejandra ECHEVERRY A., Jhon A. RODRIGUEZ E.
- DETERMINACIÓN ELECTROQUÍMICA DE ANTIOXIDANTES PRESENTES EN LA AHUYAMA Y EL TOMATE CHONTO 580  
Irma M. GARCÍA G. Henry REYES P., Alejandra ECHEVERRY A., Jhon A. RODRIGUEZ E.
- DETERIORO DE UNA BOLSA BIODEGRADABLE DE ALMIDÓN DE YUCA CON ÁCIDO POLILÁCTICO EN UN VIVERO 585  
Jhon Jairo PALECHOR TRÓCHEZ, Alcy Rene CERÓN MOSQUERA, Héctor Samuel VILLADA CASTILLO, Margarita del Rosario SALAZAR SÁNCHEZ
- SECADO POR ATOMIZACIÓN DE EXTRACTOS DE *Furcraea spp* Y EVALUACIÓN DE SU CAPACIDAD FUNGISTÁTICA SOBRE *M. roreri* Y *P. palmivora* 590  
Rojas S. Myriam, APRAEZ Alexander, MUÑOZ S. Alexander
- INFLUENCIA DE LA VARIEDAD EN LA CALIDAD DE LA PULPA DE GUAYABA 595  
Carlos GARCIA Msc., Armando ALVIS Ph.D. Guillermo ARRAZOLA Ph.D.
- COMPORTAMIENTO REOLOGICO DE ALMIDON DE YUCA FERMENTADO 599  
Carlos GARCIA Msc., Fernando HERNÁNDEZ Msc., Maribel GARCÍA
- ANÁLISIS COLORIMÉTRICO EN UNA EMULSIÓN DE CARNE DE CARNERO (*Ovis Aries*) Y CARNE DE BOVINO (*Bos Indicus*) 604  
Gilma PADILLA Ing, Armando ALVIS Ph.D., Pedro ROMERO Msc.

- ANALISIS DE PERFIL DE TEXTURA EN UNA EMULSIÓN DE CARNE DE CARNERO (*Ovis aries*) Y CARNE DE BOVINO (*Bos Indicus*) 609  
Gilma PADILLA Ing, Armando ALVIS Ph.D. Pedro ROMERO Msc.
- EVALUACIÓN DEL TERMOENCOGIMIENTO EN PELÍCULAS FLEXIBLES OBTENIDAS A PARTIR DE ALMIDÓN, PLASTIFICANTE Y ÁCIDO POLILÁCTICO 614  
Camilo E. MONTILLA-BUITRAGO, Ing, Diego F. JOAQUÍ-DAZA Ing, Héctor S. VILLADA-CASTILLO PhD.
- EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE FLUIDEZ (MFI) Y COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE MEZCLAS DE ALMIDÓN TERMOPLÁSTICO (TPS) Y ÁCIDO POLILÁCTICO (PLA) 618  
Karen L. DELGADO-MUÑOZ, Esp., Alcy R. CERÓN-MOSQUERA, M.Sc., Héctor S. VILLADA-CASTILLO, PhD.
- EFECTO DE PH Y TEMPERATURA EN LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO CON *LACTOBACILLUS CASEI SSP CASEI* (ATCC-393) EN FERMENTACIÓN DISCONTINUA 622  
Lina Marcela AGUDELO-LAVERDE, John Alexander VELÁSQUEZ T. y Germán A. GIRALDO G.
- CARACTERIZACIÓN DE LA CARNE DE BABILLA (*Caimán Crocodylus Fuscus*) EN CAUTIVERIO 626  
Armando ALVIS Ph.D. Pedro ROMERO Msc., Carlos GARCIA Msc.
- COMPORTAMIENTO REOLÓGICA DE LA PULPA DE NONI (*Morinda citrifolia*,L.) 631  
Armando ALVIS Ph.D. Guillermo ARRAZOLA Ph.D., Carlos GARCÍA Msc.
- EXTRACCION ASISTIDA POR MICROONDAS DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES A PARTIR DE CÁSCARA DE PAPA (*Solanum tuberosum*) 635  
Diana CHAVES MORILLO, IAI, Valery BOLAÑOS PATIÑO, IAI, Mauricio BUCHELI JURADO, MSc, Oswaldo OSORIO MORA, PhD
- CUANTIFICACIÓN DE CINAMALDEHÍDO Y RENDIMIENTO EN ACEITE ESENCIAL DE CANELA COMERCIAL OBTENIDO POR HIDRODESTILACION ASISTIDA CON MICROONDAS 640  
Olga L. BENAVIDES C., David ARTURO P., Camilo VILLEGAS
- EVALUACIÓN DE BIOMASA RESIDUAL DE PAPA (*Solanum tuberosum*) COMO SUSTRATO PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL HIDRATADO 643  
William SOSA-ROMERO, Diana BENAVIDES, Renato PANTOJA
- OBTENCION Y CARACTERIZACION DE PECTINA EXTRAIDA DE LA CASCARA DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) MEDIANTE HIDROLISIS ACIDA. 647  
William SOSA-ROMERO, Carmen MARTINEZ, Ivan LOPEZ LEDEZMA.
- FORTALECIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE ASEGURAMIENTO DE INOCUIDAD EN LA INDUSTRIA PROCESADORA DE LECHE DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS 651  
Johana Milena IMBACUÁN MSc. Félix Octavio DÍAZ ARANGO MSc. Luis Fernando MEJÍA GUTIÉRREZ MSc.
- FERMENTACIÓN DE CAFÉ POR VÍA SEMI HÚMEDA PARA LA OBTENCIÓN DE CAFÉ ESPECIAL “HONEY” 656  
Francia M. MEJIA-LOTERO M.Sc, Nadine L. ACERO-REYES, Luisa F. DUQUE-BUITRAGO, Johanna Andrea SERNA-JIMÉNEZ M.Sc
- EFECTO DE LAS CONDICIONES DE FRITURA EN LA GANANCIA DE ACEITE DE RODAJAS DE PLÁTANO IMPREGNADOS CON CALCIO Y CINC 661  
Danny GARZÓN-JIMÉNEZ Ing.Alimen., Francisco Javier CASTELLANOS-GALEANO Ph.D.: Carmen DUSSÁN-LUBERT M.Sc.
- EFECTO DE LAS CONDICIONES DE FRITURA EN CHIPS DE PLÁTANO VERDE RECUBIERTOS CON GOMA GUAR: TEXTURA Y COLOR 667  
Darío F. MARTÍNEZ-PANTOJA. Ing. Alimen., Francisco Javier CASTELLANOS-GALEANO Ph.D.: Carmen DUSSÁN-LUBERT M.Sc.,
- EVALUACIÓN IN-VITRO DEL EXTRACTO FERMENTADO DE PLANTAS EN LA INHIBICIÓN DEL CRECIMIENTO DE *RALSTONIA SOLANACEARUM*, CAUSANTE DE MOKO EN PLÁTANO 673  
Francia Milena MEJÍA- LOTERO, Diana Victoria MELO-SABOGAL, Paula Andrea ORDOÑEZ-NOVOA
- DIAGNÓSTICO DE LA AGROINDUSTRIA RURAL DE ALMIDÓN AGRIO DE YUCA EN LA ZONA PRODUCTORA DEL NORTE DEL CAUCA 678  
Álvaro Javier PANTOJA M., Cindy MATERÓN L., Gonzalo Mauricio JARAMILLO H., José Luis HOYOS C.
- LA ELECTROCOAGULACIÓN COMO ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO DE AGUAS MIELES PROVENIENTES DEL PROCESO DE BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ 684  
Heidy Lorena GALLEGO OCAMPO, Milena MEJÍA FRANCIA
- DISEÑO DE UN METODO RÁPIDO PARA EVALUAR LA TRANSFERENCIA DE SAL EN TINA DE CUAJADO 689  
Rigoberto ROSERO B Esp., Oscar ARANGO BEDOYA Ph.D.1, Diego MEJIA ESPAÑA MSc., Oswaldo OSORIO MORA Ph.D.

- AUMENTO DEL RENDIMIENTO EN QUESO FRESCO CAMPESINO MEDIANTE INCORPORACIÓN DE PROTEÍNAS SÉRICAS HÚMEDAS 693  
Rigoberto ROSERO B. Esp., Oscar ARANGO BEDOYA Ph.D.1, Diego MEJIA ESPAÑA MSc., Oswaldo OSORIO MORA Ph.D.
- EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS VARIABLES DE PROCESO EN LA CALIDAD DEL MELÓN (*CUCUMIS MELO*) EN ALMÍBAR 697  
Elvis J. HERNÁNDEZ; Fernando A. MENDOZA-CORVIS, Roberto C. RAMÍREZ
- ADICIÓN DE HARINA DE YUCA EN MASAS DE PANIFICACIÓN 702  
Elvis J. HERNÁNDEZ, Luis E. RUIZ, Fernando A. MENDOZA-CORVIS
- EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE SEMILLAS DE (*Moringa Oleífera lam.*) COMO COAGULANTE NATURAL EN LA CIUDAD DE PASTO - COLOMBIA 708  
Fabio GÓMEZ M; Lorena SALAZAR G
- OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN SENSORIAL DE UN AGUA SABORIZADA CON EXTRACTO DE MENTA *Coleus amboinicus Lour* 713  
John Alexander VELÁSQUEZ T., Germán GIRALDO G.
- MEJORANDO LA SEGURIDAD ALIMENTARIA - APROVECHAMIENTO DE CARNE DE CARAS PARA DESARROLLAR UN ALIMENTO EXTRUIDO PARA CANINOS 718  
Paola A. ALMEIDA; Olga R. HENAO G.; Harold A. ACOSTA-ZULETA. Ph.D.
- MEJORANDO LA SEGURIDAD ALIMENTARIA - DESARROLLO Y EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE UNA HARINA COMPUESTA DE TRIGO, GARBANZO Y BRÓCOLI 722  
María Isabel PÁEZ-VALENCIA, Ing. Alimentos; Harold ACOSTA- ZULETA, Ph.D..
- CONSERVACIÓN DE MORA DE CASTILLA (*Rubus glaucus Benth*) MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE 727  
Camilo VILLEGAS Ing., William ALBARRACÍN Ph.D., Oswaldo OSORIO Ph.D.
- ANALISIS SENSORIAL DEL COLOR EN LA MADURACIÓN DE CARNE DE CORDEROS DE PELO 731  
William ALBARRACÍN Ph.D., Ivan SÁNCHEZ M. Sc., Luz RESTREPO M. Sc.
- EFECTO DEL PROCESO DE FRITURA PLANA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS Y MECÁNICAS DE ARVEJA (*Pisum sativum L.*) 735  
Oswaldo OSORIO M. Ph.D. Andrea MOLINA C. MSc., Andrés CERÓN C. MSc (c)
- ANALISIS INSTRUMENTAL DE LA TEXTURA EN LA MADURACIÓN DE CARNE DE CORDEROS DE PELO 740  
William ALBARRACÍN Ph.D., Ivan SÁNCHEZ M. Sc., Camilo VILLEGAS Ing.
- ANALISIS SENSORIAL DE LA TEXTURA EN LA MADURACIÓN DE CARNE DE CORDEROS DE PELO 745  
William ALBARRACÍN Ph.D., Ivan SÁNCHEZ M. Sc., Luz RESTREPO M. Sc.
- PROPIEDADES POSCOSECHA DEL BANANO GROSS MICHEL RECUBIERTO CON PROTEÍNA DE LACTOSUERO Y QUITOSANO 749  
Kadaffi León ARCE ORTIZ, M.Sc., Karen Johana ORTEGA VILLALBA, M.Sc., Claudia Isabel OCHOA-MARTINEZ, Ph.D. y Carlos VÉLEZ PASOS, Ph.D.
- EFECTO DEL ULTRASONIDO EN LAS PROPIEDADES TÉRMICAS DE ALMIDÓN DE TRIGO. 754  
V.M. GELVEZ. Ph. D., J. LUNA. M.Sc. Y CAMPO, M.Sc.
- PROPIEDADES FUNCIONALES Y PERFIL DE TEXTURA DE UN QUESO DE LECHE DE CABRA 759  
V.M. GELVEZ. Ph.D., M. BARRERA, M.Sc. Y CAMPO, M.Sc..
- EFECTO DEL SECADO DEL CÁLIZ DE UCHUVA (*Physalis peruviana L.*) EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DURANTE EL ALMACENAMIENTO REFRIGERADO 764  
Silvia VALENCIA-CHAMORRO Ph.D.\*, Cristina VINUEZA-LÓPEZ Ing.
- HONGOS CAUSANTES DE PODREDUMBRES EN LA POSCOSECHA DE MORA (*Rubus glaucus*): AISLAMIENTO, IDENTIFICACIÓN, Y EVALUACIÓN DEL GÉNERO MÁS AGRESIVO 769  
Silvia VALENCIA-CHAMORRO Ph.D.; Jessica GUEVARA Z. Ing; Daisy PÁEZ C. Ing; Rosa VILAPLANA V. Ph.D.
- EVALUACIÓN DEL USO POTENCIAL DE LA TECNOLOGÍA DE ULTRASONIDO SOBRE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y FÍSICOQUÍMICA DE LA PULPA DE AGUACATE 774  
Ana María RESTREPO S. Esp., Ana M. RESTREPO D. MSc., Mayra FUENTES Bact. y Lab., Mónica DURANGO MSc., Leonidas de J. MILLÁN MSc., Julián A. LONDOÑO Ph.D, Susana OCHOA MSc.
- MONITOREO DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS Y ELÉCTRICAS EN LA MADURACIÓN DE LOMOS DE BOVINO (*Longissimus Dorsi*) 779  
A.J. GARCÍA-SALCEDO. Ing.; K.J. FIGUEROA-LÓPEZ. Ing.; O.L. TORRES-VARGAS. Ph.D; H. ARIZA-CALDERÓN. Ph.D

• EVALUACIÓN DE POSTCOSECHA Y CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DE GENOTIPOS DE LULO ( <i>Solanum quitoense</i> Lam.) TOLERANTES A <i>Meloidogyne</i> sp. David E. ALVAREZ SÁNCHEZ M.Sc., Lucía D. CASANOVA GRIJALBA I.AI, Karla E. CÓRDOBA ARCINIEGAS I.AI, Oswaldo OSORIO MORA Ph.D	785
• EVALUACIÓN DE LAS PERDIDAS POSCOSECHA EN PAPAYA ( <i>Carica Papaya</i> L.) VARIEDAD MARADOL VELÁSQUEZ-HERRERA JD. Ing., QUINTERO-CASTAÑO VD. M.Sc., LUCAS-AGUIRRE JC. Dr (c)	790
• CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MORFOLÓGICA DE 8 DIFERENTES BANANOS DE POSTRE DEL GENOTIPO AAA VELÁSQUEZ-HERRERA JD. Ing., QUINTERO-CASTAÑO VD. M.Sc., LUCAS-AGUIRRE JC. Dr (c)	795
• PRODUCCIÓN DEL HONGO COMESTIBLE MAITAKE ( <i>Grifola frondosa</i> ) A ESCALA SEMI-INDUSTRIAL Sandra MONTOYA Ph.D., Óscar J. SÁNCHEZ Ph.D., Diego F. ARIAS Ing. Agr.	800
• CAMBIOS FÍSICOQUÍMICOS DURANTE EL ALMACENAMIENTO DE CARAMBOLO ( <i>Averrhoa carambola</i> L.) MÍNIMAMENTE PROCESADO Julián Felipe CUEVAS-MENA	806
• AISLAMIENTO, IDENTIFICACIÓN, Y EVALUACIÓN DE LOS HONGOS MÁS AGRESIVOS AISLADOS DE PITAHAYA AMARILLA ( <i>Selenicereus megalanthus</i> ) EN EL PERIODO POSCOSECHA VALENCIA-Chamorro S, Ph.D.; PÁEZ D, Ing.; GUEVARA J, Ing.; VILAPLANA R, Ph.D.	810
• EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE PELÍCULAS COMESTIBLES DE GEL DE ALOE VERA Y ALMIDÓN DE YUCA Juan G. REALES A., M.Sc., José G. LARA O., Ing., Luis F. DÍAZ C., Ing.2	815
• DESARROLLO DE TRATAMIENTOS DE DESINFESTACIÓN CON MICROONDAS CONTRA MOSCA MEXICANA DE LA FRUTA ( <i>Anastrepha ludens</i> ) EN MAMEY ( <i>Pouteria sapota</i> ) Noemí ELÍAS-GONZÁLEZ BEng., Abel CERÓN-GARCÍA Ph.D., Julián Andrés GÓMEZ-SALAZAR Ph.D., María Elena SOSA-MORALES Ph.D.	819
• ANALISIS INSTRUMENTAL DEL AROMA EN LA MADURACIÓN DE CARNE DE CORDEROS DE PELO William ALBARRACÍN Ph.D., Ivan SÁNCHEZ M. Sc., Camilo VILLEGAS Ing.	824
• ANALISIS SENSORIAL DEL AROMA Y EL SABOR EN LA MADURACIÓN DE CARNE DE CORDEROS DE PELO William ALBARRACÍN Ph.D., Ivan SÁNCHEZ M. Sc., Luz RESTREPO M. Sc.	828
• COMPUESTOS VOLÁTILES DE LA FRACCIÓN VOLÁTIL EN PULPA DE LULO ( <i>S. quitoense</i> L.) BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO Eduardo Javid CORPAS IGUARÁN, PhD; Gonzalo TABORDA OCAMPO, PhD; Omar Tapasco ALZATE, PhD; Aristoteles ORTIZ, M.Sc.	831
• CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE CLOROFILA Y PESO EN DOS VARIEDADES DE ARVEJA ( <i>Pisum sativum</i> L.) ALMACENADA A DIFERENTES TEMPERATURAS Laura LATORRE V. M.Sc. (c), Diego MEJÍA E. MSc., Oswaldo OSORIO M. Ph.D.	836
• CINÉTICA DEL CAMBIO DE FIRMEZA Y HUMEDAD EN ARVEJA ( <i>Pisum sativum</i> L.) DURANTE EL ALMACENAMIENTO Laura LATORRE V. M.Sc. (c), Diego MEJÍA E. MSc., Oswaldo OSORIO M. Ph.D.	840
• IMPORTANCIA DEL SUBSECTOR PRODUCTIVO DE ARVEJA ( <i>Pisum Sativum</i> L.) EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO Ruben D. SOLARTE. M.Sc (c), Oswaldo OSORIO Ph.D, Oscar CHECA Ph.D	844
INSTRUCCIONES A LOS AUTORES	849
INSTRUCTIONS TO AUTHORS	850
CUPÓN DE SUSCRIPCIÓN / SUBSCRIPTION COUPON	853

**NOTA ACLARATORIA:**

La selección de las presentaciones orales y de los poster que se publican en este suplemento, así como la calidad científica de los mismos, es de total responsabilidad del Comité Científico del I Congreso Internacional de Conservación para la Industria Agroalimentaria CINCIA 2016.



**I Congreso Internacional de Conservación  
para la Industria Agroalimentaria CINCIA 2016**

*“INVESTIGACIÓN CON UN PROPÓSITO”.*

**Programación Congreso CINCIA 2016 - Universidad de Nariño**

**Miercoles 16 de Marzo de 2016**

Hora	Tema	Conferencista	Salón
7:00 AM	Inscripciones		
8:00 AM	Apertura Oficial Congeso CINCIA 2016	Palabras Rector Universidad Nariño	Salon Central (1)
		Palabras Gobernacion de Nariño	
		Palabras Coordinacion Congreso	
8:30 AM	USO DE HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS MICROBIOLÓGICOS EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS	Dr. Fernando Sampedro Universidad de Minnesotta - USA	Salon Central (1)
9:15 AM	RESIDUOS DE LA AGROINDUSTRIA COMO FUENTE DE COMPUESTOS BIOACTIVOS (CAROTENOIDES)	Dr. Luis Eduardo Ordoñez Universidad Nacional Palmira	Salon Central (1)
10:00 AM	Descanso (Coffee Break)	Posters	Salon Posters
10:30 AM	A1-042B - CARACTERIZACIÓN DE LA MADUREZ FISIOLÓGICA DEL PLÁTANO DOMINICO HARTÓN POR ESPECTROSCOPIA DE IMPEDANCIA ELECTRICA	Julio César Caicedo Eraso Universidad de Caldas	Salon 1
	A1-031A - BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS COMO ADITIVO PROTECTOR DE MICROORGANISMOS NO DESEABLES EN CARNES CURADAS	Gullermo Arrazola Paternina Universidad de Cordoba	Salon 2
	A1-089 - CAMBIOS ESTRUCTURALES DE FILETES DE TILAPIA BIOCONSERVADOS MEDIANTE IMPREGNACIÓN CON BACTERIAS LÁCTICAS	Constanza Montalvo Rodríguez Universidad del Valle	Salon 3
10:50 AM	A2-072 - AISLAMIENTO, IDENTIFICACIÓN, Y EVALUACIÓN DE LOS HONGOS MÁS AGRESIVOS AISLADOS DE PITAHAYA AMARILLA ( <i>Selenicereus megalanthus</i> ) EN EL PERIODO POSCOSECHA.	Daisy Carolina Páez Cadena Escuela Politécnica Nacional	Salon 1
	A1-106 - BIOCONSERVACION DE MANGO (TOMMY ATKINS) MEDIANTE IMPREGNACION A VACÍO DE BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS	Katerine Muñoz Artunduaga Universidad de Valle	Salon 2
	A2-055 - CAMBIOS FISICOQUÍMICOS DURANTE EL ALMACENAMIENTO DE CARAMBOLO ( <i>Averrhoa carambola</i> L.) MÍNIMAMENTE PROCESADO	Julian Felipe Cuevas Mena - Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira	Salon 3

Hora	Tema	Conferencista	Salón
11:10 AM	A3-050A - ANÁLISIS COLORIMÉTRICO EN UNA EMULSIÓN DE CARNE DE CARNERO ( Ovis Aries) Y CARNE DE BOVINO (Vos Indicus)	Gilma Aurora Padilla Lozano Universidad de Cordoba	Salon 1
	A2-104A - CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE CLOROFILA Y PESO EN DOS VARIETADES DE ARVEJA (Pisum sativum L.) ALMACENADA A DIFERENTES TEMPERATURAS	Laura Inés Latorre Vásquez Universidad de Nariño	Salon 2
	A1-101B - CARACTERISITICAS FISICOQUÍMICAS DE LA HARINA DE PLÁTANO (Musa Paradisiaca) DOMINICO HARTÓN Y HARINA DE TRIGO COMERCIAL CON TENDENCIAS FUNCIONALES	Jairo Montoya López Universidad del Quindío	Salon 3
11:30 AM	A1-014 - ESTABILIDAD FÍSICA DE ADEREZOS EMULSIONADOS CON ADICIÓN DE UCHUVA (Physalis peruviana L.)	Martha Isabel Sánchez Tamayo Universidad del Valle	Salon 1
	A1-109 - CAMBIOS EN LA VISCO ELASTICIDAD DE PITAHAYA AMARILLA (Selenicereus megalanthus) LIOFILIZADA DURANTE EL ALMACENAMIENTO A DIFERENTES TEMPERATURAS	Carlos Julian Giraldo Cuartas Universidad del Valle	Salon 2
	A1-008 - CARACTERÍSTICAS VISCOELÁSTICAS Y CONDICIONES DE GERMINACIÓN DE TRES VARIETADES DE MAÍZ	Leidy Marcela Montoya Devia Universidad del Valle	Salon 3
11:50 AM	A3-113B - AUMENTO DEL RENDIMIENTO EN QUESO FRESCO CAMPESINO MEDIANTE INCORPORACIÓN DE PROTEÍNAS SÉRICAS HÚMEDAS	Oscar Arango Bedoya Universidad de Nariño	Salon 1
	A3-021A - VIABILIDAD DE LA UTILIZACION DE IMÁGENES TERMOGRÁFICAS COMO CONTROL DE ALMACENAMIENTO DE CARNE FRESCA DE BOVINO	Olga Lucía Torres Vargas Universidad del Quindío	Salon 2
	A1-001 - CARACTERIZACIÓN COMPOSICIONAL Y FISICOQUÍMICA DE LECHE DE CABRA (Capra aegagrus hircus) EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO	Soany Karola Erazo Grisales Universidad de Nariño	Salon 3
12:10 PM	A3-032 - ACEITE ESENCIAL DE Lippia origanoides COMO POSIBLE PRODUCTO BIORRACIONAL EN EL CULTIVO DE PAPA (Solanum tuberosum)	David Eduardo Álvarez Sánchez Universidad de Nariño	Salon 1
	A1-037B - CARACTERIZACIÓN FÍSICO MECÁNICA DE BIOPELÍCULAS COMESTIBLES BINARIAS A BASE DE K – CARRAGENATO Y GELANA DE ALTO ACILO	Rafael Emilio González Cuello Universidad de Cartagena	Salon 2
	A3-039A - CARACTERIZACIÓN TÉRMICA Y COMPOSICIONAL DE HARINAS EXTRAÍDAS DE 30 VARIETADES DE MUSÁCEAS COMO ALTERNATIVAS EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA	Juan Carlos Lucas Aguirre Universidad de Quindío	Salon 3
12:30 PM	ALMUERZO LIBRE	ALMUERZO	ALMUERZO
02:00 PM	USO DE RADIOFRECUENCIA COMO ALTERNATIVA EFICAZ PARA LA DESINFECTACIÓN POSTCOSECHA: UNA REVISIÓN PARA ALIMENTOS SECOS	Dra. Maria Elena Sosa. Universidad de Guanajuato, Mexico	Salon Central (1)
02:45 PM	MUSÁCEAS, INVESTIGACIÓN CON PROPÓSITO	Dr. Francisco Castellanos. Universidad de Caldas	Salon Central (1)
03:30 PM	A3-045A - COMPARACIÓN CUANTITATIVA DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN TOMATE CHONTO Y AHUYAMA POR LOS MÉTODOS ABTS, DPPH Y VOLTAMPEROMETRÍA CÍCLICA	Irma Maria García Giraldo Universidad del Quindío	Salon 1
	A1-037A - CONTROL DEL CRECIMIENTO DE LISTERIA MONOCYTOGENES EN SALCHICHONES CERVECEROS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BIOPELÍCULAS ACTIVAS	Rafael Emilio González Cuello - Universidad de Cartagena	Salon 2
	A1-102 - DETERMINACIÓN DE LA DIFUSIVIDAD DE HUMEDAD Y EL COEFICIENTE CONVECTIVO EN FRITURA POR INMERSIÓN DE PLÁTANO (MUSA PARADISIACA AAB)	Mario Humberto Marín Marín Universidad de Caldas	Salon 3
03:50 PM	A1-053 - COMPORTAMIENTO FRENTE AL AGUA DE UNA MATRIZ BIODEGRADABLE DE HARINA DE YUCA RECUBIERTA CON COLOFONIA	Alcy René Cerón Mosquera Universidad del Cauca	Salon 1
	A1-066B - CORRELACION DEL ÍNDICE DE MADUREZ DE UCHUVA (Physalis peruviana) Y TOMATE DE ÁRBOL (Solanum beta-ceum) CON LA CONCENTRACIÓN DE CAROTENOIDES	Yamid Alexis Pinchao Pinchao Universidad de Nariño	Salon 2
	A1-006A - EVALUACIÓN DEL EFECTO DE PRE-TRATAMIENTO CON ULTRASONIDO EN LA EXTRACCION DE FLAVONOIDES CONTENIDOS EN LAS CASCARAS DE CÍTRICOS	Yesenia Campo Vera - Instituto Superior de Educación Rural (ISER)	Salon 3
04:10 PM	Descanso (Coffee Break)	Posters	Salon Posters

Hora	Tema	Conferencista	Salón
04:40 PM	A3-062B - COMPORTAMIENTO REOLÓGICA DE LA PULPA DE NONI (Morinda citrifolia, L.)	Armando Alvis Bermúdez - Universidad de Cordoba	Salon 1
	A1-082B - DESARROLLO DE CAFÉ EXPRESS A PARTIR DE MEZCLAS DE CAFÉ COLOMBIANO	Felíx Octavio Díaz Arango Universidad de Caldas	Salon 2
	A3-059 - EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE FLUIDEZ (MFI) Y COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE MEZCLAS DE ALMIDÓN TERMOPLÁSTICO (TPS) Y ÁCIDO POLILÁCTICO (PLA)	Karen Lorena Delgado Muñoz Universidad del Cauca	Salon 3
05:00 PM	A3-048B - COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE ALMIDON DE YUCA FERMENTADO	Carlos Alberto Garcia Mogollón Universidad de Sucre	Salon 1
	A3-017B - EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL LÍQUIDO DE COBERTURA ADICIONADO CON CALCIO EN ARVEJAS (Pisum sativum L.) ENLATADAS A DIFERENTES	Andrés Felipe Cerón Cardenas Universidad de Nariño	Salon 2
	A1-063A - EVALUACIÓN DEL SECADO DE MELÓN (Cucumis melo L.) MEDIANTE SECADO CONVECTIVO Y BOMBA DE CALOR	Luz América Espinosa Sandoval Universidad del Valle	Salon 3
05:20 PM	A2-096 - COMPUESTOS VOLÁTILES DE LA FRACCIÓN VOLÁTIL EN PULPA DE LULO (S. quitoense L.) BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO	Aristófeles Ortiz Univerisdad Católica de Manizales	Salon 1
	A2-115B - OPORTUNIDADES DE CRECIMIENTO DEL SUBSECTOR PRODUCTIVO DE ARVEJA (Pisum Sativum L.) DE NARIÑO A NIVEL NACIONAL	Rubén Darío Solarte Eraso Universidad de Nariño	Salon 2
	A1-023B - DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE PROPIEDADES TÉRMICAS Y FÍSICAS PARA JUGO DE CAÑA, MIEL Y PANELA	Sebastián Arias Giraldo Universidad de Caldas	Salon 3
05:40 PM	A1-092 - CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE PELÍCULAS A BASE DE GOMA XANTÁN	Leidy Carolina Ayala Sánchez Universidad del Tolima	Salon 1
	A3-038 - COLESTEROL EN QUESOS PRODUCIDOS MEDIANTE REPLAZO DE GRASA LÁCTEA POR LIPIDOS DE AGUACATE (Persea americana var. Hass)	Rosa Nidia Aguirre Castillo - Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín	Salon 2
	A3-071A - EVALUACIÓN DE BIOMASA RESIDUAL DE PAPA (Solanum tuberosum) COMO SUSTRATO PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL HIDRATADO	William Alberto Sosa Ramírez - Universidad de Nariño	Salon 3

### Jueves 17 de Marzo de 2016

Hora	Tema	Conferencista	Salon
8:00 AM	VALIDACION DE MODELOS MATEMÁTICOS EN EL SECADO DE PRODUCTOS AGROINDUSTRIALES	Dr. Henry Vaquiro H. Universidad del Tolima	Salon Central (1)
8:45 AM	PRODUCTOS CÁRNICOS FUNCIONALES: OPORTUNIDADES Y DESARROLLO	Dr. Francisco Jiménez C. ICTAN, CSIC. España	Salon Central (1)
9:30 AM	Descanso (Coffee Break)	Posters	Salon Posters
10:00 AM	A3-108 - DIAGNÓSTICO DE LA AGROINDUSTRIA RURAL DE ALMIDÓN AGRIO DE YUCA EN LA ZONA PRODUCTORA DEL NORTE DEL CAUCA	Álvaro Javier Pantoja Matta Universidad del Cauca	Salon 1
	A3-043B - EFECTO DE LA HIDROCAVITACIÓN EN LA LIBERACIÓN DE AZÚCARES DEL ASERRÍN DE ROBLE: EVALUACIÓN EXPLORATORIA	Daniel Felipe Cardona Naranjo Universidad del Cauca	Salon 2
	A1-025 - EFECTO DE NANOPARTÍCULAS Y MICROPARTÍCULAS DE POLVO DE AJO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DE BARRERA DE PELÍCULAS DE GELATINA	Kelly Johana Figueroa López Universidad del Quindío	Salon 3
10:20 AM	A3-113A - DISEÑO DE UN METODO RÁPIDO PARA EVALUAR LA TRANSFERENCIA DE SAL EN TINA DE CUAJADO	Oscar Arango Bedoya Universidad de Nariño	Salon 1
	A1-077A - EFECTO DE LA PRESION SOBRE LOS PARAMETROS DE CALIDAD (COLOR-TEXTURA) DE CHIPS DE PLATANO VERDE DURANTE LA FRITURA POR INMERSION	Santiago Restrepo López Universidad de Caldas	Salon 2
	A3-061 - EFECTO DE PH Y TEMPERATURA EN LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO CON LACTOBACILLUS CASEI SSP CASEI (ATCC-393) EN FERMENTACIÓN DISCONTINUA	Lina Marcela Agudelo Laverde Universidad del Quindío	Salon 3

Hora	Tema	Conferencista	Salon
10:40 AM	A1-123 - DISEÑO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO PARA EL ENLATA- TADO DE ARVEJA ( <i>Pisum sativum</i> L.) DE DOS VARIEDADES SURE- ÑA Y ALCALÁ	William Díaz - Universidad de Nariño	Salon 1
	A1-051 - EFECTO DE LA TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO SOBRE LA VIABILIDAD DEL BIFIDOBACTERIUM ANIMALIS MI- CROENCAPSULADO	Sneyder Rodríguez Barona Universidad Nacional de Colombia	Salon 2
	A1-004A - EFECTO DEL SECADO CONVECTIVO Y DE VENTANA DE REFRACTANCIA SOBRE COMPUESTOS VOLÁTILES DE "BA- NANO BOCADILLO" ( <i>Musa acuminata</i> Colla) DESHIDRATADO	Ángela María Ormaza Zapata Universidad de Caldas	Salon 3
11:00 AM	A1-006B - EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ULTRASONIDO SO- BRE LAS CINÉTICAS DE SECADO CONVECTIVO DE FRESA ( <i>Fra- garia vesca</i> )	Yesenia Campo Vera - Instituto Superior de Educación Rural (ISER)	Salon 1
	A1-122 - EFECTO DE LA TEMPERATURA Y LA VELOCIDAD DE RO- TACION DE TORNILLOS SOBRE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UNA PELÍCULA FLEXIBLE BIODEGRADABLE	Giovanni Alejandro Barona Beltrán Universidad del Cauca	Salon 2
	A1-080B - EFECTO DEL SECADO DEL ENSILADO DE RESIDUOS DE PESCADO CON <i>L. plantarum</i> SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL PRODUCTO	José Luis Plaza Dorado Universidad del Valle	Salon 3
11:20 AM	A1-118 - EFECTO DE LA FERMENTACIÓN CON RHIZOPUS ORY- ZAE SOBRE EL CONTENIDO DE ALMIDÓN Y OTROS PARÁME- TROS FÍSICOQUÍMICOS DE GRANOS DE SORGO	Carlos Fernando Ceballos Gonzáles Universidad del Valle	Salon 1
	A3-084 - EFECTO DE LAS CONDICIONES DE FRITURA EN CHIPS DE PLÁTANO VERDE RECUBIERTOS CON GOMA GUAR: TEXTU- RA Y COLOR	Darío Fidel Martínez Pantoja Universidad de Caldas	Salon 2
	A2-011A - EFECTO DEL ULTRASONIDO EN LA PROPIEDADES TÉRMICAS DE ALMIDÓN DE TRIGO	Víctor Manuel Gálvez Ordoñez Universidad de Pamplona	Salon 3
11:40 AM	A3-029A - EFICIENCIA BIOLÓGICA COMO VARIABLE DE BIO- PROCESAMIENTO DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS PARA LA PRODUCCIÓN DEL HONGO COMESTIBLE Y MEDICINAL ( <i>Pleu- rotus ostreatus</i> )	Olga Lucia Benavides Calvache Universidad de Nariño	Salon 1
	A1-042A - ESPECTROSCOPIA DE IMPEDANCIA ELÉCTRICA APLI- CADA DURANTE LA FERMENTACIÓN HÚMEDA DEL CAFÉ	Diana Roció Varón Serna - Universidad de Caldas	Salon 2
	A1-083 - APORTE RADIANTE DURANTE EL SECADO POR VEN- TANA DE REFRACTANCIA DE RODAJAS DE ZAPALLO ( <i>Cucurbita maxima</i> )	Mónica Jimena Ortiz Jerez Universidad del Valle	Salon 3
12:00 PM	ALMUERZO LIBRE	ALMUERZO	ALMUERZO
02:00 PM	CATERING: RIESGOS ALIMENTARIOS Y MEDIDAS PREVENTIVAS EN EL SECTOR DE LAS COMIDAS PREPARADAS, SISTEMAS DE AUTOCONTROL APLICADOS, APPCC	MsC. Alberto Genovés Gascó Universidad CEU (Cardenal Herrera), Valencia, España	Salon Central (1)
02:45 PM	DESARROLLO DE NUEVOS MATERIALES DE EMPAQUES BIOAC- TIVOS CON PROPIEDADES ANTIMICROBIANAS	Dra. Paula Perez Espitia. Observatorio del Caribe. Cartagena Colombia	Salon Central (1)
03:30 PM	Descanso (Coffee Break)	Posters	Salon Posters
04:00 PM	A3-017A - EVALUACIÓN DE HARINA DE ARVEJA ( <i>Pisum sativum</i> L.) VARIEDAD SUREÑA COMO SUSTITUTA PARCIAL EN PANIFICA- CIÓN	Andrés Felipe Cerón Cardenas Universidad de Nariño	Salon 1
	A2-027 - EVALUACIÓN DE POSTCOSECHA Y CALIDAD FÍSICO- QUÍMICA DE GENOTIPOS DE LULO ( <i>Solanum quitoense</i> Lam.) TO- LERANTES A <i>Meloidogyne</i> sp.	Lucia de los Ángeles Casanova Grijalba Universidad de Nariño	Salon 2
	A1-082A - EVALUACIÓN DE UNA PELÍCULA DE ALTA BARRERA PARA EL ALMACENAMIENTO DE CAFÉ EN ATMOSFERAS MODI- FICADAS	Félix Octavio Díaz Arango Universidad de Caldas	Salon 3
04:20 PM	A1-095 - EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA DE HIDROSECADO EN CÁSCARAS DE NARANJA ( <i>Citrus Sinensis</i> )	Liseth MarcelaCasso Hartmann Universidad del Valle	Salon 1
	A1-085B - EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE HUMEDAD Y CAMBIOS DE COLOR EN UNA HAMBURGUESA DE RES COMERCIAL SO- METIDA A FRITURA POR INMERSIÓN	Jhonatan Andrés Rodríguez Martínez Universidad de Córdoba	Salon 2
	A1-002 - DETERMINACIÓN DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN RESIDUOS DE FRU- TO DE PAPAYA ( <i>Carica papaya</i> )	Luis Eduardo Ordeñez Santos Universidad Nacional de Colombia	Salon 3

Hora	Tema	Conferencista	Salon
04:40 PM	A1-074 - EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE ENSILAJE COMO MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SUBPRODUCTOS DE TRUCHA ARCOÍRIS ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> )	Roció Bonilla Meléndez Universidad del Cauca	Salon 1
	A1-018A - EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS FÍSICOS DE ARVEJA ( <i>Pisum sativum</i> ) SOMETIDA A PROCESOS DE FRITURA PLANA: ANÁLISIS DE COLOR	Oswaldo Osorio Mora Universidad de Nariño	Salon 2
	A1-066A - DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE LETALIDAD TÉRMICA F0 EN CONSERVAS DE ARVEJA ANDINA Y SUREÑA ( <i>Pisum sativum</i> )	Yamid Alexis Pinchao Pinchao Universidad de Nariño	Salon 3
05:00 PM	A3-035 - EVALUACIÓN DE LA TEXTURA DE UNA EMULSIÓN CÁRNICA EMPLEANDO MEZCLAS DE HARINA DE ARROZ ( <i>Oryza sativa</i> ) PARTIDO Y ALMIDÓN COMERCIAL	Pedro Elías Romero Barragán Universidad de Córdoba	Salon 1
	A2-076 - DESARROLLO DE TRATAMIENTOS DE DESINFESTACIÓN CON MICROONDAS CONTRA MOSCA MEXICANA DE LA FRUTA ( <i>Anastrepha ludens</i> ) EN MAMEY ( <i>Pouteria sapota</i> )	María Elena Sosa Morales Universidad de Guanajuato, Mexico	Salon 2
	A3-043A - EVALUACIÓN DEL PROCESO DE HIDROCAVITACIÓN EN LA CONSERVACIÓN DE PULPA DE LULO ( <i>Solanum quitoense</i> )	Daniel Felipe Cardona Naranjo Universidad de Caldas	Salon 3
05:20 PM	A3-039B - EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS Y COMPOSICIONALES DE ALMIDONES EXTRAÍDOS DE 26 VARIETADES DE MUSÁCEAS	Juan Carlos Lucas Aguirre Universidad del Quindío	Salon 1
	A1-114 - EVALUACIÓN DE UN ALIMENTO SEMISÓLIDO TIPO MAYONESA A BASE DE ARVEJA ( <i>Pisum sativum</i> L.) COMO SUSTITUTO PARCIAL POR ACEITE VEGETAL	Ritha Lizeth Barrios Barrios Universidad de Nariño	Salon 2
	A3-045B - DETERMINACIÓN ELECTROQUÍMICA DE ANTIOXIDANTES PRESENTES EN LA AHUYAMA Y EL TOMATE CHONTO	Irma María García Giraldo Universidad del Quindío	Salon 3
05:40 PM	A1-124 - EVALUACIÓN DE ALGUNAS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO SOBRE LA COLORIMETRÍA DE UN PRODUCTO CONFITADO A BASE DE PANELA (MELCOCHA)	Hugo Andrés Gomajoa Universidad de Nariño	Salon 1
	A1-063B - SECADO CONVECTIVO CON AIRE CALIENTE EN MUESTRAS DE MELÓN ( <i>Cucumis melo</i> L.). ASPECTOS FÍSICOS DE CALIDAD.	Luz América Espinosa Sandoval Universidad del Valle	Salon 2
	A3-047 - SECADO POR ATOMIZACIÓN DE EXTRACTOS DE <i>Furcraea</i> spp Y EVALUACION DE SU CAPACIDAD FUNGISTATICA SOBRE <i>M. roleri</i> y <i>P. palmivora</i>	Myriam Carmenza Rojas Salas - Corporación para la Investigación Aplicada al Desarrollo - CIAD	Salon 3

### Viernes 18 de Marzo de 2016

Hora	Tema	Conferencista	Salon
8:00 AM	PROTEÍNAS EMERGENTES Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA, DETERMINACIONES ESTRUCTURALES Y PROPIEDADES FUNCIONALES DE PROTEÍNAS.	Dra Diana Karina Baigts CIATEJ. Mexico	Salon Central (1)
8:45 AM	EL COLOR DE LOS PRODUCTOS AGROALIMENTARIOS: MÁS ALLÁ DE LOS EFECTOS DEL PROCESAMIENTO - UN ALIADO PARA EL PEQUEÑO PRODUCTOR	Dra. Andrea Molina. USB. Cali	Salon Central (1)
9:30 AM	Descanso (Coffee Break)	Posters	Salon Posters
10:00 AM	A3-052 - EVALUACIÓN DEL TERMOENCOGIMIENTO EN PELÍCULAS FLEXIBLES OBTENIDAS A PARTIR DE ALMIDÓN, PLASTIFICANTE Y ÁCIDO POLILÁCTICO	Camilo Elías Montilla Buitrago Universidad del Cauca	Salon 1
	A3-021B - INFLUENCIA DE NANOPARTICULAS DE AJO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE HAMBURGUESAS	Olga Lucía Torres Vargas Universidad del Quindío	Salon 2
	A1-031B - PERSPECTIVAS DE AGROINDUSTRIALIZACIÓN DEL FRUTO GUAYABITA PELUA ( <i>Eugenia acapulcensis</i> Steud) COSECHADAS EN CÓRDOBA	Guillermo Arrázola Paternina Universidad de Córdoba	Salon 3

Hora	Tema	Conferencista	Salon
10:20 AM	A1-028A - EVALUACION FISICOQUIMICA DE PULPA DE GUANABANA ( <i>Annona muricata</i> L.) TRATADA ENZIMÁTICAMENTE	Victor Dumar Quintero Castaño Universidad del Quindío	Salon 1
	A1-110 - MARCO DE REFERENCIA PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DEL MODELO DE GESTIÓN DEL CENTRO BIOTECNOLÓGICO AGROINDUSTRIAL-CBA	Gloria Liliana Rojas Fernández Universidad del Cauca	Salon 2
	A1-112 - PRODUCCIÓN DE CELULOSA BACTERIANA EN COROZO DE LATA ( <i>Bactris guineensis</i> ): UNA ALTERNATIVA DE IMPLEMENTACIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA	Olga Perna Manrique Universidad de Sucre	Salon 3
10:40 AM	A3-007B - EVALUACIÓN IN VITRO DE COMPATIBILIDAD DE AGROQUÍMICOS, BIOINSUMOS Y ACEITE ESENCIAL SOBRE EL CONTROL DE <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> AISLADO DE AJÍ	Adriana Patricia Tofiño Rivera CORPOICA	Salon 1
	A1-016A - MODELADO DEL SECADO POR CAPA DELGADA DE ARVEJA ( <i>Pisum sativum</i> L.) VARIEDAD SAN ISIDRO, SANTA ISABEL Y ALCALÁ	Darío Camilo Pantoja Espinosa Universidad de Nariño	Salon 2
	A3-029B - PRODUCCIÓN DE UN MEJORADOR DE SUELOS A PARTIR DE LA TRANSFORMACIÓN BIOLÓGICA DE PULPA DE CAFÉ ( <i>Coffea arabica</i> ), CEPA DE PLÁTANO ( <i>Musa paradisiaca</i> ) Y ESTIERCOL DE CUY ( <i>Cavia porcellus</i> )	Olga Lucia Benavides Calvache Universidad de Nariño	Salon 3
11:00 AM	A3-067 - EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES A PARTIR DE CÁSCARA DE PAPA ( <i>Solanum tuberosum</i> )	Diana Melisa Chaves Morillo Universidad de Nariño	Salon 1
	A1-069 - MODELAMIENTO DE LA CINÉTICA DE HIDRÓLISIS DE LAS PROTEÍNAS DEL PLASMA SANGUÍNEO BOVINO CON ENDOPROTEASA ALCALINA BACTERIANA	Pedro José Barragán Arango Universidad de Caldas	Salon 2
	A2-011B - PROPIEDADES FUNCIONALES Y PERFIL DE TEXTURA DE UN QUESO DE LECHE DE CABRA.	Víctor Manuel Gálves Ordoñez Universidad de Pamplona	Salon 3
11:20 AM	A2-115A - IMPORTANCIA DEL SUBSECTOR PRODUCTIVO DE ARVEJA ( <i>Pisum Sativum</i> L.) EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO	Rubén Darío Solarte Eraso Universidad de Nariño	Salon 1
	A3-046 - DETERIORO DE UNA BOLSA BIODEGRADABLE DE ALMIDÓN DE YUCA CON ÁCIDO POLILÁCTICO EN UN VIVERO	Jhon Jairo Palechor Tróchez Universidad del Cauca	Salon 2
	A1-126 - QUALITY OF DRIED APPLE PRODUCTS ADDED WITH ACTIVE COMPOUNDS	Misael Cortes Universidad Nacional	Salon 3
11:40 AM	A1-065 - UTILIZACION DE AFRECHO DE YUCA EN GALLETAS	Elvis Judith Hernández Universidad de Sucre	Salon 1
	A1-080A - CAMBIOS EN MICROBIOTA DEL ENSILAJE DE RESIDUOS DE PESCADO CON <i>L. plantarum</i> AISLADA DE INTestino DE TRUCHA ARCOÍRIS ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> )	José Luis Plaza Dorado Universidad del Valle	Salon 2
	A1-030 - VARIACIÓN DEL PERFIL VOLÁTIL DEL "BANANO BOCADILLO" ( <i>Musa acuminata</i> Colla) POR EFECTO DEL SOLUTO OSMÓTICO	Aristóteles Ortiz Centro Nacional de Investigaciones de Café	Salon 3
12:00 PM	ACTO DE CLAUSURA CONGRESO		
12:30 PM	INVITACIÓN ALMUERZO ASISTENTES - CLUB COLOMBIA	ALMUERZO	ALMUERZO
<b>Notas:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Las ponencias centrales son de 40 minutos y 5 minutos para resolver dudas</li> <li>Las ponencias Generales son de 15 minutos y 5 minutos para resolver dudas</li> <li>Los posters se visitan en horario del Coffee Break</li> </ul>			

## EDITORIAL

### “INVESTIGACION CON UN PROPOSITO”

La agroindustria en Colombia nació a raíz de la necesidad de generar valor agregado a la producción agropecuaria, sin embargo solo aquellos sectores productivos que consolidaron agremiaciones fuertes y bien organizadas tales como en los sectores cafetero, lácteo, cárnico, cerealista y azucarero, lograron dar el paso de la producción primaria a la industrialización y comercialización, con márgenes de rentabilidad aceptables, que contribuyeron a fortalecer la agroindustria del país.

Sin embargo decisiones políticas erradas y la falta de apoyo gubernamental tuvieron como consecuencia el debilitamiento de algunos gremios, llevando al cierre de muchas empresas del sector agroindustrial. Lo anterior aunado a la problemática del conflicto armado que se agudizó entre los años 1980 a 2000 produjo una grave crisis del sector rural y un estancamiento en el desarrollo agroindustrial, debido a que muchos empresarios e inversionistas decidieron emigrar e invertir en otros países.

Posteriormente comienza a surgir en el sector agroindustrial Colombiano una nueva generación de pequeños y medianos empresarios, con voluntad de crecer e innovar, pero quienes no tienen la posibilidad de contar con departamentos de investigación y desarrollo (I+D) que les permitan ser más competitivos en el mercado. Es allí donde los investigadores vinculados a las universidades y centros están llamados a cumplir un papel fundamental a través de las actividades de ciencia tecnología e innovación, tanto a nivel industrial como agropecuario, generando sinergias entre ambos sectores orientadas a impulsar la agregación de valor y la transformación de la producción primaria y a fortalecer las cadenas productivas.

Los procesos de CT+i en Colombia han estado a cargo de Colciencias, entidad que, a pesar de contar con presupuestos insuficientes, ha adelantado acciones importantes como el apoyo a la formación de capital humano en maestrías y doctorados y la financiación de pequeños proyectos. Sin embargo los recursos nunca habían sido suficientes para fortalecer las capacidades de CT+i de las entidades nacionales. La Ley 1530 de 2012 permitió una mejor distribución de los ingresos de los recursos naturales a nivel nacional y asignó un porcentaje de ellos exclusivamente para financiar proyectos de CT+i, lo que representó que por primera vez en Colombia, las entidades dedicadas a la investigación pudieran acceder a recursos importantes y fortalecer sus capacidades. Los proyectos financiados por el Sistema General de Regalías tienen como condición resolver problemas o suplir necesidades de los productores y empresarios a nivel regional.

El propósito de CINCIA 2016 fue constituir un escenario para mostrar los resultados de las investigaciones que se vienen desarrollando en el sector agroindustrial y como los resultados de éstas están beneficiando a productores, asociaciones y empresas de las respectivas regiones para construir un mejor país.

Les deseamos a todos investigadores y entidades de apoyo gubernamental, un mejor futuro investigativo y de resultados que generen “INVESTIGACION CON UN PROPOSITO”

OSWALDO OSORIO MORA Ph.D.  
Coordinador general CINCIA 2016

# EL COLOR DE LOS PRODUCTOS AGROALIMENTARIOS: MÁS ALLÁ DE LOS EFECTOS DEL PROCESAMIENTO – UN ALIADO PARA EL PEQUEÑO PRODUCTOR

COLOR OF FOOD PRODUCTS: BEYOND THE EFFECTS OF PROCESSING – AN ALLY  
TO SMALL PRODUCER

Andrea MOLINA CORTÉS M. Sc.<sup>1\*</sup>

## RESUMEN

Para cualquier producto es bien conocido que la calidad determina la decisión de compra, pero para la industria alimentaria esto se convierte en un factor crítico que condiciona toda la cadena productiva, desde su elaboración hasta la exhibición en un punto de venta. Bajo esta perspectiva, a través de la historia se ha investigado ampliamente el efecto que ejercen los diferentes tratamientos de conservación y transformación sobre la calidad general de los productos alimentarios. No obstante, entendiendo que el concepto de calidad general que manejan los consumidores trasciende las cualidades químicas, nutricionales y microbiológicas, es indispensable considerar también la importancia de las características organolépticas de los productos alimentarios. En el caso puntual de los alimentos de origen agrícola, un objetivo común se constituye en obtener productos de alta calidad, con una vida útil prolongada, mayor valor agregado y con la menor perturbación de sus propiedades nutricionales. Este planteamiento por sí mismo se convierte en un reto para el desarrollo de tecnologías que puedan cumplir con estos requerimientos; sin embargo, cuando se ven involucrados pequeños productores como actores principales de la cadena agroindustrial, el reto toma mayores dimensiones, pues es necesario proponer alternativas tecnológicas que adicionalmente a lo ya descrito, sean sencillas, relativamente económicas y de fácil implementación. Si bien es importante garantizar la calidad general de los productos agroalimentarios, para el pequeño productor resulta fundamental lograr que su producto sea atractivo, por lo que las características sensoriales se deben convertir en uno de sus

principales focos de interés. Es así como una vez identificadas aquellas tecnologías que contribuyan a producir un alimento nutritivo que sea química y microbiológicamente estable, atender a propiedades como el color podría darle una ventaja significativa en el mercado, haciendo que ésta se configure como su mayor aliada y cualidad más consentida. En este escrito se discutirá brevemente sobre algunas tecnologías de procesamiento y conservación que afectan las propiedades fisicoquímicas de productos agroalimentarios, principalmente el color, y que podrían ser implementadas por los pequeños productores para ampliar su participación en mercados de productos con mayor valor agregado.

**Palabras clave:** Calidad, procesamiento, color, valor agregado.

## ABSTRACT

For any product, it is well known that the quality determines the purchase decision, but for the food industry, this becomes a critical factor that determines the entire production chain, from development to display at a point of sale. From this perspective, through history it has extensively researched the effect exerted by different treatments of preservation and transformation on the overall quality of food products. However, understanding the concept of overall quality that is known by consumers transcends the chemical, microbiological and nutritional qualities, it is also necessary to consider the importance of the organoleptic characteristics of food products. In the specific case of foods of agricultural origin, a common objective is to obtain high quality products with a long shelf life, higher added value and with the least disturbance to their

<sup>1</sup> Profesora Asociada Programa de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de San Buenaventura Cali, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: amolina1@usbcali.edu.co

nutritional properties. This approach itself becomes a challenge for the development of technologies that can satisfy these requirements; however, when small farmers are involved as key actors in the agro-industrial chain, the challenge becomes bigger, it is necessary to propose technological alternatives in addition to what has already been described, are simple, relatively inexpensive and easy to implement. While it is important to ensure the overall quality of food products, for small producers it is essential in getting your product attractive, so the sensory characteristics must become one of the focuses of interest. Thus, once the technologies that contribute to produce a nutritive food that is chemically and microbiologically stable, serve properties such as color could give it a significant advantage in the market, causing it to configure as your greatest ally and more spoiled attribute. In this paper, I will briefly discuss about some processing and preservation technologies that affect the physicochemical properties of food products, specially color, and could be implemented by small producers to expand their market share of products with higher added value.

**Keywords:** Quality, processing, color, added value.

## INTRODUCCIÓN

### Importancia del Color en los Productos Agroalimentarios

Desde tiempos ancestrales, los atributos organolépticos le han permitido al hombre inferir el estado de los alimentos que consume, incluso sin conocer su composición química, propiedades nutricionales o sanidad microbiológica. Desde este punto de vista, los sentidos se convierten en una herramienta importante para identificar aquellos alimentos que podrían satisfacer las distintas necesidades del organismo. Sin embargo, no siempre aquello que vemos, sentimos, escuchamos, olemos y saboreamos es lo que creemos que es, y en algunas ocasiones uno de nuestros sentidos podría jugar en contra de los demás: la intuición.

Si en una primera impresión percibimos un color que no es propio de un alimento, muy posiblemente concluamos que su sabor, olor y textura están alterados y que éste no es apto para consumir. Esta afirmación podría ser correcta, pero existe la posibilidad de que no lo sea pues aunque las carac-

terísticas químicas, nutricionales y microbiológicas sean adecuadas, la intuición supera a los otros sentidos y aun sin haber probado el alimento, se crean unas expectativas que podrían verse influenciadas, por ejemplo, por un cambio en la iluminación del entorno que modifica la apreciación del color. En este orden de ideas, es necesario decir que el color es una percepción humana de la luz reflejada por un objeto (1), por lo cual se trata de un fenómeno que depende principalmente de tres factores que interactúan entre sí: la luz, el observador y el objeto. En lo que respecta al observador, se han desarrollado múltiples estudios en los cuales se ha evaluado en impacto de la fisiología y la psicología del observador sobre la valoración de calidad de los productos alimentarios (2, 3, 4) y se ha encontrado que el color desempeña un papel fundamental en la percepción de gusto de los alimentos, incluso más importante que el ejercido por el sabor y la textura (4). En cuanto al objeto, características como la geometría, la consistencia, la textura y la temperatura pueden influir en la evaluación del color. En el caso de los productos agroalimentarios, el color está directamente relacionado con su composición debido a la presencia de pigmentos naturales presentes en las células tales como clorofila, carotenoides, antocianinas, flavonoides, taninos, entre otros, los cuales más allá de conceder el color característico a los productos, también le confieren características químicas benéficas para el organismo (5, 6). Por otra parte, no solo la presencia de ciertos componentes determina el color de los productos sino también su interacción y su relación con el medio circundante, tal es el caso de las reacciones de pardeamiento, ya sea de origen enzimático o no enzimático (reacciones de Maillard). En el caso de las reacciones de Maillard, estas ocurren como consecuencia de la reacción entre azúcares reductores y grupos amino provenientes de aminoácidos libres o en forma de péptidos o proteínas, las cuales promueven cambios químicos en los alimentos que afectan principalmente el color, el olor y el sabor; pero que dependiendo del tipo de producto pueden ser deseables (en frituras, horneados y rostizados) o no (productos secos, pasteurizados y esterilizados) (7).

A pesar de la existencia de múltiples compuestos que son encargados del color de los alimentos, muchos de ellos pueden ser alterados durante el procesamiento, pues su estabilidad depende de factores como la temperatura, la actividad de agua, el pH y la presencia de luz, oxígeno, metales pesados,

enzimas y agentes oxidantes o reductores (5, 8). Es importante resaltar que aunque se hable de degradación de pigmentos y/o de formación de compuestos pardos, estos dos eventos no solo afectan el color de los productos, sino también su sabor, olor y calidad nutricional, pues a partir de estas variaciones es posible que se originen pérdidas nutricionales de aminoácidos esenciales y que sobrevenga la formación de compuestos potencialmente tóxicos, tal es el caso de la producción de acrilamida a partir de la descarboxilación y desaminación de la asparagina (7, 9).

Para evitar las variaciones de color derivadas de la inherente inestabilidad de los pigmentos o por la aparición de reacciones de Maillard, se suelen añadir colorantes a los alimentos, sin embargo esta práctica podría reemplazarse o reducirse al implementar tecnologías más adecuadas de acuerdo al tipo de producto.

## **TECNOLOGÍAS APLICADAS A PRODUCTOS AGROALIMENTARIOS: OPORTUNIDADES PARA LOS PEQUEÑOS PRODUCTORES**

Grandes han sido los avances científicos y tecnológicos que se han desarrollado en el campo de la conservación y transformación de los productos agroalimentarios. Desde la aparición misma de la agricultura hasta el tiempo presente se han implementado tratamientos que pueden considerarse tan básicos como la refrigeración, la congelación y la utilización de salmueras, o que bien pueden ser tan complejos como la realización de intervenciones genéticas y biotecnológicas, todo esto con el único propósito de ofrecer productos de primera calidad. Sin embargo, una de las evidentes desventajas de cualquier operación física, química o biológica que se realice sobre un alimento es la afectación de sus propiedades organolépticas, esencialmente el color. Siendo el color un parámetro tan decisivo para el consumidor, se han intensificado los esfuerzos por desarrollar tecnologías más innovadoras que además de evitar el deterioro de los productos, ya sea por condiciones químicas, microbiológicas, mecánicas, etc., consideren la conservación y/o, si es posible, el mejoramiento del color. Como ejemplo de estas tecnologías se pueden citar tratamientos como la liofilización (10), altas presiones hidrostáticas (11),

campos eléctricos pulsados (12), pulsos lumínicos (13), irradiación (14), ultrasonificación (15), aplicación de atmósferas modificadas y controladas (16, 17), entre otros, los cuales emplean diferentes mecanismos físicos que controlan efectivamente las reacciones químicas e inhiben el crecimiento microbiano, con la mínima afectación de las características organolépticas (18).

A pesar de estos grandes aportes a la industria alimentaria, los pequeños productores, principalmente aquellos que se encuentran en un país como Colombia, no cuentan con los medios suficientes para adoptar estas tecnologías, por lo que se dificulta lograr una participación en los mercados cada vez más competitivos y obtener mayores beneficios (19). Considerando entonces la investigación como un medio para potenciar las cadenas de valor regionales, es necesario identificar aquellas alternativas que sean más asequibles, que tengan el mínimo impacto sobre las propiedades fisicoquímicas de los productos (con especial atención en la conservación y/o mejoramiento del color) y con las que se pueda conseguir un incremento de las oportunidades comerciales de los agricultores.

De acuerdo a la Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC) y Fedesarrollo (19), se han identificado una serie de estrategias para que los pequeños productores puedan ser más productivos y eficientes. Entre estas estrategias están la promoción de mayores oportunidades de desarrollo y emprendimiento, y el fortalecimiento de la asociatividad entre pequeños productores y entre éstos con medianos y grandes, incluidos los comercializadores (19). Una forma de lograr esto es a través de ampliación en la oferta de productos con mayor valor agregado, que sean atractivos para los consumidores y que se puedan producir de manera sencilla y a bajo costo. Tecnologías como el secado solar (20), el secado con aire caliente (21), la fritura (22) y la deshidratación osmótica (23) han sido frecuentemente utilizadas en múltiples productos como tratamientos independientes o incluso combinados. Pese a no ser de última generación, estas tecnologías podrían ser aprovechadas por los pequeños productores para convertir sus debilidades en fortalezas, pues si se toma en consideración los resultados que se obtienen de ellas, se conseguirían beneficios económicos altamente significativos. En el caso del color, los productos tratados térmicamente, ya sea por secado solar, por aire caliente o por fritura, presentan unos cambios que son aceptados y muchas veces

apetecidos por el consumidor; sin embargo, estos cambios están directamente relacionados con las condiciones de procesamiento tales como el tipo de producto, sus dimensiones, el tiempo de proceso, la temperatura, la presión y, en el caso de la fritura, el medio de transmisión del calor. Para el caso de la deshidratación osmótica, si bien no está considerado como un tratamiento térmico, la temperatura puede coadyuvar a acelerar los procesos de transferencia de masa, y el cambio de color en los productos deshidratados osmóticamente podría estar ligado a factores distintos a la temperatura, tales como los solutos empleados, la presión, la agitación, la relación producto: solución y el tiempo de procesamiento, entre otros. De acuerdo a esto y siguiendo la idea de realizar investigaciones con un propósito, es menester encaminar los esfuerzos para determinar las mejores condiciones de procesamiento considerando las variables anteriormente citadas, por lo cual las universidades y los centros de investigación son los llamados a trabajar en pro del desarrollo de toda la cadena agroindustrial, principalmente de los pequeños productores.

## REFERENCIAS

1. Delmoro J, Muñoz D, Nadal V, Clementz A, Pranzetti V. El color en los alimentos: determinación de color en mieles. *Invenio*. 2010; 13(25): 145-152.
2. Spence C. On the psychological impact of food colour. *Flavour*. 2015; 4(21).
3. Sorensen LB, Moller P, Flint A, Martens M, Raben A. Effect of sensory perception of foods on appetite and food intake: a review of studies on humans. *International Journal of Obesity*. 2003; 27: 1152-1166.
4. Burrows A. Palette of our palates: a brief history of food coloring and its regulation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2009; 8: 394-408.
5. Damodaran S, Parkin K L, Fennema O R. Fennema Química de los alimentos. 3 Ed. España: Acribia S. A. 2010: 1166 p.
6. Mortensen A. Carotenoids and other pigments as natural colorants. *Pure Appl. Chem*. 2006; 78(8): 1477-1491.
7. Jaeger H, Janositz A, Knorr D. The Maillard reaction and its control during food processing. The potential of emerging technologies. *Pathologie Biologie*. 2010; 58: 207-213.
8. Kopjar M, Piližota V, Tiban N N, Šubarić D, Babić J, Ačkar D, Sajdl M. Strawberry jams: influence of different pectins on colour and textural properties. *Czech J. Food Sci*. 2009; 27(1): 20-28.
9. Pedreschi F, Kaack K, Granby K. Acrylamide content and color development in fried potato strips. *Food Research International*. 2006; 39: 40-46.
10. Rudy S, Dziki D, Krzykowski A, Gawlik-Dziki U, Polak R, Rózycylo R, Kulig R. Influence of pre-treatments and freeze-drying temperature on the process kinetics and selected physicochemical properties of cranberries (*Vaccinium macrocarpon* Ait.). *LWT - Food Science and Technology*. 2015; 63: 497-503.
11. Vega-Gálvez A, López J, Torres-Ossandón M J, Galotto M J, Puente-Díaz L, Quispe-Fuentes I, Di Scala K. High hydrostatic pressure effect on chemical composition, color, phenolic acids and antioxidant capacity of cape gooseberry pulp (*Physalis peruviana* L.). *LWT - Food Science and Technology*. 2014; 58: 519-526.
12. Wiktor A, Sledz M, Nowacka M, Rybak K, Chudoba T, Lojtkowski W, Witrowa-Rajchert D. The impact of pulsed electric field treatment on selected bioactive compound content and color of plant tissue. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2015; 30: 69-78.
13. Pataro G, Sinik M, Capitoli M M, Donsì G, Ferrari G. The influence of post-harvest UV-C and pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of tomato fruits during storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2015; 30: 103-111.
14. Al-Bachir M. Some microbial, chemical and sensorial properties of gamma irradiated sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds. *Food Chemistry*. 2016; 197: 191-197.
15. Nowacka M, Wedzik M. Effect of ultrasound treatment on microstructure, colour and carotenoid content in fresh and dried carrot tissue. *Applied Acoustics*. 2016; 103: 163-171.
16. Gunes G, Lee C Y. Color of minimally processed potatoes as affected by modified atmosphere packaging and antibrowning agents. *Journal of Food Science*. 1997; 62(3): 572-575.
17. Soliva-Fortuny R C, Oms-Oliu G, Martín-Belloso O. Effects of ripeness stages on the storage atmosphere, color, and textural properties of minimally processed apple slices. *Journal of Food Science*. 2002; 67(5):1958-1963.
18. Raventós Santamaria M. Industria alimentaria. Tecnologías emergentes. Barcelona: Univ. Politéc. de Catalunya. 2010; 210 p.
19. Perfetti J J, Balcázar A, Hernández A, Leibovich J. Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia. Bogotá: Fedesarrollo, Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC), Incoder, Finagro, Banco Agrario. 2013; 247 p.
20. Ringeisen B, Barrett D, Stroeve P. Concentrated solar drying of tomatoes. *Energy for Sustainable Development*. 2014; 19: 47-55.
21. Ali M A, Yusof Y A, Chin N L, Ibrahim M N, Basra S M A. Drying kinetics and colour analysis of *Moringa oleifera* leaves. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2014; 2: 394-400.
22. Zhu Y, Zhang M, Wang Y. Vacuum frying of peas: effect of coating and pre-drying. *J Food Sci Technol*. 2015; 52(5):3105-3110.
23. Ahmed I, Mabood Qazi I, Jamal S. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2016; 34: 29-43.

# PROTEÍNAS EMERGENTES Y SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

## EMERGENT PROTEINS AND ITS APLICATION IN THE FOOD INDUSTRY

Diana BAIGTS ALLENDE Ph. D.<sup>1\*</sup>

### RESUMEN

La preocupación por la conservación de recursos naturales que permitan el abastecimiento de alimentos debido a un acelerado crecimiento de la población, ha llevado a la exploración de fuentes alternativas de alimento que satisfagan las demandas de la sociedad. La necesidad de una dieta sustentable que disminuya el impacto ambiental, pero que no comprometa la calidad del alimento es encabezada por la producción de proteínas emergentes que cumplan el papel de las proteínas animales pero que sean altamente disponibles, eficientes y de bajo costo. El aprovechamiento de la biomasa foliar para la obtención de proteínas se vislumbra como una alternativa viable para la producción de alimento sustentable que además de cumplir con las demandas nutricionales, incursionen como ingredientes tecno-funcionales en el desarrollo de productos alimentarios, mediante el estudio de la estructura molecular de la proteína a diferentes escalas y su mutua interacción en relación a las características finales del producto.

**Palabras clave:** Sustentabilidad, proteínas, biomasa, industria alimentaria

### ABSTRACT

Concern for the preservation of natural resources to the food supply due to rapid population growth has led to the exploration of alternative food sources that meet the demands of society. The need for a sustainable diet that reduces the environmental impact but that does not compromise the quality of the food is led by emergent protein producing that play the role of animal proteins but which are highly available, efficient and low cost. The use of foliar biomass for the production of proteins is seen

as a viable option for sustainable food production to supply the nutritional demands and to be used as techno-functional ingredients in the development of food products by studying the molecular structure of proteins at different length scales and their interaction in order to determine the final products characteristics.

**Keywords:** sustainability, proteins, biomass, food industry

### ANTECEDENTES

La población mundial crece cada día en aproximadamente 250,000 personas y se pronostica para el año 2050 habrá alrededor de 2.3 billones. Este acelerado crecimiento directamente repercute a al incremento de la demanda de alimentos, tanto para consumo humano como animal, proyectándose alcanzar cantidades necesarias de hasta 3 billones de toneladas (2050). Es estimado que alimentar a una población de 9.1 billones de personas requerirá cerca del 70% de aumento de producción alimentaria e incluso porcentajes mayores en países en desarrollo (1).

El pasado año 2015, el Comité Asesor de las Normas Dietéticas (Dietary Guidelines Advisory Committee) consideró en sus recomendaciones, la importancia que juega la sustentabilidad alimentaria en las actuales y futuras necesidades de alimentación. Estas consideraciones toman en cuenta el impacto ambiental de los métodos de producción alimentaria como la deforestación, el uso de agua fresca y la emisión de gases, pérdida de especies biodiversas y que la producción de alimentos que no comprometen la fertilidad de la tierra entre otras (2). Desde el punto del bienestar social, se busca que los alimentos provean una dieta sustentable

<sup>1</sup> Investigador titular Unidad Sureste, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. Parque Científico Tecnológico de Yucatán km 5.5 Carretera Sierra Papacal-Chuburná Puerto C.P 97302 Yucatán, Mexico .

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: dbaigts@ciatej.mx

promuevan la salud y la seguridad alimentaria. El concepto de una dieta sustentable introducido por definición por la FAO, como aquellas dietas con un bajo impacto ambiental las cuales contribuyan a la seguridad alimentaria-nutricional y una vida saludable para las presentes y futuras generaciones. Una dieta sustentable busca que proteja y respete la biodiversidad y los ecosistemas, que sea culturalmente aceptable, económicamente accesible y alcanzable, nutricionalmente adecuada, segura y saludable (3).

Se estima que aproximadamente 2 billones de personas viven principalmente de una dieta basada en carne, sin embargo se requiere que más personas vivan a base de dietas vegetales debido a problemáticas como la escases de tierras de cultivo, agua fresca y recursos energéticos. La productividad de la tierra está siendo afectada por la velocidad de erosión y degradación debido al desmesurado uso de fertilizantes que implican el gasto de energía fósil, la producción agrícola destinada a la producción de ganado en forraje y alimento como cereales consume grandes cantidades de agua fresca. Se ha estimado que la producción de un kilogramo de proteína animal requiere hasta 100 veces *más* agua que producir la misma cantidad de proteína proveniente de granos (4).

La tendencia de los países en desarrollo es que el crecimiento del sector ganadero está excediendo al sector agrícola. Históricamente, los países de Latinoamérica y el caribe han destacado por un alto consumo de productos animales entre otros países en desarrollo; y se estima que para el año 2030 el consumo per cápita de carne, leche y huevos aumente de 25.5, 45, y 6.5 kg en los noventas a 37, 66 y 8.9 kg respectivamente (5). La preocupación por cubrir con las demandas de consumo proteico de la población debido al impacto ambiental, ha llevado a la búsqueda de fuentes alternativas de proteínas no animales que sean altamente disponibles, bajo costo y alta calidad nutricional.

## PROTEÍNAS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Un alimento es un sistema complejo que está determinado por las características de la escala de sus elementos estructurales. Su estructura es una combinación de moléculas y estructuras primarias formadas a su vez por moléculas, que forman el producto final que es percibido por el consumidor (6). Los aspectos estructurales se derivan del

comportamiento de agregación de las moléculas individuales de proteínas, las cuales dependen de las características moleculares y su habilidad para interactuar durante el procesamiento. Las características específicas a una escala a nivel molecular, mesoescala y macroscópico determinarán en gran medida los atributos sensoriales del producto, principalmente la textura (7).

Las proteínas además de su conocido valor nutricional son altamente apreciadas por su funcionalidad en alimentos procesados, en relación a los criterios de aceptación organoléptica. Desde este punto de vista, las propiedades funcionales se definen como aquellas propiedades fisicoquímicas de las proteínas que pueden afectar su comportamiento en un sistema alimentario durante su preparación, procesamiento, almacenamiento y consumo; y que contribuye a la calidad del mismo (8). En relación a su mecanismo de acción, estas propiedades son clasificadas por sus características de hidratación (solubilidad, absorción y retención de agua, hinchamiento), de superficie (propiedades de adsorción, capacidad espumante y emulsificante) y su comportamiento reológico (gelificación, viscosidad).

La funcionalidad de las proteínas y por lo tanto su aplicación en la producción de alimentos, se encuentra relacionada tanto con factores intrínsecos de la molécula como su peso molecular, forma, estructura, conformación y distribución de cargas entre otras; como con las interacciones moleculares con otros compuestos (lípidos, agua, carbohidratos) y las condiciones ambientales (pH, temperatura, fuerza iónica) *del sistema alimentario*. El estudio de la relación entre la estructura – funcionalidad de las proteínas, es necesario para determinar la efectividad de su uso en productos alimentarios con características específicas. Desde la fuente y el proceso de obtención (aislamiento), hasta las características los elementos estructurales a los diferentes niveles de escala. Es importante el estudio de sistemas modelos para ser capaces de predecir la funcionalidad en sistemas alimentarios reales y conocer las características del mismo. Uno de los factores que ha limitado el uso de las proteínas foliares como alimento, es la presencia de compuestos fitoquímicos conocidos como antinutricionales, a los cuales se les atribuyen efectos adversos en la asimilación de nutrientes y/o reducción de la digestibilidad; así como la aparición de aromas y sabores anómalos debido a compuestos volátiles, saponinas, ketonas, aldehídos, reacciones

de autoxidación o actividades de la lipoxigenasa. Desde el punto de vista funcional, en ocasiones presentan una limitada solubilidad (9). Gracias al estudio de *técnicas para* el control o eliminación de estos compuestos durante el procesamiento, se ha optimizado la producción de proteínas emergentes (no animales). Aunque actualmente ya existen en el mercado aislado proteicos vegetales con propiedades aceptables para mejorar la calidad de los productos y la disminución de costos, el interés por la exploración de biodiversidad regional ha incrementado durante los últimos años, como estrategia para dar valor agregado a la cadena agrícola. Encabezando la lista se encuentran fuentes de tipo leguminosa y semillas como el frijol, haba, lenteja, garbanzos, chícharo, semilla de girasol, colza, semilla de chíya y durante ya muchas décadas la semilla de soya. Otras como las provenientes de los cereales y tubérculos como trigo, maíz, arroz, avena, sorgo, cebada, yuca, papa y algunos pseudocereales como el amaranto y la quinoa. En relación a sus propiedades funcionales de este grupo de proteínas, las principales fracciones proteicas de la soya por ejemplo, ( $\beta$ -conglucina y la glicina) han sido relacionadas con propiedades gelificantes, estabilidad térmica y emulsificación (10). La proteína de chícharo se perfila como potencial sustituto de la soya ya que presenta un bajo contenido en sustancias anti-nutricionales, no presenta problemas de alergenicidad, tiene una buena calidad nutricional y deseables propiedades reológicas (gelificantes) en el control de textura en productos alimentarios (11,12). La proteína de papa principalmente la fracción patatina que representa del 30-40% de la proteína, se ha caracterizado por tener una relativamente alta solubilidad y buenas propiedades gelificantes, espumantes y emulsificantes, un sabor neutro y un alto valor biológico en relación a su PDCAAS (13). Hoy en día se han logrado desarrollar productos como helados 100% vegetales utilizando aislados de proteína de papa, gracias a sus propiedades de superficie (espumante), análogos de carne con excelente textura, jugosidad y fibrosidad utilizando fibrilla proteicas elaboradas a partir de aislados de soya y chícharo, bebidas altas en proteína para deportistas y análogos de leche a utilizando proteína de quinoa por mencionar algunas (14). Otras fuentes como los insectos, algas y hojas verdes han sido menos utilizadas pero continúan siendo estudiadas por su bajo costo y alta disponibilidad.

## BIOMASA VEGETAL COMO FUENTE DE PROTEÍNA

Una de las principales objeciones del uso de la biomasa como biocombustibles es su posible uso como alimento (15). El descubrimiento, la producción y uso de concentrados de proteínas de hojas ha sido estudiado desde hace varios años. Las proteínas provenientes de hojas han sido clasificadas como proteínas cloroplásticas y citoplásmicas (menos digeribles). La Fracción I de las proteínas foliares conocida como RuBisCO (ribulosa-1,5+bifosfato carboxilasa/oxigenasa), es una enzima esencial en la primera reacción ciclo de Calvin en la fotosíntesis y fijación del CO<sub>2</sub>. Se localiza en la fracción soluble de los cloroplastos de un gran número de hojas verdes y organismos fotosintéticos y es considerada como la proteína más abundante en el mundo. Es una proteína globular hexadecamérica de peso molecular aproximado de 550kDa, constituida por ocho grandes y pequeñas subunidades (L, S) de 55 y 12 KDa respectivamente. La introducción de esta proteína en la dieta humana ha sido como extractos foliares suplementarios en la malnutrición en niños en países en vías de desarrollo. La importancia de esta proteína radica en la cantidad de aminoácidos esenciales que cumplen requerimientos de consumo de la FAO/WHO, con valores biológicos comparables con proteínas de otras fuentes como huevo entero, caseína y soya (16,17).

Diferentes metodologías han sido reportadas para llevar a cabo la obtención de RuBisCO a partir de biomasa de residuos del procesamiento de té verde, de hojas de tabaco, forrajes como la alfalfa y algas entre otras (18,19). El procedimiento básico consiste en la lisis del material vegetal, extracción acuosa alcalina, recuperación y secado. La variabilidad de los parámetros en cuanto a relación soluto: solvente, valor de pH, precipitación ácida o agregación térmica y el método de secado (convección, aspersión, liofilizado), son estudiados con respecto al rendimiento y la calidad de la estructura de la proteína extraída. La finalidad de su aplicación como suplemento proteico o como ingrediente en la elaboración de productos alimentarios, se enfoca en proporcionar un adecuado perfil nutricional y en aportar la base estructural y características específicas deseadas.

El uso de la biomasa como una alternativa para la obtención de proteína de buena calidad nutricional para consumo humano, puede contribuir tanto a

la disminución del impacto ambiental gracias a su sustentabilidad y eficacia como a la incentivación a la producción agrícola que aporte un valor agregado a la cadena productiva mediante su aprovechamiento integral.

## REFERENCIAS

- Alexandratos N, Bruinsma J. *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision*. ESA Working paper. 2012; 12(3).
- Scientific Report of the 2015 Dietary Guidelines Advisory Committee. Part D. Chapter 5: Food Sustainability and Safety <http://health.gov/dietaryguidelines/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. International Scientific Symposium. Biodiversity and sustainable diets - united against hunger. Rome, Italy: FAO headquarters, 2010.
- Pimentel D, Pimentel M. Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment. *The American journal of clinical nutrition*. 2003; 78(3): 660S-663S.
- Bruinsma J. *World agriculture: towards 2015/2030: an FAO perspective*. Earthscan. 2003.
- Foegeding E A. Food Protein Functionality-A New Model. *Journal of food science*. 2015; 80(12): C2670-C2677.
- Martin A H, Allende D B, Munialo C D, Urbonaite V, Pouvreau L, de Jongh H H J. Modulating protein interaction on a molecular and microstructural level for texture control in protein based gels. In *The Changing Face of Food Manufacture: The Role of Hydrocolloids*. Royal Society of Chemistry. 2014; 17: 64-70).
- Kinsella J E. Functional properties of soy proteins. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1979; 56(3): 242-258.
- Betancur-Ancona D, Gallegos-Tintoré S, Delgado-Herrera A, Pérez-Flores V, Castellanos Ruelas A, Chel-Guerrero L. Some physicochemical and antinutritional properties of raw flours and protein isolates from *Mucuna pruriens* (velvet bean) and *Canavalia ensiformis* (jack bean). *International journal of food science & technology*. 2008; 43(5): 816-823.
- Fukushima D, Yada R Y. Soy proteins. *Proteins in food processing*. 2004; 123-145 p.
- Martinez San Ireneo M, Sandín I, Fernández-Caldas E, Maranon Lizana F, Rosales Fletes M J E, Laso Borrego M T. Specific IgE levels to *Cicer arietinum* (Chick pea) in tolerant and nontolerant children: evaluation of boiled and raw extracts. *International archives of allergy and immunology*. 2000; 121(2): 137-143.
- Munialo C D, van der Linden E, de Jongh H H. The ability to store energy in pea protein gels is set by network dimensions smaller than 50nm. *Food Research International*, 2014; 64: 482-491.
- Alting AC, Pouvreau L. Potato Proteins in *Handbook of food proteins*. Elsevier. Phillips, G. O., & Williams, P. A. (Eds.). 2011.
- NIZO vision, the newsletter of NIZO food research. <http://www.nizo.com/news/nizo-vision/>
- Mathews J A. From the petroeconomy to the bioeconomy: Integrating bioenergy production with agricultural demands. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 2009; 3(6): 613-632.
- Barbeau W E, Kinsella J E. Ribulose biphosphate carboxylase/oxygenase (rubisco) from green leaves-potential as a food protein. *Food Reviews International*. 1988; 4(1): 93-127.
- Douillard R, De Mathan O. (1994). Leaf protein for food use: potential of Rubisco. In *New and Developing Sources of Food Proteins* Springer US. 1994; 307-342 p.
- Zhang C, Sanders J P, Xiao T T, Bruins M E. (2015). How Does Alkali Aid Protein Extraction in Green Tea Leaf Residue: A Basis for Integrated Biorefinery of Leaves. *PLoS one*. 2015; 10(7): e0133046.
- Fu H, Machado P A, Hahm T S, Kratochvil R J, Wei C I, Lo Y M. Recovery of nicotine-free proteins from tobacco leaves using phosphate buffer system under controlled conditions. *Bioresource technology* 2010;101(6): 2034-2042.

# PRODUCTOS CÁRNICOS FUNCIONALES: OPORTUNIDADES Y DESARROLLO

## FUNCTIONAL MEAT PRODUCTS: OPPORTUNITIES AND DEVELOPMENT

Francisco JIMENES COLMENERO Ph. D.<sup>1\*</sup>

### RESUMEN

La industria cárnica, al igual que otros sectores de la alimentación, está experimentando importantes transformaciones como consecuencia de continuas innovaciones tecnológicas y cambios en las demandas de los consumidores, entre ellas las relacionadas con la salud y calidad de vida. Los productos cárnicos funcionales se muestran como un medio apropiado para mejorar la “imagen” de la carne al ofrecer alimentos más ajustados a los requerimientos específicos de amplios sectores de la sociedad, constituyendo adicionalmente una excelente oportunidad de diferenciación, diversificación y posicionamiento en un mercado emergente. Esta revisión está encaminada a proporcionar una breve panorámica acerca de las posibilidades y estrategias disponibles para modificar la composición de la carne y de sus derivados, potenciando la presencia de compuestos con efectos beneficiosos para la salud y reduciendo la de aquellos otros con implicaciones negativas. Tales estrategias se basan en actuaciones a nivel de: prácticas de producción animal (genéticas y nutricionales); sistemas de transformación de carne (aplicando fundamentalmente procesos de reformulación); y aspectos relativos a las condiciones de procesamiento, almacenamiento y consumo.

**Palabras clave:** Alimentos funcionales, carne y productos cárnicos, estrategias de desarrollo, compuestos bioactivos

### ABSTRACT

The meat industry is undergoing major changes as a result of continuous technological innovations and changes in consumer demands, including those related to health and quality of life. Meat-based functional foods are seen as an opportunity to

improve the “image” of meat and to attend to the specific needs of large sectors of society, resulting an excellent opportunity for differentiation, diversification and positioning in an emerging market. This paper provides an overview of the possibilities and strategies proposed to modify the composition of meat and meat products by enhancing the presence of compounds with beneficial health effects and reducing from those with negative implications. These strategies are basically concerned with: animal production practices (genetic and nutritional); meat processing systems (mainly applying reformulation processes); aspects related to processing, storage and consumption conditions.

**Keywords:** Functional foods, meat and meat products, strategies of development, bioactive compounds

### INTRODUCCIÓN

Desde hace décadas se ha venido produciendo un notable incremento de las evidencias existentes sobre la posibilidad de modular algunas funciones fisiológicas específicas del organismo por medio de la alimentación. Esto supone que, a través de la dieta y/o sus componentes, se puede contribuir a optimizar determinadas funciones fisiológicas, maximizando su contribución al bienestar y la salud, o minimizando el riesgo de enfermedad. En este contexto surgen los denominados alimentos funcionales que en la actualidad constituyen un mercado en alza y uno de los principales impulsores del desarrollo de nuevos productos. Los avances y difusión de tales conocimientos están conduciendo a cambios en los hábitos de consumo de manera que aspectos relativos a la salud y calidad de vida están llegando a constituir una parte fundamental de los

<sup>1</sup> Dpto. Productos. Laboratorio de Carne y Productos Cárnicos. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición (ICTAN-CSIC). José Antonio Novais 10, 28040 Madrid

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia [fjimenez@ictan.csic.es](mailto:fjimenez@ictan.csic.es)

criterios de selección de los alimentos, y muy en particular en los de origen cárnico. Esto plantea un serio reto para la industria cárnica por cuanto desde hace varios lustros se han venido identificando diversos factores que han llevado a que la “imagen” de estos alimentos esté en franco proceso de deterioro, con lo que ello puede significar a nivel de mercado, competitividad, e incluso en la potencial aparición de problemas de nutrición. Entre tales factores destacan: a) la asociación entre varios de sus constituyentes (ej. contenido en grasa, ácidos grasos saturados, colesterol, sodio) y el riesgo de padecer algunas de las enfermedades crónicas no transmisibles más importantes en nuestra sociedad (como aterosclerosis o ciertos tipos de cáncer); b) la aparición periódica de crisis alimentarias (ej. encefalopatía espongiforme bovina o gripe aviar); c) la creciente preocupación por aspectos éticos asociados a las prácticas de producción animal (bienestar animal), y d) el impacto de los sistemas de producción animal en el medio ambiente (ej. contribución a la generación de gases con efecto invernadero o consumo de agua) (1). En tal sentido, el último episodio registrado, aunque no se derive de datos novedosos (2), surge de un reciente informe emitido por la Agencia Internacional para Investigación del Cáncer (IARC) (3), dependiente de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el que ha clasificado a las carnes rojas en el grupo 2 (probablemente o posiblemente carcinogénico) y a las carnes procesadas en el grupo 1 (carcinogénicas). Esto está basado en la identificación de peligros, sin incluir evaluación de riesgos.

En este contexto y para el sector cárnico, la creciente y deseable necesidad de optimizar el binomio dieta/salud constituye una excelente medio para mejorar su “imagen” y ofrecer un tipo de alimentos más ajustados a los requerimientos específicos de amplios sectores de la sociedad, constituyendo en consecuencia, una excelente oportunidad de diferenciación, diversificación y posicionamiento en un mercado emergente (4). Tal planteamiento está estrechamente ligado al impulso de la alimentación funcional que inevitablemente requiere abordar nuevos desarrollos para complementar las ofertas más tradicionales. Esta ponencia tiene como objetivo proporcionar una visión general acerca de las estrategias disponibles para optimizar (reducir o incrementar) la presencia de compuestos bioactivos (con implicaciones positivas y negativas para la sa-

lud) en carne y productos cárnicos a fin de obtener productos más saludables y funcionales.

### **Alimentos funcionales**

Antes de entrar a considerar el desarrollo de productos cárnicos saludables y funcionales, resulta esencial dejar claramente establecido lo que se entiende por alimento funcional. Aunque no existe una definición universalmente aceptada, a nivel europeo se ha adoptado la erigida en el documento de consenso del proyecto Functional Food Science in Europe –FUFOSE– (5). Los alimentos funcionales representan un concepto más que un conjunto bien definido de productos; en dicho documento se establece que un alimento puede ser considerado funcional si, más allá de su valor nutricional intrínseco, ha demostrado satisfactoriamente tener un efecto beneficioso sobre una o más funciones selectivas del organismo, de tal modo que resulta apropiado para mejorar el estado de salud y bienestar y/o para la reducción de riesgo de enfermedad. Varios aspectos relevantes hay que tener en cuenta de esta definición operativa. Un alimento funcional será similar en apariencia a un alimento convencional, ingerido en cantidades habituales y como un componente más de la dieta (no es un comprimido, ni una cápsula, ni ninguna otra forma de suplemento alimenticio). Debe producir efectos beneficiosos sobre las funciones del organismo, además de sus efectos nutricionales intrínsecos, apropiados para mejorar la salud y el bienestar, reducir el riesgo de enfermedad o ambas cosas. Su efecto beneficioso (que debe demostrarse satisfactoriamente de acuerdo a las exigencias de la comunidad científica), lo puede ser para todos los miembros de una población o solo para un grupo particular (5). Un alimento funcional puede ser natural o transformado mediante procedimientos tecnológicos o biotecnológicos; lo es por lo que hace y no por cómo se obtiene. Sin embargo, es esencial entender que, por sí mismo, un cambio de composición (enriquecimiento, fortificación, reducción, etc.), no supone necesariamente conferirle carácter de alimento funcional, el cual ha de ser demostrado de acuerdo a los criterios establecidos para ello. En consecuencia dentro de este concepto quedan incluidos alimentos tradicionales siempre que existan evidencias científicas que demuestren su efecto funcional.

## **Diseño y desarrollo de productos cárnicos más saludables y funcionales**

La carne es un elemento fundamental de la dieta ya que concentra y proporciona un gran número de nutrientes de alto valor biológico y elevada biodisponibilidad (proteína, Fe, Zn, etc.). Beneficios para la salud han sido asociados a componentes de la carne tales como proteínas, ácido linoleico conjugado (CLA), minerales (Fe, Zn, Se), L-carnitina, carnosina, anserina, creatina, taurina, vitaminas, etc. (6-8). De hecho, en base al contenido de algunos de esos compuestos se ha señalado que la carne podría considerarse como un alimento funcional (7-9). Sin embargo, como cualquier otro alimento también contiene algunas sustancias (grasa, ácidos grasos saturados, sodio, etc.), que en ciertas circunstancias y en cantidades inadecuadas pueden tener efectos negativos para el organismo. En cualquier caso, a la hora de valorar adecuadamente la relación carne/salud habría que tener en cuenta ambos tipos de contribuciones (riesgos y beneficios), balance que no siempre se considera de manera adecuada. Por su frecuencia y considerable nivel de consumo (que facilita una notable contribución a la ingesta de distintos nutrientes), elevado grado de aceptación por los consumidores, gran versatilidad de presentación, considerable aptitud para experimentar procesos de reformulación (cambios de composición) usando ingredientes de diversas procedencias, etc., los productos cárnicos son alimentos excepcionales para actuar como vehículo para condicionar la presencia de compuestos bioactivos sin modificar los hábitos de consumo (1).

Puesto que el efecto de los alimentos funcionales se basa en la actividad que ejercen en el organismo diversos componentes funcionales (nutrientes y no nutrientes), el papel de la carne y sus derivados como alimento funcional estará asociada su presencia en los mismos. Desde la producción hasta su consumo (de la granja a la mesa), se dispone de distintas estrategias para modificar la composición cuali y cuantitativa (optimizar) de sus productos y así elaborar alimentos de diseño con propiedades específicas, en relación con la presencia de determinados compuestos (endógenos y/o exógenos) con potenciales implicaciones en la mejora de la salud y el bienestar, y/o en la reducción del riesgo de enfermedad (Figura 1). Desde la primera publicación abordando el papel de la carne como alimento funcional realizada por Jiménez-Colmenero et al., en 2001 (10), han aparecido otras muchas revisando

las posibilidades existentes, así como las diferentes estrategias de desarrollo de carne y productos cárnicos más saludables y funcionales (1, 6, 7, 11-18). Generalmente tales estrategias están encaminadas a potenciar la presencia de compuestos con efectos beneficiosos para la salud y reducir la de aquellos otros con implicaciones negativas. Se basan en distintos tipos de actuaciones, entre las que caben destacar aquellas realizadas a nivel de producción animal (genéticas y nutricionales), y las basadas en los sistemas de transformación (reformulación y procesado). Sin olvidar diversos aspectos asociados a las condiciones de conservación, distribución, preparación y consumo.

## **Prácticas de producción animal**

Las prácticas de producción animal ofrecen distintas oportunidades para condicionar (in vivo) la composición de los tejidos animales (Figura 1). En tal sentido estrategias nutricionales han servido para mejorar el contenido y perfil lipídico (basadas en el empleo de distintos tipos de aceites vegetales y/o marinos), así como la presencia de vitaminas y minerales (6, 13). De igual modo estrategias genéticas han permitido modificar la composición de los tejidos, incidiendo fundamentalmente sobre aspectos cuantitativo (reducir su contenido) y cualitativos (favorecer la presencia de ácidos grasos poliinsaturados -AGP n-3) de la grasa. Tales actuaciones se han basado en prácticas de selección y entrecruzamiento, favorecidas en los últimos años por la aparición herramientas (marcadores genéticos) para identificar regiones dentro del genoma con efectos sobre la composición de los tejidos (contenido y perfil lipídico). La posibilidad de modificar genéticamente animales de abasto y la producción de carne "in vitro" ofrecen nuevas perspectivas de obtener sistemas capaces de modular la presencia de compuestos bioactivos (6, 13).

## **Procesos de reformulación**

La posibilidad de introducir cambios en los ingredientes (cárnicos y no cárnicos) utilizados en su elaboración abre un amplio abanico de posibilidades tecnológicas para el desarrollo de productos cárnicos funcionales. Tales cambios pueden emplearse para reducir, eliminar, incrementar y/o reemplazar una extensa variedad de ingredientes bioactivos de carácter exógeno o endógeno (Figura 1), siempre con el propósito de favorecer la presencia de compuestos beneficiosos y reducir la de aquellos otros con impli-

caciones negativas (6, 13). A continuación se expone brevemente algunas de las principales posibilidades de modificación de los productos cárnicos.

### **Estrategias para la mejorar del contenido lipídico.**

Los esfuerzos más importantes se han centrado en reducir tanto la cantidad de grasa (y energía) y colesterol, como en modificar el perfil de ácidos grasos. La reducción de grasa se lleva a cabo esencialmente en base a dos criterios: utilización de materias primas menos engrasadas y la dilución del contenido en grasa mediante la presencia de agua y otros ingredientes (en base a carbohidratos, proteínas, lípidos) con escasa o nula densidad energética. Por contra la modificación perfil de ácidos grasos se ha llevado a cabo reemplazando (en distintas proporciones) la grasa animal habitualmente empleada en la elaboración del producto por otra más en línea con las recomendaciones sobre salud; esto es con menor proporción de ácidos grasos saturados (AGS), y mayor contenido en ácidos grasos mono (AGM) y AGP n-3 (especialmente de cadena larga) o CLA, mejor relación n-6/n-3 AGP y AGP/AGS, y si fuese posible sin colesterol. Esos otros materiales lipídicos son generalmente aceites de origen vegetal (oliva, lino, chia, etc.) y/o marino (pescado y algas). Los procedimientos que se han empleado para incorporar tales aceites, que van desde la adición directa hasta la formación de lípidos estructurados, han sido ampliamente descritos (19-21).

### **Incorporación de proteínas vegetales**

Derivados proteicos de origen vegetal (en forma de extractos, harinas, concentrados, homogeneizados, etc.), han venido siendo empleados en la elaboración de productos cárnicos con propósitos tecnológicos, para reducir costos y por razones nutricionales. Sin embargo, recientemente están siendo considerados como ingrediente en distintas estrategias de reducción de grasa y por sus implicaciones en la salud (1, 6).

### **Incorporación de probióticos**

Los efectos beneficiosos (hipocolesterémicos, anticancerígenos, acciones antagonicas frente a patógenos entéricos y otros organismos intestinales, etc.) de algunos microorganismos tradicionalmente presentes en los procesos fermentativos, constituye una oportunidad para el sector cárnico. En los últimos años se han realizado numerosos estudios

acerca de la adición de distintos probióticos (*L. acidophilus*, *L. casei*, *L. rhamnosus*; *L. paracasei*, *L. plantarum*, etc.), básicamente dirigidos a productos fermentados, que no son sometidos a procesos de calentamiento (16, 22-25).

### **Incorporación de prebióticos y fibras dietéticas**

Numerosos prebióticos y fibras se han utilizado en la elaboración de productos cárnicos por motivos tecnológicos (impartir textura, mejorar la propiedades ligantes de grasa y agua, como componentes de sustitutos/análogos de grasa, etc.) y por sus propiedades beneficiosas para la salud (reducción del riesgo de diabetes, prevención de enfermedades cardiovasculares o cáncer, regulación del tránsito intestinal, etc.). La utilización de este tipo de componentes en el desarrollo de productos cárnicos enriquecidos con fibra han sido recientemente revisado (26, 27).

### **Incorporación de minerales**

La carne es una buena fuente de hierro, zinc y fósforo, con cantidades significativas de otros elementos traza esenciales como selenio, magnesio y cobalto. No obstante, numerosos productos han sido enriquecidos, bien adicionando directamente los minerales (ej. Se, Ca, Mg, Fe, o I), o bien a través de su presencia (Cu, Mg, Mn, K, etc.) en distintos ingredientes ricos en ellos, por ejemplo nuez o algas (1, 6).

### **Incorporación de vitaminas y antioxidantes**

Productos cocidos (ej. salchichas tipo frankfurt), frescos (hamburguesas), o crudo-curados (chorizo) han sido reformulados con este tipo de compuestos (vitamina C, vitamina E, ácido fólico, licopeno, luteína, hidroxitirosol, flavonoides, etc.). Su adición ha tenido lugar bien de manera individual (extraído) o formado parte de diversos ingredientes no-cárnicos (ej. nuez, germen de trigo, miel, algas, subproductos de cítricos) utilizados en los procesos de elaboración (1, 6).

### **Reducción de la presencia de compuestos exógenos con implicaciones negativas para la salud**

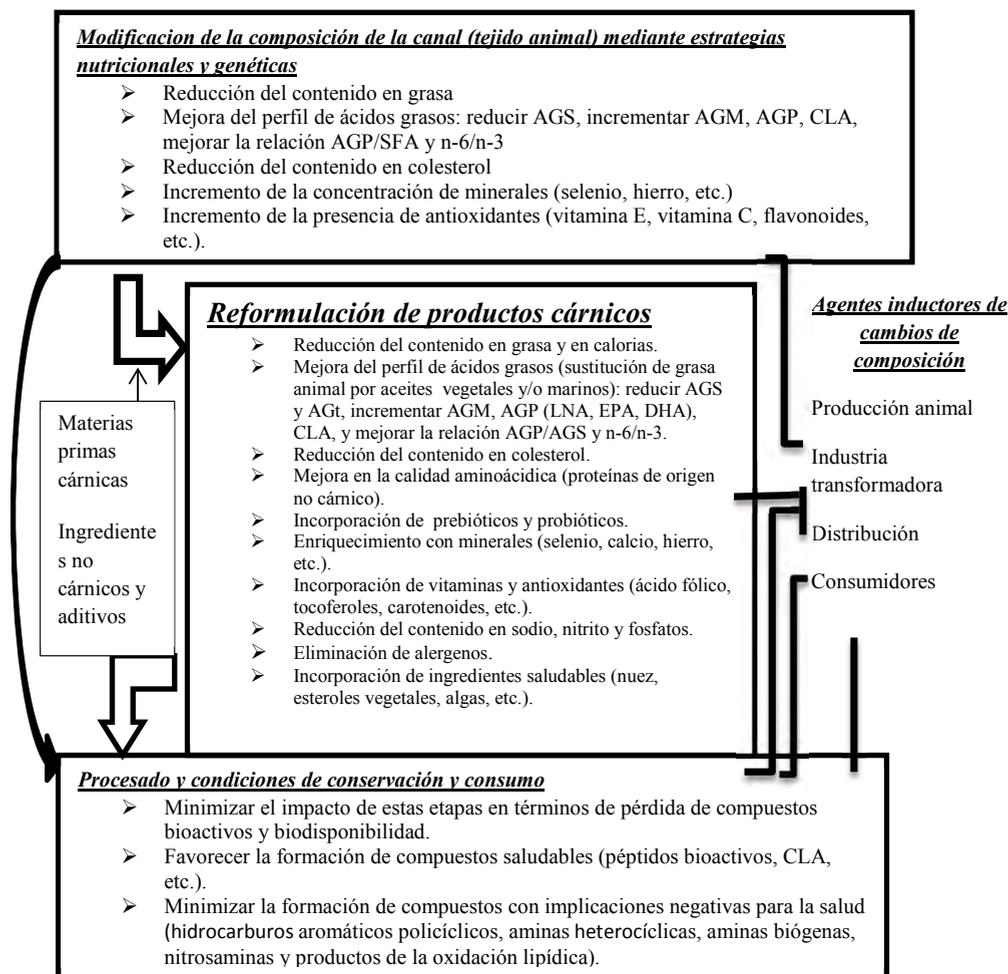
Diversos compuestos (aditivos/ingredientes), utilizados en la elaboración de productos cárnicos con distintos propósitos (tecnológicos, microbiológicos, sensoriales, estabilidad, etc.), pueden

presentar efectos adversos para la salud cuando se ingieren en cantidades inapropiadas. Es por ello que se han ensayado distintas estrategias para limitar la presencia de compuestos tales como sodio, fosfato, nitritos o incluso alérgenos (gluten, lactosa, etc.) en los productos cárnicos. Así por ejemplo, para reducir el contenido en sodio sin menoscabo de la calidad de los productos, se han ensayado distintas prácticas asociadas a cambios en las técnicas de procesado, uso de sustitutos de sal (NaCl) o potenciadores del sabor, optimización de la estructura física de la sal añadida, etc. (28-30). La posibilidad de disminuir la concentración de nitritos en los productos cárnicos está íntimamente ligada a la posibilidad de disponer de alternativas a la actividad que ejerce en relación con la formación del color y sabor, así como con la actividad antimicrobiana y antioxidante. Combinaciones de compuestos alternativos, o ingredientes

vegetales ricos en nitratos se han propuesto para limitar la adición directa de nitritos (1, 6).

### Condiciones de procesado, conservación y consumo

Diversos factores asociados a las condiciones de procesado, conservación y consumo pueden afectar de distinta manera la presencia de sustancias bioactivas en los productos cárnicos (Figura 1). Estos hacen referencia tanto a pérdidas cuantitativas y/o cualitativas de algunos de ellos (ej. durante los procesos de cocción), como a la formación de compuestos saludables (péptidos bioactivos o CLA) o de aquellos otros con implicaciones negativas para la salud (hidrocarburos aromáticos policíclicos, aminas heterocíclicas, aminas biógenas, nitrosaminas y productos de la oxidación lipídica).



**Figura 1.** Estrategias para optimizar la presencia de compuestos bioactivos en carne y productos cárnicos. LNA, ácido  $\alpha$ -linolénico; CLA, ácido linoleico conjugado; DHA, ácido docosahexaenoico; EPA, ácido eicosapentaenoico; AGM, ácidos grasos monoinsaturados; AGP, ácidos grasos poliinsaturados; AGS, ácidos grasos saturados; y AGT, ácidos grasos trans. Adaptado de Olmedilla-Alonso & Jiménez-Colmenero, (2013) (6).

## CONCLUSIÓN

La industria cárnica dispone de amplias posibilidades modificar la composición de sus productos a fin de obtener alimentos más saludables y funcionales más acordes con las demandas de la sociedad actual. Tal hecho se manifiesta en la existencia de un amplio número de productos disponibles, tanto comercialmente como consecuencia de desarrollos a nivel experimental realizados por numerosos grupos de investigación. Como parte fundamental del proceso resulta esencial transmitir convenientemente al consumidor la existencia de los potenciales beneficios que conllevan su consumo. Esto puede llevarse cabo a través del empleo de declaraciones nutricionales y de propiedades saludables. Su especificidad y condiciones específicas de uso varían ampliamente en función del marco legislativo aplicable en cada caso, el cual está dirigido a servir de referencia legal en la publicidad y el etiquetado de aquellos alimentos, que además de nutrir, tienen un demostrado beneficio específico para la salud. El creciente interés en estos alimentos y la necesidad de su regulación, ha impulsado un amplio desarrollo legislativo, cuyo análisis comparativo en un importante número de países ha sido recientemente analizado (31).

## AGRADECIMIENTOS

Proyecto AGL2014-53207-C2-1-R del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+I), Ministerio de Economía y Competitividad, España.

## REFERENCIAS

- Jiménez Colmenero F, Herrero A, Cofrades S, Ruiz-Capillas C. Meat and functional foods. En: Hui YH, editor. Handbook of meat and meat processing (2nd ed) Boca Raton: CRC Press. Taylor & Francis Group. 2012; 225-48 p.
- Demeyer D, Honikel K, De Smet S. The World Cancer Research Fund report 2007: A challenge for the meat processing industry. *Meat Science*. 2008;80(4):953-9.
- Bouvard V, Loomis D, Guyton KZ, Grosse Y, El Ghissassi F, Benbrahim-Tallaa L, et al. Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. *Lancet Oncology*. 2015;16(16):1599-600.
- Jimenez-Colmenero F, Reig M, Toldra F. New approaches for the development of functional meat products. En: ML Nolet & F Toldra (eds), *Advanced Technologies for Meat Processing*. Boca Raton. Taylor & Francis Group 2006: 275-308 p.
- Diplock AT, Aggett PJ, Ashwell M, Bornet F, Fern EB, Roberfroid MB. Scientific concepts of functional foods in Europe consensus document. *British Journal of Nutrition*. 1999;81(4):S1-S27.
- Olmedilla-Alonso B, Jimenez-Colmenero F, Sanchez-Muniz FJ. Development and assessment of healthy properties of meat and meat products designed as functional foods. *Meat Science*. 2013;95(4):919-30.
- Arihara K. Strategies for designing novel functional meat products. *Meat Science*. 2006;74(1):219-29.
- Hasler CM, Bloch AS, Thomson CA, Enrione E, Manning C. Position of the American Dietetic Association: Functional foods. *Journal of the American Dietetic Association*. 2004;104(5):814-26.
- Ferguson LR. Meat and cancer. *Meat Science*. 2010;84(2):308-13.
- Jimenez-Colmenero F, Carballo J, Cofrades S. Healthier meat and meat products: their role as functional foods. *Meat Science*. 2001;59(1):5-13.
- Decker EA, Park Y. Healthier meat products as functional foods. *Meat Science*. 2010;86(1):49-55.
- Fernandez-Gines JM, Fernandez-Lopez J, Sayas-Barbera E, Perez-Alvarez JA. Meat products as functional foods: A review. *Journal of Food Science*. 2005;70(2):R37-R43.
- Jimenez Colmenero F. *Meat based functional foods*. New Jersey: John Wiley & Son, Inc; 2007.
- Jimenez-Colmenero F, Sanchez-Muniz FJ, Olmedilla-Alonso B, Collaborators. Design and development of meat-based functional foods with walnut: Technological, nutritional and health impact. *Food Chemistry*. 2010;123(4):959-67.
- Cofrades S, Ayo J, Serrano A, Carballo J, Jimenez-Colmenero F. Walnut, microbial transglutaminase and chilling storage time effects on salt-free beef batter characteristics. *European Food Research and Technology*. 2006;222(3-4):458-66.
- Khan MI, Arshad MS, Anjum FM, Sameen A, Aneeq ur R, Gill WT. Meat as a functional food with special reference to probiotic sausages. *Food Research International*. 2011;44(10):3125-33.
- Weiss J, Gibis M, Schuh V, Salminen H. Advances in ingredient and processing systems for meat and meat products. *Meat Science*. 2010;86(1):196-213.
- Zhang W, Xiao S, Samaraweera H, Lee EJ, Ahn DU. Improving functional value of meat products. *Meat Science*. 2010;86(1):15-31.
- Jimenez-Colmenero F. Healthier lipid formulation approaches in meat-based functional foods. Technological options for replacement of meat fats by non-meat fats. *Trends in Food Science & Technology*. 2007;18(11):567-78.
- Jimenez-Colmenero F. Potential applications of multiple emulsions in the development of healthy and functional foods. *Food Research International*. 2013;52(1):64-74.
- Jimenez-Colmenero F, Salcedo-Sandoval L, Bou R, Cofrades S, Herrero AM, Ruiz-Capillas C. Novel applications of oil-structuring methods as a strategy to improve the fat content of meat products. *Trends in Food Science & Technology*. 2015;44(2):177-88.
- Ammor MS, Mayo B. Selection criteria for lactic acid bacteria to be used as functional starter cultures in dry sausage production: An update. *Meat Science*. 2007;76(1):138-46.
- Pasqualin Cavalheiro C, Ruiz-Capillas C, Herrero AM, Jimenez-Colmenero F, de Menezes CR, Martins Fries LL. Application of probiotic delivery systems in meat products. *Trends in Food Science & Technology*. 2015;46(1):120-31.
- Vuyst LD, Falony G, Leroy F. Probiotics in fermented sausages. *Meat science*. 2008;80(1):75-8.
- Työppönen S, Petaja E, Mattila-Sandholm T. Bioprotectives and probiotics for dry sausages. *International Journal of Food Microbiology*. 2003;83(3):233-44.
- Jiménez-Colmenero F, Delgado-Pando, G. En: JA Delcour & K Poutanen (eds). *Fibre-enriched meat products*. Oxford: Woodhead Publishing Limited; 2013: 329-347.
- Verma AK, Banerjee R. Dietary fibre as functional ingredient in meat products: a novel approach for healthy living - a review. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*. 2010;47(3):247-57.
- Desmond E. Reducing salt: A challenge for the meat industry. *Meat Science*. 2006;74(1):188-96.
- Ruusunen M, Puolanne E. Reducing sodium intake from meat products. *Meat Science*. 2005;70(3):531-41.
- Toldra F, Reig M. Innovations for healthier processed meats. *Trends in Food Science & Technology*. 2011;22(9):517-22.
- Boer AD, Bast A. International legislation on nutrition and health claims. *Food Policy*. 2015;55:61-70.

# USO DE HERRAMIENTAS PARA LA GESTION Y EVALUACION DE RIESGOS MICROBIOLÓGICOS EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS

## USE OF SOFTWARE TO MANAGE AND EVALUATE THE MICROBIAL RISKS IN THE FOOD INDUSTRY

Fernando SAMPEDRO PARRA Ph. D.<sup>1\*</sup>

### RESUMEN

Con la introducción de nuevos alimentos y cambios en los sistemas de procesado y conservación, los peligros a los que se enfrenta la cadena alimentaria pueden surgir de microorganismos ya establecidos pero que se encuentran en escenarios nuevos (re-emergentes) o desafíos microbiológicos totalmente nuevos (emergentes). El uso proactivo del HACCP (Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control) debería poder estimar estos peligros y establecer los requisitos necesarios para reducir su incidencia. Sin embargo, en los últimos años el mundo científico y los entes encargados de la gestión de la inocuidad alimentaria, tanto del gobierno como de la industria han buscado herramientas alternativas y científicamente más robustas que se puedan usar para dar soporte al HACCP. En este sentido, la evaluación de riesgos aplicado a nivel industrial (IMRA) en alimentos mínimamente procesados puede permitir la toma de decisiones basadas en un conocimiento científico y numérico. Para ello, se deben identificar los microorganismos relacionados con la inocuidad alimentaria de los productos, obtener datos estadísticamente fiables y robustos sobre la respuesta del microorganismo a los factores ambientales y aplicar modelos probabilísticos y simulación de Monte Carlo para predecir el comportamiento del microorganismo en diferentes escenarios. Con esta información, se pueden obtener modelos de evaluación de la exposición que permitan a las empresas evaluar la inocuidad alimentaria de sus productos y la toma de decisiones de una manera objetiva dando soporte cuantitativo al sistema HACCP.

**Palabras clave:** Evaluación de riesgos, modelación, simulación, microbiología de alimentos

### ABSTRACT

With the introduction of new foods and changes in the processing and preservation systems, the hazards may arise from microorganisms already established but reemerged in new scenarios or entirely new microbiological challenges. The proactive use of HACCP (hazard analysis and critical control points) should largely recognize these hazards and the requirements necessary to control them. However, in recent years researchers and food safety managers, both the government and the industry have been seeking additional and scientifically robust tools that can be used to support HACCP. In this sense, industrial risk assessment in minimally processed foods may allow decision-making based on a scientific and numerical knowledge. To do so, one must identify microorganisms related to food safety of products, statistically reliable and robust information on the microorganism response to environmental factors and applying probabilistic and Monte Carlo simulation models to predict the behavior of the microorganism in different scenarios. With this information, you can obtain exposure assessment models that allow companies to evaluate the food safety of their products and decision making in an objective way giving quantitative support to the HACCP system.

**Keywords:** Risk assessment, modeling, simulation, food microbiology

### ANTECEDENTES

Durante los últimos años, se han producido profundos cambios en la manera en que los países y las industrias de alimentos gestionan la inocui-

<sup>1</sup> Profesor asistente, Universidad de Minnesota (EEUU), Center For Animal Health and Food Safety (CAHFS), 1354 Eckles Avenue, St. Paul MN 55108.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: HYPERLINK "mailto:fsampedr@umn.edu" fsampedr@umn.edu.

dad alimentaria de sus productos. La inocuidad alimentaria ha evolucionado de un mero control rutinario del producto terminado a sistemas de autocontrol como el Análisis de Peligros y Puntos de Control Críticos (HACCP) que se emplea en las industrias y sistemas integrales de gestión de la inocuidad alimentaria tales como el Análisis de Riesgos (RA) que actualmente se aplica en diversos países. Sin embargo, se han detectado deficiencias en el HACCP tales como la falta de datos numéricos (cuantitativo) y un soporte científico adecuado, además de la incapacidad para vincularse con objetivos de salud pública y hacer frente a la variabilidad inherente en los sistemas alimentarios debido a su naturaleza cualitativa (1, 2) lo que le confiere cierta subjetividad (3). El análisis de riesgos (RA), sin embargo, se basa en una integración de los riesgos asociados a los alimentos que pueden afectar a los consumidores en toda la cadena alimentaria bajo el enfoque “de la granja a la mesa”. El análisis de riesgos es un proceso complejo que consta de tres elementos interrelacionados: evaluación de riesgos (componente científico), gestión del riesgo (componente jurídico) y comunicación del riesgo. Para dar soporte científico al análisis de riesgos, el sistema cuenta con la evaluación de riesgos que se define como el análisis científico independiente de la información disponible sobre el riesgo que tiene la presencia de un peligro en un alimento. La evaluación de riesgos microbiológicos, aplicada en el entorno industrial, puede convertirse en una herramienta definitiva que supla las carencias del HACCP, dándole una mayor objetividad, soporte científico y numérico. En este caso estaríamos hablando de una evaluación de Riesgos Industrial (IMRA).

## INTRODUCCIÓN

### **La evaluación de riesgos y la evaluación de riesgos industrial**

La evaluación de riesgos consta principalmente de cuatro pasos, la identificación del peligro que relaciona el peligro con el inicio de la enfermedad mediante el uso de datos de brotes de origen alimentario causados por alimentos contaminados con el peligro, así como su taxonomía y factores de virulencia asociados con el desarrollo de la enfermedad. Tras haber identificado el peligro, se lleva a cabo una caracterización del peligro que trata de identificar la etiología de la enfermedad causada

por el agente biológico, la influencia de diferentes subgrupos en los síntomas de la enfermedad y la relación dosis-respuesta. El tercer paso es la evaluación de la exposición que se ocupa de la ecología del peligro biológico, los pasos críticos de la cadena de producción en la que podría estar presente o proliferar el peligro y las medidas de control que determinan la influencia de factores ambientales y las condiciones del proceso en la supervivencia del agente biológico. Por último, toda la información recogida en las secciones anteriores se utiliza para producir una estimación del riesgo, conocido como la caracterización del riesgo, expresado como la probabilidad de que una población adquiera la enfermedad por el consumo de alimentos contaminados con el peligro. La evaluación del riesgo tiene carácter cualitativo o cuantitativo, dependiendo de la disponibilidad de datos. La evaluación cualitativa es el modelo más utilizado debido a la falta de datos sobre el patrón de consumo, los modelos de dosis-respuesta, contaminación inicial y supervivencia del microorganismo después del tratamiento y hasta el momento del consumo. En este caso la caracterización del riesgo puede ser descrita como insignificante, baja, media y alta. La evaluación de riesgos microbiológicos cuantitativa (QMRA) es más compleja y se basa en la disponibilidad de datos cuantitativos específicos relativos a la prevalencia del peligro en el producto bajo estudio en diferentes etapas de la cadena de productiva, así como la dosis necesaria para producir una respuesta en el hospedador (relación dosis-respuesta) y el uso de modelos matemáticos para caracterizar esa respuesta.

La evaluación de riesgos en la industria (IMRA) difiere con la evaluación de riesgos ‘convencional’ en cuanto cuantifica el peligro evaluando el grado de inocuidad del alimento que se está elaborando en la empresa, por lo que estamos hablando específicamente de una evaluación de la exposición que permite estimar el nivel de un peligro en algún momento antes del consumo. La evaluación de la exposición tiene en cuenta algunos factores como la frecuencia de la contaminación causada por el patógeno o su nivel en el alimento durante la vida útil. Al mismo tiempo, estos factores pueden ser influenciados por: i) características del agente patógeno y su entorno; ii) Ecología microbiana del alimento y la contaminación inicial de la materia prima; iii) nivel de control de la higiene, métodos de procesado, envasado, almacenamiento y distribución; iv) preparación del alimento (cocinado,

tiempos de proceso, etc.); v) patrones de consumo. Todos estos factores hacen que los niveles de patógenos en los alimentos varíen constantemente haciendo el proceso muy dinámico. Por lo tanto, la IMRA debe describir el comportamiento del microorganismo desde la producción al consumo. En este sentido, es necesario disponer de instrumentos y datos numéricos fiables de la respuesta del microorganismo a las condiciones ambientales. En este caso, la microbiología predictiva y la simulación Monte Carlo juegan un papel fundamental.

### **Herramientas disponibles de microbiología predictiva**

La microbiología predictiva es una disciplina que combina elementos de microbiología, matemáticas y estadística para desarrollar modelos que describen y predicen el comportamiento de los microorganismos bajo ciertas condiciones experimentales. Específicamente, se basa en la idea de que los organismos tienen un comportamiento reproducible y pueden describirse en función de diferentes variables a través de un modelo. Un modelo puede definirse como: “una representación simplificada, que incluye los aspectos claves de los sistemas existentes, que pueden utilizarse con fines predictivos y control” (4). La microbiología predictiva es esencial para realizar una evaluación de la exposición cuantitativa porque a través de ella y mediante un procedimiento de simulación, la variación en el número de microorganismos en una línea de producción puede estimarse con mayor o menor incertidumbre. Tradicionalmente, los datos de inactivación y crecimiento de microorganismos se han ajustado a modelos deterministas, obteniendo de esta manera los parámetros cinéticos (único valor). Sin embargo, el desarrollo de modelos probabilísticos que consideran activamente las variables del producto (ingredientes o formulación) y la variabilidad de proceso (valor mínimo al máximo incluyendo los percentiles) ha cobrado importancia en los últimos años y hoy en día son esenciales en la evaluación de riesgos cuantitativa (1, 2, 5-6). Mediante modelos matemáticos probabilísticos y simulaciones como Monte Carlo se puede predecir el número final de microorganismos tras cambios en el sistema como por ejemplo modificaciones en la formulación del producto (pH, aw, % sal) o en las condiciones de proceso (temperatura, humedad relativa), entre otros, considerando diferentes escenarios. El avance en dichos modelos permitirá

a las empresas la toma de decisiones basándose en un análisis cuantitativo.

Herramientas de microbiología predictiva como COMBASE (<http://www.combase.cc/es/>) desarrollada por el Institute of Food Research (Reino Unido) y el Pathogen Modeling Program (<http://pmp.errc.ars.usda.gov/PMPOne.aspx>) desarrollado por el United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service nos permiten predecir el crecimiento o inactivación de microorganismos patógenos a diferentes condiciones del alimento (pH, Aw, % sal, nitritos, etc) y poder así validar la vida útil de un alimento. Estas herramientas también poseen un repositorio de datos de crecimiento obtenidos por grupos de investigación alrededor del mundo en diferentes matrices alimentarias. Ambas herramientas son online y gratuitas.

### **Herramientas disponibles de evaluación de riesgos**

La simulación ha sido una herramienta importante en diferentes aspectos de la ciencia y la tecnología. Aunque se ha considerado la última alternativa en ausencia de datos, los últimos avances en software han convertido la simulación en una de las herramientas más utilizadas y aceptadas en el análisis y la investigación. La simulación mediante computador permite replicar experimentos o recrear escenarios mediante cambios selectivos en los parámetros o las condiciones de funcionamiento. Sin embargo, la simulación es una técnica imprecisa que proporciona sólo estimaciones estadísticas, no un resultado exacto. Debido a que la función de distribución de un grupo particular de datos implica el uso de números aleatorios y es un proceso estocástico dicha simulación se denomina simulación Monte Carlo. Este método es uno de los más potentes y utilizados para analizar problemas complejos que pueden producirse en escenarios relacionados con la inocuidad alimentaria (7). Presenta la ventaja de ser relativamente fácil de usar y de amplia aplicación. Hay que recordar que la simulación Monte Carlo es una técnica que permite que las variaciones en las variables de entrada de un modelo se propaguen a través de modelos matemáticos de inactivación, crecimiento o germinación, proporcionando información sobre la variación en el resultado final. Además, la simulación Monte Carlo permite también la posibilidad de llevar a cabo un análisis de sensibilidad de todos los parámetros en el modelo. El uso de la simulación de Monte Carlo, donde los

parámetros de entrada se describen mediante distribuciones de frecuencia, es un ejemplo de análisis estocástico o probabilístico (8). Sin embargo, la aplicación de la simulación Monte Carlo en estudios de evaluación de riesgos a nivel industrial es todavía escaso y solo pocos estudios están disponibles en la literatura (9-13).

Existen herramientas disponibles para la evaluación de riesgos como la herramienta desarrollada por la Food and Drug Administration (FDA) de Estados Unidos llamada IRISK (<https://irisk.foodrisk.org/>) que es una herramienta online y gratuita que permite al usuario construir un modelo cuantitativo de evaluación de riesgos en cualquier proceso alimentario y evaluar el impacto en la salud pública de consumir dicho alimento (número de toxi-infecciones alimentarias relacionadas con el consumo). Existe software especializado en análisis de riesgos (@Risk®, Palisade Corp.) que se utiliza como un 'complemento' para Microsoft Excel y que permite construir cualquier modelo de evaluación de riesgos mediante el uso de funciones de distribución y simulación Montecarlo.

**Anexo 1:** Repositorio de Herramientas de Analisis de Riesgos

**RISK RANGER:** <http://www.foodsafetycentre.com.au/riskranger.php>.

**COMBASE:** <http://www.combase.cc/index.php/en/>.

**STOCHASTIC FSO TOOL:** [http://www.icmsf.org/main/software\\_downloads.html](http://www.icmsf.org/main/software_downloads.html).

**ICMSF SAMPLING TOOLS:** [http://www.icmsf.org/main/software\\_downloads.html](http://www.icmsf.org/main/software_downloads.html).

**POULTRY TOOL (version 1:0):** <http://www.fstools.org/poultryRMTool/>.

**@Risk:** <http://www.palisade-lta.com/trials.asp>.

**iRISK:** <https://irisk.foodrisk.org/>.

**FOSCOLLAB:** [http://www.who.int/foodsafety/foscollab\\_dashboards/en/index.html](http://www.who.int/foodsafety/foscollab_dashboards/en/index.html).

**QUANTITATIVE MICROBIAL RISK ASSESSMENT (SQMRA):** <http://foodrisk.org/exclusives/sqmra/>.

**PATHOGEN MODELING PROGRAM:** <http://pmp.errc.ars.usda.gov/PMPOOnline.aspx>

## REFERENCIAS

1. Buchanan R L, Whiting R C. Risk assessment: A means for linking HACCP plans and public health, *J Food Prot*: 1998; 61: 1531-1534.
2. Hoornstra E, Northolt M D, Notermans S, Barendsz AW. The use of quantitative risk assessment in HACCP, *Food Cont*. 2001; 12: 229-234.
3. Zwietering M H, Nauta M J, Predictive models in microbiological risk assessment. En: *Modelling microorganisms in food* (Ed. S. Brul, S. van Gerwen, M. H. Zwietering, CRC Press, Boca Raton. 2007: 110p.
4. Eykhoff P, *System identification: parameter and state estimation*, John Wiley, New York, 1979.
5. Nauta, M J. Modelling bacterial growth in quantitative microbiological risk assessment: is it possible?, *Int J Food Micro*. 2002; 73: 297-304..
6. Baert K, Francois K, De Meulenaer B, Devlieghere F, Risk assessment: A quantitative approach. En: *Predictive modeling and risk assessment*, (Eds. Costa, R., Kristbergsson, K.), Springer, New York. 2009; 21-22.
7. Vose D. *Quantitative risk analysis: a guide to Monte Carlo simulation modelling*, Wiley, New York. 1996.
8. Van Gerwen S J C, Gorris L G M. Application of microbiological risk assessment in the food industry via tiered approach. *J Food Prot*. 2004; 67: 2033-2040.
9. Den Aantrekker, E.D.; Beumer, R.R.; van Gerwen, S.J.C.; Zwietering, M.C.; van Schothorst, M., Boom, R.M., Estimating the probability of recontamination via the air using Monte Carlo simulations, *Int J Food Micro*, 87, 1-15, 2003.
10. Ferrer C, Rodrigo D, Pina M C, Klein G, Rodrigo M, Martínez A, The Monte Carlo simulation is used to establish the most influential parameters on the final load of pulsed electric fields *E. coli* cells. *Food Control*. 2007; 18: 934-938.
11. Ferrer C, Tejedor W, Klein G, Rodrigo D, Rodrigo M, Martinez A. Monte Carlo simulation to establish the effect of pH, temperature and heating time on the final load of *Bacillus stearothermophilus* spores. *Eur Food Res Tech*. 2006; 224: 153-157.
12. Pina-Pérez MC, García-Fernández MM, Rodrigo D, Martínez-López A. Monte Carlo simulation as a method to determine the critical factors affecting two strains of *Escherichia coli* inactivation kinetics by high hydrostatic pressure. *Foodborne Pathogens and Disease*. 2010; 7: 459-466.
13. Sampedro F, Rodrigo D, Martinez A. Modelling the effect of pH and pectin concentration on the PEF inactivation of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium by using the Monte Carlo simulation. *Food Control*. 2012; 22: 420-425.

# VALIDACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS EN EL SECADO DE PRODUCTOS AGROINDUSTRIALES

## VALIDATION OF MATHEMATICAL MODELS IN DRYING OF AGROINDUSTRIAL PRODUCTS

Henry A. VAQUIRO H. Ph.D.<sup>1\*</sup>

### RESUMEN

El uso de modelos matemáticos es de gran importancia en el mejoramiento de los procesos agroindustriales, dada la necesidad de transformar, tan eficientemente como sea posible, productos que son valiosos pero al mismo tiempo perecederos.

Dentro de los procesos agroindustriales, el secado es una de las operaciones más importantes para la conservación de productos agropecuarios, sin embargo, también es uno de los procesos más intensivos en términos energéticos.

El estudio del proceso de secado, a través de modelos matemáticos que describen los mecanismos de transporte, contribuye al conocimiento del comportamiento de los productos así como al diseño y optimización de operaciones y equipos de procesamiento. Sin embargo, la demanda creciente de productos agroalimentarios estables y de alta calidad, también exige que las condiciones de operación sean optimizadas en términos de la calidad final del producto seco. En tal sentido, la modelización matemática puede ayudar a establecer tales condiciones para minimizar el deterioro de las propiedades nutricionales, funcionales y organolépticas de los productos.

La validación experimental de los modelos matemáticos se fundamenta en la precisión que ofrecen las estimaciones con respecto al comportamiento real del sistema, y constituye una etapa crucial al momento de escoger el modelo apropiado y establecer la capacidad de predicción en un rango de condiciones dadas.

Aún en los enfoques más simples, la representación matemática del proceso de secado considerando principios físicos, químicos y biológicos es, con frecuencia, no lineal, y su validación experimental representa cierta complejidad. En esta presentación se abordaron resultados de diferentes estudios en donde se realiza la validación experimental de modelos no lineales aplicados al secado de productos agroindustriales. La resolución y validación de los modelos fue realizada usando algunas herramientas de simulación y optimización de Matlab®, incluyendo casos prácticos donde se utilizaron diferentes algoritmos para la optimización de sistemas de ecuaciones no lineales con y sin restricciones. En la validación experimental se consideraron, además de la bondad de ajuste del modelo, los intervalos de confianza de los parámetros y el análisis de residuos.

**Palabras clave:** modelos matemáticos, fenómenos de transporte, optimización, algoritmos.

---

<sup>1</sup> Departamento de Producción y Sanidad Vegetal, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima, Ibagué – Colombia. havaquiro@ut.edu.co.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: jfsolanilla@ut.edu.co

# RESIDUOS AGROINDUSTRIAL DE FRUTAS: FUENTE DE COMPUESTOS CAROTENOIDES

AGROINDUSTRIAL BY-PRODUCTS FRUIT: SOURCE OF CAROTENOID COMPOUNDS

Luis Eduardo ORDÓÑEZ-SANTOS<sup>1\*</sup>

## RESUMEN

El procesamiento de frutas en pulpa, jugo, néctar, fermentados, productos de alta concentración osmótica y deshidratados, generan un volumen considerable de residuos, principalmente semilla y piel, material que representa en peso más del 40% de la fruta. En la actualidad a pesar de los reportes de los estudios que informan del potencial de los residuos de fruta como fuente de compuestos bioactivos, en Colombia dicho material, se utiliza en la alimentación animal, se destina en la producción de compost, o se descarta contaminando recursos naturales. Los residuos están disponibles a bajo costo y con altos rendimientos de extracción, por lo tanto, el presente trabajo es una contextualización del potencial agroindustrial de los residuos de frutas como una fuente promisoría de carotenoides, ya que a la fecha dichos residuos no son valorados en Colombia. La literatura científica consultada evidencia que los residuos de frutas como papaya, chontaduro, cítricos, y mango presentan concentraciones importantes de carotenoides, convirtiéndolos en fuente promisoría de estos pigmentos, que pueden ser empleados como colorantes, antioxidantes y provitamina A de origen natural. La tecnología de ultrasonido se perfila como una alternativa importante en la extracción de carotenoides presentes en los residuos de frutas, ya que el ultrasonido, permite obtener mayores rendimientos de extracción, con un consumo bajo de energía, reducción de los tiempos de extracción, y menor consumo de solventes, comparados con los métodos de extracción convencionales como la maceración y el soxhlet. Por otra parte, diferentes estudios reportan el potencial de los residuos de frutas como aditivos naturales en productos embu-

tidos, galletas, snack, y macarrones que permiten mejorar los atributos de color, y la concentración final de estos compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes o provitamina A. Se pueden concluir que los residuos frutas son una fuente importante de compuestos carotenoides, y su valoración como aditivo natural permitiría aumentar la competitividad del sector frutícola en Colombia.

**Palabras claves:** Aditivo, subproducto, b-caroteno, licopeno, piel

## ABSTRACT

Processing fruit pulp, juice, nectar, fermented products and dehydrated high osmotic concentration generate considerable amounts of by-products, mainly seed and peel, weight material representing more than 40% of the fruit. Today despite reports of studies reporting potential waste fruit as a source of bioactive compounds in Colombia such material is used in animal feed, is intended for the production of compost, or discarded polluting natural resources. By-products are available at low cost and with high extraction yields, therefore, the present work is a contextualization of agroindustrial potential of fruit waste as a promising source of carotenoids, and to date these residues are not valued in Colombia. The scientific literature reviewed evidence that residues as papaya fruit, peach palm, citrus, mango have significant concentrations of carotenoids makes them promising source of these pigments, which can be used as colorants, antioxidants and naturally occurring provitamin A. Ultrasound technology is emerging as an important alternative in the extraction of carotenoids in fruit waste as ultrasound, allows higher extraction yields, low

<sup>1</sup> Ph.D. Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingeniería y Administración, Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira, Carrera 32 N 12-00, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

\* Autor al que se debe enviar correspondencia: leordonezs@unal.edu.co

energy consumption, reduced extraction times and less solvent consumption, compared to conventional extraction methods such as maceration and soxhlet. Moreover, different studies report the potential waste of fruits and natural additives in sausage products, biscuits, snack, and macaroni that improve the attributes of color, and the final concentration of these bioactive compounds with antioxidant properties or provitamin A. It can be concluded that by-products fruits are an important source of carotenoid compounds, and its assessment as natural additive would increase the competitiveness of the fruit industry in Colombia.

**Keywords:** Additive, by-product, b-carotene, lycopene, peel

## INTRODUCCIÓN

En 2013 en Colombia la producción de frutas incluyendo las musáceas alcanzó los 8,93 millones de toneladas de frutas, cosechadas en una superficie de 700,877 hectáreas, que representan el 12,30% del área cultivada nacional. Las frutas con mayor participación en el área cosechada en frutales en este periodo, fueron banano (6,80%), cítricos (5,50%), mango (3,30%), aguacate (2,51%), piña (2,10%), mora (1,50%), tomate de árbol (1,30%), guayaba (1,20%), y chontaduro (1,13%) (1). El procesamiento de frutas en Colombia se destina principalmente a la producción de pulpas, néctar, salsas, frutas en almíbar, frutas deshidratadas, jaleas, mermeladas, dulces, y compotas (2), dicho procesamiento alcanza rendimientos entre el 40 y 55% de peso inicial de la fruta que entra como materia prima, y genera entre el 45-60% de residuos (3). Zonas industriales como Antioquia y Valle del Cauca reportan 163 ton/día y 230 ton/semana de desechos generados durante el procesamiento agroindustrial de las frutas (4, 5). El tipo de residuo de frutas depende del proceso de transformación aplicada y el tipo de fruta, pero en general se componen de cáscara, semillas y pulpa (6), si se analiza por el tipo de fruta, en el caso de la naranja, cerca del 50 % está constituido por cáscara y semilla (7) en la papaya y la piña alcanzan aproximadamente el 10-60 % del peso del fruto (8, 9), mientras que en la guayaba representan el 12 % del peso de la fruta fresca, principalmente semillas (10).

La disposición final de los residuos genera costos y representan un problema ambiental, debido a los altos volúmenes de materiales desechados (11). Una alternativa, es la valoración de estos residuos como

fuentes de compuestos bioactivos que podrían ser utilizados en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica (12). Estos residuos están disponibles a bajo costo y con altos rendimientos de extracción, por lo tanto, el presente trabajo es una contextualización del potencial agroindustrial de los residuos de frutas como una fuente promisoría de carotenoides, ya que a la fecha dichos residuos no son valorados en Colombia.

## INTRODUCCIÓN

### Los residuos de frutas como fuente de carotenoides

Los carotenoides son estructuras liposolubles, compuestos de 40 átomos de carbono formados por ocho unidades isoprenoides unidas de forma que la secuencia se invierte en el centro de la molécula (13). En general, los carotenoides se clasifican en dos grandes grupos: carotenos (estrictamente hidrocarburos) y xantofilas, derivados de los anteriores por incorporación de funciones oxigenadas. La propiedad funcional de los carotenoides en la alimentación humana radica principalmente en su actividad de provitamina A, y en su capacidad antioxidante que permite jugar un papel preventivo frente al cáncer, enfermedades cardiovasculares, cataratas y degeneración macular por la edad (13-15). En los últimos años diferentes trabajos de investigación han estudiado el potencial agroindustrial de los residuos de algunas frutas como fuente de carotenoides, es el caso de Ajila et al. (16) quienes indican que la concentración de carotenoides totales en la piel de dos variedades de mango en estado de madurez comercial, presentaron valores comprendidos entre 614,14 y 1213,45 mg b-caroteno/100 g muestra seca. Wang et al. (17) reportan un rango de concentraciones medias de carotenoides totales, en la piel de frutos cítricos entre 3,60-159 mg b-caroteno/100 g muestra seca. Kong et al. (18) obtienen concentraciones medias de licopeno (17,21 mg/100 g muestra seca) en el material de descarte generado durante la producción de pulpa de guayaba. Otros estudios de residuos de fruta reportan 5,34 mg b-caroteno/100 g de muestra seca en acerola (*Malpighia glabra* L.) y 1,11 mg b-caroteno/100 g de muestra seca en grosella (*Eugenia uniflora*) (19, 20).

Ordoñez-Santos et al. (21) evaluaron la concentración de carotenoides totales (mg b-caroteno/100 g de muestra seca) en residuos de frutas, he infor-

man que los residuos de papaya presentaron la mayor concentración de carotenoides (40,66), seguido de la guayaba (19,20), piña (12,38) y naranja (2,96). En la investigación realizada por Ordóñez-Santos et al. (22) evidencian que los residuos de chontaduro (*Bactris Gasipaes*) pueden ser una fuente importante de carotenoides al obtener concentraciones que alcanzan los 123,40 mg b-caroteno/100 g muestra seca. En el trabajo realizado por Freitas et al. (23) informan que la corteza de la piña posee una concentración de 3,20 mg b-caroteno/100 g de muestra seca. Alburquerque et al. (24) reportan contenidos importantes de luteína en residuos de cuatro variedades de chirimoya (*Annona cherimola* Mill) que oscilan entre 586-967 mg/100 g de muestra seca.

Por otra parte, las investigaciones adelantadas por Sun et al. (25), Ordoñez-Santos et al. (22) y Li et al. (26) permiten vislumbrar que la extracción asistida por ultrasonido jugará un papel importante en la valoración de los residuos de frutas como fuente de carotenoides, en el trabajo llevado a cabo por Sun et al. (25) se evidencia que al someter las muestras de piel de naranja a una intensidad de ultrasonido de 544,60 W/cm<sup>2</sup> la concentración de b-caroteno aumenta de 0,30 a 0,80 mg/100 g de muestra seca. Ordóñez-Santos et al. (22) trabajaron con harina de residuos de chontaduro (*Bactris gasipaes*) sometida a tratamientos con ultrasonido (intensidad de 1528 W/m<sup>2</sup>, temperatura 35 °C y tiempo de extracción 30 min) presentando mayores niveles de carotenoides totales (163,47 mg b-caroteno/100 g de muestra seca), frente a los que no fueron expuestas a la acción del ultrasonido (123,40 mg b-caroteno/ 100 g de muestra seca). Li et al. (26) obtienen mayor nivel de extracción de licopeno en piel de papaya al tratar las muestras con ultrasonido (189,80 ug/g muestra fresca) frente a maceración (153,90 ug/g muestra fresca) y soxhlet (68,30 ug/g muestra fresca).

Otros trabajos han abordado la aplicación de los residuos de frutas como fuente de carotenoides en diferentes matrices alimentarias, es el caso de Ajila et al. (27) y Ajila et al. (28) quienes incorporaron harina de piel de mango en galletas y macarrones, en el primer producto trabajaron concentraciones de harina entre 5-20%, logrando incrementar la concentración de carotenoides de 53 a 247 ug/g muestra seca y en el segundo producto, fue formulado entre 2,50 y 7,50% de la harina de residuo de mango, permitiendo incrementar los niveles de carotenoides entre 26,50 y 84 ug/g muestra seca. Hernández y Güemes (29) reportan un aumento

de la coloración amarilla en salchichas, al utilizar harina de cascara de naranja en una concentración del 2,50% w/w, los autores comentan que el aumento en el color amarillo en el producto evaluado es debido a la presencia de compuestos carotenoides en la piel del citado cítrico. Pinzón-Zarate et al. (30) registra que la aplicación de extractos de residuos de chontaduro en aceite de girasol (19 ml/ kg) permite reducir la concentración de nitritos de 200 ppm a 160 ppm sin afectar estadísticamente el color superficial de las salchichas expresadas en la coordenada colorimétrica a\*. Tovar-Jiménez et al. (31) reportan el haber utilizado en la formulación de snacks 10% w/w de harina de residuo de naranja como fuente de carotenoides totales, después de la extrusión, el contenido final de carotenoides correspondió a 0,095 mg/ 100 g de snacks.

## CONCLUSIONES

Los residuos frutas son una fuente importante de compuestos carotenoides. La extracción asistida con ultrasonido ha sido propuesta como una tecnología emergente que logra mayores rendimientos frente a la extracción convencional. La utilización de los residuos de fruta como fuente de pigmentos carotenoides presenta un gran potencial en la industria de alimentos, y su valoración como aditivo natural permitiría aumentar la competitividad del sector frutícola y proteger el medio ambiente del país.

## REFERENCIAS

1. AGRONET. Red de Información y Comunicación Estratégica del Sector Agropecuario – AGRONET Colombia. Recuperado el 30 de marzo de 2015, de <http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Estad%C3%ADsticas.aspx>
2. DNP. Dirección Nacional de Planeación Colombia. Recuperado el 30 de marzo de 2015, de <https://www.dnp.gov.co/programas/desarrollo-empresarial/Paginas/analisis-cadenas-productivas.aspx>
3. ICTA. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Curso Virtual de Procesamiento y Conservación de Fruta. Recuperado el 30 de marzo de 2015, de <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2006228/html/profesor.html>
4. Yepes S M, Montoya Naranjo L J, Orozco Sánchez F. Valorización de residuos Agroindustriales – Frutas – en Medellín y el sur del Valle del Aburrá, Colombia. Rev. Fac. Nal. Agr. 2008; 61(1): 4422-4431.
5. Ordóñez-Santos L E. Proyecto estudio generación de residuos vegetales en el Valle del Cauca. Palmira: Universidad Nacional de Colombia 2002; 120p.
6. Viganó J, Fonseca AP, Martínez J. Sub- and supercritical fluid technology applied to food waste processing. J. Supercrit. Fluids. 2015; 96(1): 272-286.
7. Álvarez M, Belén D, Sánchez M, Vilorio M, García D. Evaluación de la actividad antioxidante de extractos de flavonoides de cáscara

- de naranja en el aceite de soja desodorizado. *Interciencia*, 2004; 29(99): 532-538.
8. Ayala-Zavala J F, Vega-Vega V, Rosas-Domínguez C, Palafox-Carlos H, Villa-Rodríguez J A, Wasim Siddiqui, Md, Dávila-Aviña J E, González-Aguilar G A. Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. *FOOD RES INT*. 2011; 44: 1866-1874
  9. Silva L M R, Figueiredo EAT, Ricardo, N.M.P.S, Vieira, I.G.P, Figueiredo R W, Brasil IM, Gómez C L. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. *Food Chem*. 2014; 143: 398-404.
  10. Serna L, Mera J, Angulo J, Gómez A. Kinetics of alcoholic fermentation using guava (*Psidium guajava*) seed flour and dry mycelium of *Apergillus niger* as nitrogen sources. *Dyna*. 2013; 80(180): 113-121.
  11. Bolanho B C, Godoy ED, Belécia A P. Carbohydrate composition of peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) by-products flours, *Carbohydr Polym*. 2015; 124: 196-200.
  12. Babbar, N, Oberoi, H.S, and Sandhu, S.K. Therapeutic and Nutraceutical Potential of Bioactive Compounds Extracted from Fruit Residues. *Crit Rev Food Sci*. 2015; 55: 319-337.
  13. Meléndez-Martínez A J, Vicario I M, Heredia F J. Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales y fisicoquímicas. *Arch.Latinoam. Nutr*. 2007; 57(2): 109-117.
  14. Mínguez Mosquera M I, Pérez Gálvez A, Hornero-Méndez D. Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales: mucho más que simples "colorantes" naturales. Recuperado el 30 de marzo de 2015, de [http://digital.csic.es/bitstream/10261/5754/1/IG\\_AGROCSIC\\_4.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/5754/1/IG_AGROCSIC_4.pdf).
  15. Carranco J M E, Calvo C M C, Pérez-Gil R F. Carotenoides y su función antioxidante: *Arch.Latinoam. Nutr*. 2011; 61(3): 233-241.
  16. Ajila C M, Bhat SG, Rao U J S P. Valuable components of raw and ripe peels from two Indian mango varieties. *Food Chem*. 2007; 102: 1006-1011.
  17. Wang Y C, Chuang Y C, Hsu H W. The flavonoid, carotenoid and pectin content in peels of citrus cultivated in Taiwan. *Food Chem*. 2008; 106: 277-284.
  18. Kong K W, Ismail A, Tan C P, Rajab N F. Optimization of oven drying conditions for lycopene content and lipophilic antioxidant capacity in a by-product of the pink guava puree industry using response surface methodology. *LWT-Food Sci. Tech*. 2010; 43(5): 729-735.
  19. Sousa M S B, Vieira LM, Silva M J M, Lima A. Nutritional characterization and antioxidant compounds in pulp residues of tropical fruits. *Ciênc. agrotec*. 2010. 35(3): 554-559.
  20. da Silva L M R, de Figueiredo E A T, Ricardo N M P S, Vieira I G P, de Figueiredo R W, Brasil IM, Gomes C.L. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. *Food Chem*. 2014; 143: 398-404.
  21. Ordoñez-Santos L E, Hurtado A P, Ríos S O D, Arias J M E. Concentración de carotenoides totales en residuos de frutas tropicales. *Producción + Limpia*, 2014; 9(1):91-98.
  22. Ordóñez-Santos L E, Pinzón-Zarate L X, González-Salcedo L O. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of total carotenoids from peach palm fruit (*Bactris gasipaes*) by-products with sunflower oil using response surface methodology. *Ultrason sonochem*. 2015; 27: 560-566.
  23. Freitas A, Moldao-Mortinslburquerque T G, Valente A, Sanches-Silva. Effect of UV-C radiation on bioactive compounds of pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.) by-products. *J Sci Food Agric*. 2015; 95: 44-52.
  24. Albuquerque T G, Santos F, Sanches-Silva A, Oliveira M B, Bento AC, Costa H S. Nutritional and phytochemical composition of *Annona cherimola* Mill. fruits and by-products: Potential health benefits. *Food Chem*. 2016; 193:187-195.
  25. Sun Y, Liu D, Chen J, Ye X, Yu D. Effects of different factors of ultrasound treatment on the extraction yield of the all-trans-β-carotene from citrus peels. *Ultrason Sonochem*. 2011; 18: 243-249.
  26. Li A N, Li S, Xu D P, Xu X R, Chen Y M, Ling W H, Feng Chen, Li H B. Optimization of ultrasound-assisted extraction of lycopene from papaya processing waste by response surface methodology. *Food Anal Methods*. 2015, 8(5): 1207-1214.
  27. Ajila C M, Leclavathi K, & Rao, U.P. Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. *J. cereal sci*. 2008; 48(2): 319-326.
  28. Ajila C M, Aalami M, Leclavathi K, Rao U.P. Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations. *Innov. Food Sci. Emerg. Techno*. 2010; 11(1): 219-224.
  29. Hernández G S, Guemes V.N. Efecto de la adición de cascara de harina de naranja sobre las propiedades fisicoquímicas, texturales y sensoriales de salchichas cocidas. *Nacameh*, 2010; 4(1): 23-36.
  30. Pinzón-Zarate L X, Hleap-Zapata J I, Ordóñez-Santos L E. Análisis de los Parámetros de Color en Salchichas Frankfurt Adicionadas con Extracto Oleoso de Residuos de Chontaduro (*Bactris Gasipaes*). *Información tecnológica*, 2015; 26(5): 45-54.
  31. Tovar-Jiménez X, Caro-Corrales J, Gómez-Aldapa C A, Zazueta-Morales J, Limón-Valenzuela V, Castro-Rosas J, Hernández-Ávila J, Aguilar-Palazuelos H. Third generation snacks manufactured from orange by-products: physicochemical and nutritional characterization. *J Food Sci Technol*. 2015; 52(10): 6607-6614.

# USO DE RADIOFRECUENCIA COMO ALTERNATIVA EFICAZ PARA LA DESINFESTACIÓN POSTCOSECHA: UNA REVISIÓN PARA ALIMENTOS SECOS

## RADIOFREQUENCY HEATING AS AN EFFECTIVE ALTERNATIVE FOR POSTHARVEST DISINFESTATION: A REVIEW FOR DRY FOODS

Cristina GARCÍA-MOSQUEDA B. Eng.<sup>1</sup>, Abel CERÓN-GARCÍA PhD.<sup>1</sup>, Manuel Darío SALAS ARAIZA PhD.<sup>1</sup>, María Elena SOSA-MORALES PhD<sup>1\*</sup>.

### RESUMEN

**Antecedentes:** La erradicación de plagas durante el almacenamiento y distribución de alimentos secos es una problemática aún vigente. Debido a que los plaguicidas químicos han sido restringidos debido a su impacto sobre el medio ambiente y la salud, nuevas alternativas al control de insectos han sido propuestas. El calentamiento con radiofrecuencia surge como un tratamiento físico eficaz para el control de plagas, con ventajas como calentamiento diferencial, rapidez y amigable con el medio ambiente. **Objetivo:** El objetivo del presente trabajo es revisar los fundamentos de la tecnología de radiofrecuencia, sus ventajas, retos y aplicaciones reportadas en alimentos secos. **Resultados:** La aplicación de radiofrecuencia a potencia de 0.6 y hasta 25 kW es una tecnología reportada como eficiente en el control de insectos en nueces, leguminosas, arroz y frutos secos. Los tratamientos son relativamente cortos y han sido estudiados contra *Cidia pomonella* y *Amyelois transitella* en nueces; *Plodia interpunctella* y *Tribolium castaneum* en leguminosas; *Rhyzopertha dominica* y *Sitotroga cerealella* en arroz. No se reportaron daños en las propiedades de los alimentos sometidos a estos tratamientos, y se recomiendan algunas estrategias para mejorar la uniformidad del calentamiento. **Conclusiones:** La tecnología de radiofrecuencia es poco conocida y presenta retos como la falta de uniformidad en el calentamiento, sin embargo, puede ser una alternativa a los plaguicidas químicos contra insectos de alta importancia económica en alimentos secos.

**Palabras clave:** Radiofrecuencia, desinfestación poscosecha, alimentos secos, plagas en alimentos secos.

### ABSTRACT

**Background:** The eradication of pests during storage and distribution of dry foods is a problem still in force. Due to chemical pesticides have been restricted because of its impact on environment and health, new alternatives for insect control have been proposed. The radiofrequency heating (RF) arises as a physical treatment effective to control pests, with advantages as differential heating, fast and environmentally friendly. **Objective:** The purpose of this paper is to review the basics of RF technology, its advantages, challenges and applications reported in dry foods. **Results:** The application of radio frequency at power from 0.6 to 25 kW is a technology reported as effective in controlling insects for nuts, legumes, rice and dry fruits. The treatments are relatively short and have been studied against *Cidia pomonella* and *Amyelois transitella* in nuts; *Plodia interpunctella* and *Tribolium castaneum* in legumes; *Rhyzopertha dominica* and *Sitotroga cerealella* in rice. No damage was reported in the properties of the food subjected to these treatments, and some strategies are recommended to improve the uniformity of heating. **Conclusions:** Radiofrequency technology is poorly understood and presents challenges as the non-uniformity in the heating, however, can be an alternative to chemical pesticides against insects of economic importance in dry foods.

<sup>1</sup> Departamento de Alimentos, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato- Salamanca, Universidad de Guanajuato, Ex-Hacienda El Copal Carr. Irapuato-Silao km 9, Irapuato, Guanajuato 36500 México.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: msosa@ugto.mx

**Keywords:** Radiofrequency heating, postharvest disinfection, dry foods, pests in dry foods.

## INTRODUCCIÓN

Los tratamientos postcosecha son de reciente desarrollo para la historia de la humanidad. Dos acontecimientos condujeron al desarrollo de métodos postcosecha para eliminar insectos: El primero se refiere a la distribución de la plaga de insectos. Históricamente, la distribución de insectos era limitada por su biología y las fuerzas geofísicas, pero con el aumento de los viajes por los seres humanos, la exploración y el comercio, los insectos han sido transportados a nuevas áreas. El segundo evento implicado fue el desarrollo de la tecnología agrícola, para almacenar productos para consumo futuro o transportarlos a distintos mercados para obtener ganancias económicas (1).

Existen diversos métodos para la eliminación de insectos (desinfestación) en los productos, los cuales se clasifican como a) térmicos: refrigeración, agua, aire caliente, vapor y calentamiento dieléctrico (microondas y radiofrecuencia) y b) no térmicos: atmósferas controladas y modificadas, físicos, químicos y biológicos (2). El calentamiento ha tenido una variedad de usos en la historia de la humanidad,

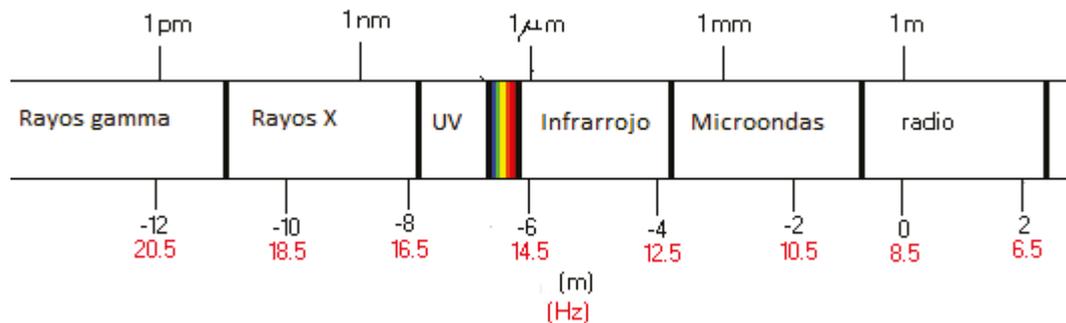
en la cocción y la conservación de alimentos, pero no fue utilizado como un método de control de plagas de los productos almacenados, sino hasta la era moderna. El calor puede ser generado por diversos métodos: oxidación química y combustión, resistencias eléctricas y la exposición electromagnética. La manera en que se produce el calor afecta tanto a los productos y sus plagas (1).

El objetivo de la presente revisión es presentar los fundamentos de la tecnología de radiofrecuencia, sus ventajas, retos y aplicaciones reportadas en alimentos secos.

## INTRODUCCION

### Radiofrecuencia

Las ondas de radiofrecuencia (RF) son ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz en un espacio libre ( $3.0 \times 10^8$  m/s), oscilan en un rango de frecuencia de 3 kHz – 300 MHz (3,4). Se ubican dentro del espectro electromagnético después de las microondas (Figura 1). La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) de Estados Unidos ha asignado frecuencias específicas para aplicaciones industriales, médicas y científicas, incluyendo 13.56, 27.12 y 40.86 MHz para RF (4-7).



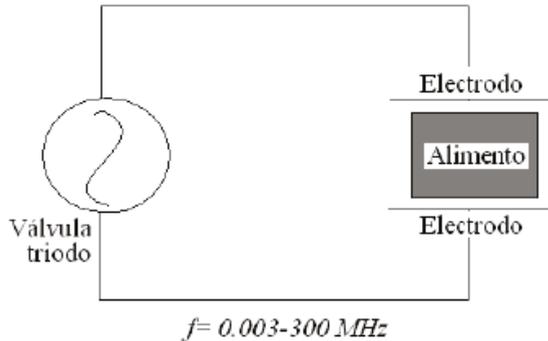
**Figura 1.** Espectro electromagnético. Adaptado de Crecente (8)

El calentamiento con ondas de RF se ha aplicado en la industria de alimentos, considerado como un calentamiento volumétrico, con velocidad de calentamiento ajustable y alta eficiencia energética (9, 10). Amplios usos también se han explorado en desinfección, inactivación enzimática, pasteurización y esterilización (11-14).

### Mecanismo de calentamiento con RF

Para un sistema RF, las placas paralelas son la configuración de electrodo más comúnmente utilizado para calentar material a granel (15). El material es colocado entre los dos electrodos de placas paralelas, el cual actúa como un condensador. Cuando el

sistema es energizado, el generador proporciona alto voltaje, potencia a alta frecuencia a los electrodos, y el material alimenticio - con ciertas propiedades dieléctricas - se calienta en alta densidad alternando en el campo eléctrico. Las propiedades dieléctricas de los alimentos son propiedades intrínsecas importantes que influyen directamente en la conversión de energía (16).



**Figura 2.** Calentamiento por ondas de radiofrecuencia. Adaptado de Marra et al. (17)

El mecanismo de calentamiento por RF es radiación, ya que son ondas electromagnéticas, aunque cabe señalar que es del tipo no ionizante, es decir, no altera el material genético.

### Ventajas y desventajas de desinfestación con RF

Las ventajas del calentamiento con RF son rapidez, penetración profunda en el material debido a su mayor longitud de onda, no produce residuos tóxicos y produce calentamiento diferencial entre el producto y la plaga (1). El calentamiento diferencial ocurre principalmente al tratar alimentos secos con RF: los insectos se calientan más rápidamente que los productos debido a mayor contenido de humedad, alcanzando su temperatura letal, mientras que las materias primas serían calentadas a una temperatura más baja que no causa pérdidas en la calidad (18).

Por otro lado, el calentamiento no uniforme se ha considerado uno de los retos más importantes durante el desarrollo de tratamientos con RF (6). La energía se concentra en determinados puntos ("puntos calientes", como esquinas y bordes de los contenedores donde se expone la muestra), sobrecalentando el material y dejando otras áreas sin alcanzar la temperatura objetivo ("puntos fríos", en los que no se podría asegurar la efectividad del tra-

tamiento), por lo que es importante agitar o mover la muestra. Para mejorar la uniformidad en el calentamiento, en sistemas por lotes y piloto la muestra se mueve manualmente y en sistemas industriales, el alimento se mueve con bandas transportadoras.

Otra debilidad de la técnica de RF es que es poco conocida y difundida. Hay pocos fabricantes de máquinas de RF en el mundo (Reino Unido, China) y se dispone de estos equipos a nivel piloto; el escalamiento a nivel industrial se encuentra en proceso.

## MATERIALES Y METODOS

### Estudios de desinfestación de productos secos con rf

#### Nueces

El grupo de las nueces está conformado por alimentos de baja humedad y de alto valor económico; durante su almacenamiento se puede presentar *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae), cuyas larvas del tercer y cuarto estadio se han reportado como las más termorresistentes. Se han propuesto tratamientos con RF a escala piloto a 27 MHz en nueces con cáscara por 3 min, logrando una temperatura de 53°C y 100% de mortalidad de las larvas, sin verse afectada la calidad de las nueces (19). A escala industrial, 27 MHz y 25kW, se propusieron tratamientos continuos para nueces, con una distancia entre los electrodos de 260 a 400 mm y velocidades en la banda transportadora de 4.8 a 57 m/h, proporcionando así diferentes tiempos de residencia del producto, siendo el más efectivo una distancia de 280 mm, velocidad de 57 m/h y aire caliente a 60°C; la eficiencia del calentamiento fue de 79.5% en 1561.7 kg/h de nueces (20, 21). Se propusieron tratamientos de RF para almendras con cáscara y sin cáscara con una unidad de RF (27 MHz, 0.75 kW de potencia), aire forzado a 63°C y una velocidad en la cinta transportadora de 0.56 m/min (22). Los tratamientos de RF redujeron drásticamente el tiempo de calentamiento, siendo 6.4 y 8.8 min para tratar 1.5 kg de almendras con cáscara y 2.4 kg sin cáscara, comparado con 86 y 137 min, respectivamente cuando se calentaron sólo con aire a 63°C. El índice de peróxido, el porcentaje de ácidos grasos y el color de las almendras tratadas eran similares a las no tratadas después de 20 días a 35°C, simulando 2 años de almacenamiento a 4°C.

## Leguminosas

Las leguminosas son semillas con alto valor proteico y siguen siendo parte de la dieta de millones de consumidores. Wang et al. (12) realizaron tratamientos de desinfestación en garbanzos y guisantes y lentejas utilizando RF en una unidad piloto de 27.12 MHz y 6 kW de potencia con una cinta transportadora y un sistema de aire caliente. Los mejores resultados se obtuvieron con 5-7 min de tratamiento RF seguido por 10 min de tiempo de mantenimiento con aire caliente a 60°C en una cinta transportadora a una velocidad de 0.56 m/min. En la etapa final, las legumbres se enfriaron con aire a presión a temperatura ambiente, entre 15 y 18 min. Estos tratamientos no causaron daño significativo en las materias primas (incluyendo los efectos en la germinación de los cultivos) y se llevaron menos tiempo que el calentamiento de aire forzado a 60°C, que requiere 312 a 660 min, dependiendo del tipo de legumbre, contra la palomilla india *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) y escarabajo rojo de la harina *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae).

## Arroz

El arroz es uno de los cereales más comercializado en el mundo y base de la alimentación de diversos países. Para este grano, Lagunas-Solar et al. (23) reportaron tratamientos con RF que lograron el 100% de mortalidad de insectos barrenadores *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichida) a 60°C con un tiempo de retención de 5 min, seguido de 1 h de atemperado, mientras que la palomilla dorada *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelechiidae) requirió 50°C mantenida por 5 min y 2 h de atemperado, 55°C por 5 min y 1 h de atemperado, o 60°C por 5 min y 0.5 h de atemperado. Los parámetros de calidad de molienda no se vieron afectados significativamente por el tratamiento de RF. Recientemente, Veerasilp et al. (3) desarrollaron prototipos con calentamiento por RF para el control del gorgojo en el arroz molido. Los insectos en todas las etapas de crecimiento se eliminaron por completo a temperaturas de 50°C y 55°C. Durante el tratamiento a 50°C por 3 min no hubo diferencias significativas en el arroz tratado respecto al no tratado, por lo que este protocolo puede eliminar el gorgojo manteniendo las características del arroz.

## Frutos secos

Los dátiles, higos y pasas son frutos secos que se almacenan y pueden presentar problemas de infestación por palomillas y escarabajos. Alfaifi et al. (24) desarrollaron tratamientos con RF a nivel piloto (27 MHz, 6 kW de potencia) para un lote de 3 kg de pasas de uva en un contenedor de polipropileno hasta alcanzar temperaturas de 50 a 55°C, usando distancias entre los electrodo de 13 a 14.2 cm. Los autores también desarrollaron un modelo y lo validaron contra los datos experimentales, encontrando que las esquinas y los bordes se calentaron más que el centro del contenedor durante el tratamiento de las pasas con RF.

## CONCLUSIONES

La tecnología de radiofrecuencia es poco conocida y presenta retos como la falta de uniformidad en el calentamiento; sin embargo, puede ser una alternativa a los plaguicidas contra insectos de alta importancia económica en alimentos secos, como nueces, almendras, legumbres (garbanzo, lenteja), arroz y pasas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CONACYT por el apoyo a través del proyecto 168990 y por la beca para la autora C. García-Mosqueda.

## REFERENCIAS

1. Hansen JD, Johnson JA, Winter D. History and use of heat in pest control: a review. *International Journal of Pest Management*. 2011; 57: 267-289.
2. Sosa-Morales ME, Villa-Rojas R, Rojas-Laguna R, López-Malo A. RF de-infestation (pest control) of agricultural products. En: *Radio-frequency heating in Food Processing*. Editado por G. Awuah, H. Ramaswamy y J. Tang. CRC-Taylor & Francis. 2015; 337-353p.
3. Veerasilp S, Thanapornpoonpong S, Krittigamas N, Suriyong S, Akaranuchat P, Hörstenc D. Vertical operating prototype development supported radio frequency heating system in controlling rice weevil in milled rice. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2015; 5:184-192.
4. Wang S, Tang J. Radio frequency and microwave alternative treatments for nut insect control: a review. *International Agricultural Engineering Journal*. 2001; 10: 105-120.
5. Llave Y, Terada Y, Fukuoka M, Sakai N. Dielectric properties of frozen tuna and analysis of defrosting using a radio-frequency system at low frequencies. *Journal of Food Engineering*. 2014; 139: 1-9
6. Alfaifi B, Wang S, Tang J, Rasco B, Sablani S, Jiao Y. Radio frequency disinfestation treatments for dried fruit: Dielectric properties. *LWT-Food Science and Technology*. 2013; 50:746-754.

7. Marra F, Zhang L, Lyng J. Radio frequency treatment of foods: Review of recent advances. *Journal of Food Engineering*. 2009; 1: 497-508.
8. Crecente C. 2009. Síntesis orgánica asistida por microondas. Tesis de Doctorado. Universidad de Santiago de Compostela. España.
9. Farag KW, Lyng JG, Morgan DJ, Cronin DA. A comparison of conventional and radio frequency thawing of beef meats: effects on product temperature distribution. *Food Bioprocess Technology*. 2011; 4(7): 1128-1136.
10. Palazoglu TK, Coskun Y, Kocadagli T, Gokmen V. Effect of radio frequency postdrying of partially baked cookies on acrylamide content, texture, and color of the final product. *Journal Food Science*. 2012; 77 (5): E113-E117.
11. Wang S, Tang J, Cavalieri RP, Davis DC. Differential heating of insects in dried nuts and fruits associated with radio frequency and microwave treatments. *Transactions of the ASAE*. 2003; 46(4):1175-1182.
12. Wang S, Tiwari G, Jiao S, Johnson J, Tang J. Developing postharvest disinfestation treatments for legumes using radio frequency energy. *Biosystems Engineering*. 2010; 105: 341-349.
13. Luechapattaporn K, Wang Y, Wang J, Tang J, Hallberg L, Dunne P. Sterilization of scrambled eggs in military polymeric trays by radio frequency energy. *Journal Food Science*. 2005; 70(4): E288-E294.
14. Gao M, Tang J, Villa-Rojas R, Wang Y, Wang S. Pasteurization process development for controlling Salmonella in in-shell almonds using radio frequency energy. *Journal of Food Engineering*. 2011; 104 (2): 299-306.
15. Jones PL, Rowley AT. Dielectric drying. *Drying Technology* 1996; 14: 1063-98.
16. Jiao Y, Tang J, Wang S. A new strategy to improve heating uniformity of low moisture foods in radio frequency treatment for pathogen control. *Journal of Food Engineering*. 2014; 141:128-138.
17. Marra F, Zhang L, Lyng J. Radio frequency treatment of foods: Review of recent advances. *Journal of food Engineering*. 2009; 91: 497-508.
18. Wang S, Tang J, Johnson J, Cavalieri RP. Heating uniformity and differential heating of insects in almonds associated with radio frequency energy. *Journal of Stored Products Research*. 2013; 55: 15-20.
19. Wang S, Ikediala JN, Tang J, Hansen JD, Mitcham E, Mao R, Swanson B. Radio frequency treatments to control codling moth in in-shell walnuts. *Postharvest Biology and Technology*. 2001; 22(1):29-38.
20. Wang S, Monzon M, Johnson JA, Mitcham EJ, Tang J. Industrial-scale radio frequency treatments for insect control in walnuts. I. Heating uniformity and energy efficiency. *Postharvest Biology and Technology*. 2007; 45:240-246.
21. Wang S, Monzon M, Johnson JA, Mitcham EJ, Tang J. Industrial-scale radio frequency treatments for insect control in walnuts. II. Insect mortality and product quality. *Postharvest Biology and Technology*. 2007; 45:247-253.
22. Gao M, Tang J, Wang Y, Powers J, Wang S. Almond quality as influenced by radio frequency heat treatments for disinfestation. *Postharvest Biology and Technology*. 2010; 58: 225-231.
23. Lagunas-Solar MC, Pan Z, Zeng NX, Truong TD, Khir R, Amarutunga KSP. Application of radiofrequency power for non-chemical disinfestation of rough rice with full retention of quality attributes. *Applied Engineering in Agriculture*. 2007; 23(5):647-654.
24. Alfaifi B, Wang S, Tang J, Rasco B, Sablani S, Jiao Y. Radio frequency disinfestation treatments for dried fruit: Model development and validation. *Journal of Food Engineering*. 2014; 120: 268-276.

# MUSÁCEAS, INVESTIGACIÓN CON PROPÓSITO

## MUSAS, RESEARCH WITH A PURPOSE

Francisco Javier CASTELLANOS-GALEANO Ph.D.<sup>1\*</sup>, Cristina Inés ÁLVAREZ-BARRETO Ph.D.<sup>2</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes:** La producción de plátanos en el mundo oscila en 40 millones de toneladas en los últimos diez años, Colombia aporta el 10 % de esa producción, pero de este porcentaje sólo se utiliza la décima parte en procesos agroindustriales. **Objetivos:** El objetivo del estudio fue analizar distintas alternativas de procesamiento agroindustrial para el plátano, las cuales mejoren las calidades comerciales y sensoriales del producto terminado. **Métodos:** Se estudiaron distintas operaciones unitarias, La fritura por inmersión de rodajas de plátano, desde el punto de vista de las condiciones de operación (presión, temperatura del aceite y tiempo del proceso), además, de los parámetros fisicoquímicos que deterioran los aceites en la fritura, adicionalmente, se realizaron investigaciones combinando la impregnación al vacío de soluciones con agentes fortificantes y freído, evaluando como variables de respuesta, los contenidos de grasa y humedad, color, textura y características sensoriales, con base en la normativa vigente Colombiana. Las condiciones de operación óptimas estadísticamente en el proceso de fritura por inmersión de rodajas de plátano verde fueron 132 °C, 10 kPa y 6 min, para contenidos de grasa de 32 % y textura de 7 N, además, el índice de peróxidos y el porcentaje de acidez del aceite utilizado muestran diferencias estadísticamente significativas con el estado de maduración plátano variedad Dominico Hartón, así mismo, se encontró que recubrimientos de goma guar en las rodajas de plátano reducen el contenido de grasa hasta el 43% en chips sin pretratamiento, además, se encontró

que hay una relación directa entre la concentración de las películas y la reducción de grasa. La fritura por inmersión al vacío en conjunto con pretratamientos como la impregnación al vacío de soluciones de calcio y cinc también ayudan a disminuir el contenido de grasa en rodajas de plátano (de 23,4 % a 11,5%). Se pueden obtener productos fritos más saludables ricos en minerales y bajos en grasa mediante el uso acoplado de las tecnologías de impregnación y fritura por inmersión al vacío. **Conclusión:** Los resultados de esta investigación generaron conocimiento, que puede contribuir al desarrollo agroindustrial de la matriz alimenticia plátano, por lo que estos resultados disminuyen la brecha entre la comercialización en fresco y el producto transformado, lo que ayudaría al mejoramiento de las condiciones socioeconómicas de las comunidades productoras.

**Palabras clave:** Plátano, fritura por inmersión, impregnación al vacío, deterioro de aceite, películas de recubrimiento, fortificación.

### ABSTRACT

**Background:** The production of plantains in the world varies by 40 million tons in the past decade, Colombia accounts for 10% of this production, but this figure only one tenth is used in agro-industrial processes. **Objectives:** The aim of the study was to analyze various options for processing them for plantains, which will improve trade and sensory qualities of the finished product. **Methods:** Various unit operations, deep frying banana slices

<sup>1</sup> Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingenierías, Director Maestría en Ingeniería de Alimentos, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingenierías, Directora Pregrado en Ingeniería de Alimentos, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

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

were studied, from the point of view of operating conditions (pressure, oil temperature and process time) further physicochemical parameters that deteriorate oils were studied in frying, further investigations were carried out by combining vacuum impregnation solutions with fortifying and frying agents evaluated as response variables, the fat and moisture content, color, texture and sensory characteristics, based on current colombian regulations. Statistically optimum operating conditions in the process of deep frying green plantain slices were 132 ° C, 10 kPa and 6 min, for fat contents of 32% and 7 N texture also the peroxide and the percentage of used oil acidity show statistically significant differences with the state of plantain ripening variety Dominico Harton, also found that guar gum coatings on plantain slices reduced fat content up to 43% on chips without pretreatment furthermore, it was found that there is a direct relationship between the concentration of the films and fat reduction. The deep-frying under vacuum in conjunction with pretreatment and vacuum impregnation solutions of calcium and zinc also help to reduce the fat content in plantain slices (from 23.4% to 11.5%). Is possible get rich in minerals and healthier fried foods low in fat by using technology coupled impregnation and vacuum deep-frying. **Conclusions:** The results of this research generated knowledge that can contribute to development of agro food matrix plantain, so these results reduce the gap between marketing fresh and processed product, which would help to improve the socioeconomic conditions of producing communities.

**Keywords:** Plantain, deep-fat frying, vacuum impregnation, oil deterioration, coating films, fortification.

## INTRODUCCIÓN

El plátano es una fruta tropical originaria del suroeste asiático, perteneciente a la familia de las musáceas. Las dos especies más conocidas en nuestro medio son: la musa *paradisíaca* que corresponde al plátano para cocción, y la musa *sapientum* o banano. Los plátanos y otras especies para cocción, se producen a lo largo del trópico húmedo, concentradas fundamentalmente en África, América Latina y el Caribe; constituyen una importante fuente de carbohidratos que a su vez contribuyen a la seguridad alimentaria de millones de personas en el mundo. Las formas de su consumo varían ampliamente

entre países, de acuerdo con los hábitos alimenticios. (1, 2) El cultivo del plátano en Colombia se desarrolla en todo el territorio nacional, desde el nivel del mar hasta los 2000 m.s.n.m., por lo que es considerado como de gran importancia socioeconómica como generador de empleo en el sector rural. La producción en Colombia es de 87% como cultivo asociado con otros productos, y sólo el 13% como monocultivo tecnificado. Existen más de 30 variedades de musáceas de cocción (plátano) cultivadas en todas las zonas agroecológicas del país, los principales centros productivos de plátano se concentran en la región Andina que contribuyen con cerca del 50% de la producción nacional. Entre las variedades más representativas figuran Hartón, Dominico Hartón, Dominico, Guayabo/Comino/Pompo y Guineo. El nivel de agroindustrialización del plátano en Colombia es bajo, sólo el 8% de la producción nacional es utilizado para este fin (3). A nivel mundial, África se caracteriza por ser uno de los mayores productores de plátano, aunque la producción en los países productores, se destina principalmente a la demanda interna de cada uno de éstos. Colombia, es uno de los mayores productores de plátano a nivel mundial con alrededor de 3 millones de toneladas al año y su vez es el sexto país de mayor consumo per cápita de plátano en el mundo, adicionalmente, la tendencia de exportaciones colombianas ha estado a la baja en los últimos años (4). Teniendo en cuenta la importancia del plátano en la canasta familiar colombiana y dados los bajos niveles de aprovechamiento para la obtención de productos agroindustriales con interés alimentario, desde la Universidad de Caldas, se han venido desarrollando trabajos de investigación conducentes al estudio de esta materia prima, buscando con los resultados generados presentar alternativas de transformación que puedan resultar de interés para el otorgamiento de valor a este tipo de frutos, en este estudio las operaciones empleadas fueron: Fritura por inmersión (incluyendo adición de películas comestibles y un estudio del deterioro de aceite) e impregnación al vacío.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia Prima

Se utilizaron los cultivares África (AAB), Dominico Hartón (AAB) y los híbridos FHIA 20 (AAAB) y FHIA 21 (AAAB)), provenientes de la

granja Montelindo, propiedad de la Universidad de Caldas, ubicada en el municipio de Palestina (Caldas, Colombia), a una altitud de 1050 m.s.n.m., temperatura promedio de 22.5 °C, y humedad relativa de 76 %; la zona presenta una precipitación de 2100 mm por año y suelo de origen volcánico (3). El almacenamiento de las variedades se hizo en una cava, garantizando condiciones ambientales de 83%  $\pm$  2 de humedad relativa y 16°C  $\pm$  2 de temperatura (5).

### **Fritura por Inmersión**

La fritura ha sido definida como la inmersión de un alimento en aceite o grasa comestible, la cual se encuentra por encima del punto de ebullición del agua (150–200 °C) (6), y puede ser considerada un proceso de deshidratación. Al freído se le considera uno de los métodos de cocción más antiguos para obtener sabores y texturas únicos en los alimentos procesados. El proceso de freído por inmersión implica cambios químicos y físicos en los alimentos que incluyen gelatinización de almidones, desnaturalización de proteínas, vaporización de agua, formación de corteza y textura en el alimento, reacción de Maillard, entre otras, que aportan cualidades organolépticas deseables (7). Las altas temperaturas del aceite además de permitir la evaporación rápida del agua, también promueven reacciones paralelas como una mayor degradación del aceite, formación de compuestos poliméricos en el aceite como la acrilamida reconocida como un potencial carcinogénico (8), pérdida de vitaminas y otros nutrientes y una mayor absorción de aceite por parte del alimento debido a la generación de compuestos surfactantes (7). Debido a que el contenido de grasa en un alimento se ha convertido en un factor de preferencia de los consumidores, ya que un alimento bajo en grasa es considerado como más saludable, es de vital importancia entonces, minimizar la absorción de éste durante la fritura y que esta poca cantidad tenga la mayor calidad. Con el fin de minimizar los efectos negativos de algunos parámetros durante la fritura convencional, se han desarrollado tecnologías que permiten operar bajo unas condiciones que generen mejores efectos sobre la calidad del producto frito y el aceite utilizado, entre éstas se encuentra la fritura al vacío. Esta operación se lleva a cabo en un sistema cerrado a presión subatmosférica, lo que permite disminuir la temperatura de ebullición del agua y por ende la del aceite, conservando mejor parámetros de calidad del producto, como el olor, sabor,

menor pérdida nutricional y aumento del tiempo de vida útil del aceite, debido a la disminución por bajas temperaturas y menor oxígeno en la cámara de fritura (9). El resultado de la investigación planteada dio condiciones de operación en el proceso de fritura por inmersión de rodajas de plátano verde de 132 °C, 10 kPa y 6 min, obteniendo chips con un contenido de humedad del 0.5 %, un contenido de grasa del 32 %, una textura de 7 N; también se maximizó la coordenada de color b\*. Todo el estudio fue avalado por un análisis sensorial realizado por un panel semientrenado. El estudio también concluyó que el contenido de humedad en rodajas de plátano verde, no se vio afectado por la presión del sistema en el proceso de fritura por inmersión (5). Debido a que la fritura por inmersión al vacío no está difundida y supone una inversión inicial alta, esta tecnología se sugiere para productos que se ven afectados por tratamientos térmicos, como frutas y verduras. Otros estudios planteados para la identificación de las variables de deterioro del aceite en fritura de rodajas de plátano verde y maduro, concluyó que solo el índice de peróxidos y el porcentaje de acidez del aceite muestran diferencias estadísticamente significativas con el estado de maduración del plátano variedad Dominico Hartón. (10).

### **Recubrimientos comestibles en alimentos fritos**

Una de las tendencias de investigación en la fritura por inmersión es estudiar diversas formas de reducir el contenido de aceite del alimento frito, esto debido a todas las implicaciones nutricionales relacionadas con la alta ingesta de grasa. Diferentes materiales han demostrado ser eficaces en la reducción de la cantidad de aceite absorbido por los alimentos fritos. Las principales reducciones se relacionan en formulaciones como recubrimientos utilizando diversos tipos de biopolímeros, que generalmente son hidrocoloides (Proteínas y polisacáridos) (11). La aplicación de estos compuestos en productos fritos se ha generalizado como un pretratamiento a las matrices alimentarias antes del proceso de fritura, la cual consiste, en la aplicación de una solución acuosa formando lo que se conoce como un “recubrimiento comestible”, su objetivo principal, aunque no el único, es el de reducir la absorción de aceite. La capacidad de formación de película depende de la naturaleza de los componentes, como las propiedades de formación de película, control de la viscosidad, propiedades de adhesión

mejoradas, una mejor resistencia mecánica de la corteza exterior y la estabilidad de congelación-descongelación (11). En el caso de recubrimientos comestibles se aplican por lo general en forma líquida (por inmersión, de película descendente o aspersión sobre la superficie del alimento), utilizando una solución del agente (un polímero de alto peso molecular). El disolvente se elimina por evaporación a través de un tratamiento térmico (irradiación, el uso de agentes de reticulación, secado, etc). Un parámetro importante es lograr una capa continua de la película, puesto que la fuerza de cohesión y la flexibilidad son esenciales para la porosidad, la permeabilidad y la uniformidad del espesor de la barrera y al soporte que proporciona. Derivados de celulosa como CMC, MC, HPMC y HPC, tienen muy buenas propiedades de formación de película. MC ayuda a reducir la absorción de aceite en las papas fritas, particularmente en combinación con escaldado con cloruro de calcio. MC tiene mejor barrera a la humedad, ya que es menos hidrófilo. Sin embargo, la característica más importante para su aplicación en alimentos tratados térmicamente, en particular en productos fritos, es la capacidad de gelificación térmica reversible de MC y HPMC en sistemas acuosos, ampliamente utilizados para reducir la absorción de aceite durante la fritura de diversos alimentos, tales como carne, aves de corral, alimentos con almidón, pastas, etc, (12, 13). El uso de gomas también mejora la adherencia, hecho relacionado con sus propiedades de formación de gel. Las películas gelificadas con algunas gomas como xanthan, guar, gellan, carragenina, pectinas y alginatos, proporcionan películas con buena barrera a la absorción de aceite y con un efecto positivo sobre la adherencia (11). (14), encontraron que recubrimientos de goma guar en matrices de plátano puede reducir el contenido de aceite hasta el 43%, asimismo evidenciaron que hay una relación directa entre la concentración de goma guar y la reducción del contenido de aceite.

### **Impregnación al Vacío**

La ingeniería de matrices (IM) es una herramienta de la ingeniería de alimentos, que utiliza los conocimientos sobre composición, estructura y propiedades de la matriz estructural de un alimento para producir y controlar cambios que mejoren sus propiedades funcionales y/o sensoriales. La impregnación a vacío (IV) es la técnica aplicada por la IM, que utiliza frutas, hortalizas o tubérculos (estruc-

turas porosas) y presenta las siguientes ventajas: Cinética de transferencia de masa rápida, mayor ganancia de solutos en tiempos cortos, mejor conservación del color y mejora del mismo en algunos productos, así como conservación del sabor y aroma del producto fresco; al permitir trabajar a bajas temperaturas sin incrementos importantes del tiempo de proceso. Estas ventajas aseguran una mejor estabilidad del producto (disminución del pH y  $a_w$ ), la incorporación de agentes antimicrobianos o antiparadeantes y la mejora de algunos atributos de calidad. (15). En general, cuando una matriz (alimentaria o no) es sumergida en un líquido, inicialmente las fuerzas capilares promueven la penetración de éste en los espacios porosos; la cantidad de líquido penetrado en esta etapa depende de características como la dimensión y distribución de los tamaños de los poros, así como también de la conectividad de la interfaz sólido-líquido. La imposición de la etapa de vacío provoca la expansión del gas del interior de los poros y una salida parcial del mismo en conjunto con una deformación de la matriz sólida debido al comportamiento viscoelástico de la misma, además de una posible salida de líquido nativo; el gas deja de salir de la matriz cuando la presión interna del poro iguala la presión subatmosférica de la cámara de impregnación; justo cuando se logra este estado, se asume que el líquido externo ingresa en el poro por efecto capilar comprimiendo el gas residual hasta alcanzar un estado de equilibrio a condición subatmosférica. El restablecimiento en el sistema de la presión barométrica local, el gradiente de presión macroscópico entre la cámara de vacío y el interior del alimento poroso promueve la transferencia de masa del líquido de impregnación (solución, dispersión o emulsión estable) debido al mecanismo hidrodinámico (MHD) impuesto por los cambios de presión. La cantidad de líquido penetrado al alimento depende de la efectividad del proceso de desgasificación durante la aplicación del vacío (16, 17). Esta situación, podría conducir en la matriz sólida a una serie de deformaciones en ambas etapas y a una relajación de la estructura al final del proceso. La investigación realizada, plantea el estudio de esta técnica como pretratamiento a operaciones de fritura por inmersión al vacío para desarrollar además de pasabocas fritos fortificados y enriquecidos (con minerales (calcio y cinc) y con vitamina ( $D_3$ )), matrices con menos contenido de grasa final. Los resultados concretos en impregnación de soluciones de vitamina  $D_3$  (20% VDR/100g) con diferentes fuentes de

calcio (lactato y cloruro) dio como conclusión que la fuente de calcio no es un factor relevante en la impregnación ( $p > 0.05$ ) y resulta más conveniente utilizar cloruro de calcio, debido a que esta forma química no presenta mayores limitaciones de solubilidad. La fritura por inmersión al vacío en conjunto con pretratamientos como la impregnación al vacío de soluciones de calcio y cinc, ayudan a disminuir el contenido de grasa final en rodajas de plátano. Se pueden obtener productos fritos saludables ricos en minerales y bajos en grasa mediante el uso acoplado de las tecnologías de impregnación y fritura por inmersión al vacío.

## CONCLUSIÓN

El consumo en fresco de plátanos, tanto en Colombia como en los demás países productores, es muy alto, al considerar al plátano un producto perecedero, convierten a esta matriz alimentaria en un producto de rápida comercialización, por tal los precios tienen tendencia a ser bajos, las investigaciones realizadas en el grupo de investigación “Alimentos y Agroindustria” de la Universidad de Caldas, apuntan a generar conocimiento en cuanto a transformar el plátano en productos con mayor valor agregado que destinen mayores dividendos a las comunidades productoras.

## REFERENCIAS

1. Espinal CF, Martínez HJ, Peña Y. La cadena de plátano en Colombia. una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005 [Internet]. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; 2005 [Actualizado 14 de marzo citado 10 de febrero 2016]. Disponible en: [http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/jspui/bitstream/11348/6327/1/2005112164634\\_caracterizacion\\_platano.pdf](http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/jspui/bitstream/11348/6327/1/2005112164634_caracterizacion_platano.pdf).
2. Correa Marín O, Noreña Echeverry CA, Berrío Osorio YA. Agenda de competitividad de Manizales [Internet]. Manizales, Colombia: Camara de Comercio de Manizales; 2014 [Actualizado 22 diciembre citado 10 febrero 2016]. Disponible en: <http://manizales.gov.co/RecursosAlcaldia/201507021501372940.pdf>.
3. Castellanos F, Lucas JC. Caracterización física de variedades de plátano cultivadas en la zona cafetera de Colombia. *ACTA AGRON.* 2011;60(2):176-80.
4. FAO. Producción de productos alimentarios y agrícolas / Países por producto. [Internet]. Roma, Italia: FAOSTAT database; 2015 [citado 5 de enero 2016]. Disponible en: [http://faostat3.fao.org/browse/rankings/countries\\_by\\_commodity/S](http://faostat3.fao.org/browse/rankings/countries_by_commodity/S).
5. Chávez A, Castellanos F. Efecto de las condiciones de proceso en la obtención de plátano verde frito en condiciones de vacío [MSc]. [Manizales, Colombia]: Universidad de Caldas. 2014; 66 p.
6. 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.
7. Mellema M. Mechanism and Reduction of Fat Uptake in Deep-Fat Fried Foods. *Trends in Food Science & Technology.* 2003;14:10 p.
8. Da Silva P, Moreira G R. Vacuum frying of high-quality fruit and vegetable-based snacks. *Food Science and Technology.* 2008; 10p.
9. Liu-ping F, Min Z, Gong-nian X, Jin-cai S, Qian T. The optimization of vacuum frying to dehydrate carrot chips. *Food Science and Technology.* 2005; 40:9 p.
10. Ospina Ó, Castellanos F. Efecto de las condiciones de proceso en la obtención de plátano verde frito en condiciones de vacío [MSc]. [Manizales, Colombia]: Universidad de Caldas. 2014; 54 p.
11. Varela P, Fiszman SM. Hydrocolloids in fried foods. A review. *FOOD HYDROCOLLOID.* 2011;25(8):1801-13.
12. Tavera-Quiroz MJ, Urriza M, Pinotti A, Bertola N. Plasticized methylcellulose coating for reducing oil uptake in potato chips. *J SCI FOOD AGR.* 2012;92(7):1346-99.
13. Akdeniz N, Sahin S, Sumnu G. Functionality of batters containing different gums for deep-fat frying of carrot slices. *J FOOD ENG* 2006;75(4):522-8.
14. Martínez DF, Castellanos F, Bravo JE. Application of edible coatings in green plantain slices subjected to deep-fat frying. *INYCOMPE.* 2015;17(2):91-9.
15. Cortés M, García A, Suárez H. Fortificación de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus*) con calcio, selenio y vitamina C. *VITAE.* 2007;14(1):16-24.
16. Hofmeister LC, Souza JAR, Laurindo JB. Use of dyed solutions to visualize different aspects of vacuum impregnation of Minas cheese. *LWT-FOOD SCI TECHNOL.* 2004;38:379-86.
17. Derossi A, De Pilli T, Severini C. Reduction in the pH of vegetables by vacuum impregnation: A study on pepper. *J FOOD ENG.* 2010;99:9-15.

# EMPAQUES ACTIVOS ANTIMICROBIANOS PARA EL CONTROL DE PATÓGENOS

## ANTIMICROBIAL ACTIVE FOOD PACKAGING FOR CONTROLLING PATHOGENS

Paula Judith PEREZ ESPITIA<sup>1\*</sup> Ph.D., Rejane ANDRADE BATISTA<sup>2</sup> Ph. D(c).

### RESUMEN

Las enfermedades causadas por alimentos son una preocupación mundial, y estas han resultado en gastos médicos y pérdidas de productividad, que afectan la salud de la población, así como el comercio de los alimentos. Adicionalmente, las demandas de los consumidores por alimentos más naturales y mínimamente procesados, así como la preocupación con relación al medio ambiente han llevado a los investigadores a desarrollar nuevos métodos de conservación. Como resultado nuevos materiales de empaques están siendo desarrollados, los cuales interactúan con el alimento que contienen para inhibir, controlar o retardar el crecimiento microbiano en su superficie. Por otro lado, el mercado mundial de probióticos ha aumentado recientemente debido en parte a la demanda y preocupación de los consumidores por el bienestar y por una dieta más saludable. Esto ha causado que la industria de alimentos desarrolle nuevos productos conteniendo probióticos y que los investigadores estudien sus características, así como sus efectos en la salud humana. Los probióticos son definidos como microorganismos vivos que tienen un efecto benéfico en el hospedero cuando son administrados en cantidades adecuadas. En este sentido, los probióticos han sido incorporados en matrices biopoliméricas con el propósito de desarrollar empaques activos para alimentos como un método alternativo para el control de microorganismos patógenos, mejorando la seguridad alimentaria de los productos empacados. Este artículo de revisión trata sobre el desarrollo de empaques activos antimicrobianos y el potencial de ser incorporados con probióticos para el control de

microorganismos patógenos en alimentos. También se discute la legislación relacionada.

**Palabras clave:** Empaques activos, actividad antimicrobiana, microorganismos probióticos, conservación de alimentos, legislación.

### ABSTRACT

Foodborne diseases are global concern, which have resulted in medical expenses and loss of productivity, affecting the health of consumers as well as the food market. In addition, consumer's requests for healthier and minimally processed food and concerns regarding the environment have lead researchers to develop new methods for food preservation. As a result, new packaging materials are being developed, which interact with the contained food in order to inhibit, control or retard the growth of microorganisms in food surfaces. On the other hand, the global probiotics market has increased in recent years in part because of consumer demand for healthy diets and wellness. This has caused the food industry to develop new food products containing probiotics and researchers to study specific characteristics of probiotics, as well as the effects of probiotics on human health. Probiotics are defined as live microorganisms that confer a health benefit to the host when administered in adequate quantities. In this way, probiotics have been incorporated into biopolymeric matrices to develop active food packaging as an alternative method of controlling foodborne microorganisms, improving food safety and health benefits. This review deals with the development of antimicrobial active food packaging

<sup>1</sup> Escuela de Nutrición y Dietética, Universidad del Sinú - Seccional Cartagena, Cartagena de Indias, Colombia.

<sup>2</sup> RENORBIO, Universidad Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil.

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

and their potential incorporation with probiotics for the control of pathogenic microorganisms in food. Related legislation is also discussed.

**Keywords:** Active packaging, antimicrobial activity, probiotic microorganisms, food preservation, legislation.

## INTRODUCCIÓN

Las preocupaciones de los consumidores relacionadas con la calidad de los alimentos y las cuestiones referentes a la contaminación del medio ambiente han resultado en el desarrollo de nuevas tecnologías para la preservación de los alimentos. Entre estas, el desarrollo de empaques activos se destaca como una de las más promisoras de las tecnologías emergentes. El concepto de empaques activos va más allá del concepto de un empaque tradicional, el cual busca proteger y contener al producto. En este sentido, los empaques activos interactúan con la superficie del alimento contenido o con el espacio de cabeza, de forma deseable permitiendo proteger al producto de amenazas y riesgos físicos, químicos o microbiológicos (1). La actividad del material de empaque está condicionada a los objetivos específicos relacionados con la conservación de los alimentos. Estos pueden incluir la actividad de absorción del oxígeno, de humedad, de barrera a la luz ultravioleta, actividad aromatizante o actividad antimicrobiana. Con relación a estos últimos, pueden ser desarrollados mediante la incorporación de sustancias o principios con actividad biológica en las matrices poliméricas.

En este contexto, probióticos pueden ser incorporados en matrices poliméricas que serán usadas en la elaboración de materiales de empaques. Los probióticos han sido incorporados en matrices biopoliméricas para desarrollar empaques activos como un método alternativo para el control de microorganismos patógenos y mejorar la seguridad alimentaria de los productos que contienen. Artículos de revisión previamente publicados han mostrado los efectos positivos de los probióticos en la salud humana. Sin embargo, la literatura relacionada con el desarrollo de empaques activos y la incorporación de probióticos para el control de patógenos en alimentos es aun limitada. Este artículo trata la incorporación de los probióticos en materiales biopoliméricos que serán usados como empaques activos de alimentos. Adicionalmente, trata brevemente la legislación establecida relacionada con el tema.

## MATERIALES Y METODOS

### Empaques activos antimicrobianos incorporados con probióticos

El término probiótico es relativamente nuevo. Significa “*para la vida*” y describe a aquellos microorganismos que tienen un efecto benéfico para los humanos y los animales. Por otro lado, los probióticos son definidos por la FAO –Food and Agriculture Organization– y la OMS –Organización Mundial de la Salud– como “*Microorganismos vivos, que cuando administrados en cantidades adecuadas pueden generar un efecto benéfico en la salud del hospedero*”(2). Los probióticos son incorporados en muchos productos alimenticios y suplementos, la mayoría de ellos productos lácteos, incluyendo productos fermentados, como los yogures (3). Las bacterias más usadas comercialmente pertenecen al género *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*. Sin embargo otras bacterias como *Streptococcus thermophilus* y *Saccharomyces boulardii* también pueden ser encontradas en este tipo de productos (4). Adicionalmente, productos no lácteos han atraído la atención debido al creciente interés de los consumidores por nuevos hábitos alimentarios, como el vegetarianismo, sumado a un número considerable de individuos y aquellos consumidores con dietas con restricciones de colesterol (5).

Los empaques activos son una nueva tecnología para el control de microorganismos patógenos y son un factor importante para proporcionar seguridad y mantener la calidad de los alimentos. Los empaques activos han sido desarrollados como respuesta a las demandas de los consumidores por alimentos más sanos, menos procesados, y con una larga vida útil a bajos precios. Los empaques antimicrobianos son un tipo de empaques activos, los cuales son considerados como una barrera para la contaminación luego del procesado de los alimentos.

Adicionalmente, el interés de los consumidores relacionado con la salud, la nutrición y la seguridad alimentaria y del medio ambiente ha llevado a los investigadores al estudio de las propiedades de los biopolímeros para producir filmes comestibles y/o biodegradables como empaques de alimentos (6). Previamente, los biopolímeros han sido usados como agentes portadores de aceites esenciales, ácidos orgánicos, enzimas como la lisozima y bacteriocinas.

Investigaciones en el desarrollo de filmes y revestimientos incorporados con probióticos como empaques activos aun se encuentra en desarrollo creciente. La incorporación de cultivos probióticos en filmes comestibles fue propuesta por primera vez en el 2007 por Tapia, Rojas-Graü (7), quienes desarrollaron filmes de alginato y goma gellan incorporados con *Bifidobacterium lactis* Bb-12 para la aplicación en frutas frescas cortadas. Los filmes con cultivos probióticos fueron aplicados exitosamente en pedazos manzana y papaya. La solución formadora de goma gellan o de alginato (2% p/p) fue incorporada con bifidobacteria viable y fue aplicada a la superficie de las frutas recién cortadas. Los resultados del experimento mostraron que *B. lactis* Bb-12 fue superior a  $10^6$  UFC/g y que la viabilidad de los probióticos fue mantenida por 10 días en condiciones de refrigeración. Estos resultados indicaron que el alginato y la goma gellan son adecuados para portar microorganismos probióticos de una forma viable en frutas frescas recién cortadas.

Matrices biopoliméricas incorporadas con probióticos incluyen alginato de sodio, caseinato de sodio, gelatina, metilcelulosa, entre otros. Adicionalmente, estudios reciente han mostrado la aplicación potencial de los microorganismos probióticos como controladores de patógenos, cuando son incorporados a materiales de empaque. En este sentido, *Lactobacillus rhamnosus* GG ha sido aplicado en manzanas mínimamente procesadas (8). Para probar la actividad antimicrobiana contra *Salmonella* y *Listeria monocytogenes*, las manzanas fueron suspendidas en una solución conteniendo *L. rhamnosus* GG, e inoculadas con los microorganismos patógenos, luego los pedazos de manzana tratada fueron colocados en bandejas de polipropileno y selladas con filme plástico. Los resultados indicaron que la *Salmonella* no fue afectada por el probiótico usado, mientras que la población de *L. monocytogenes* fue reducida en un ciclo logarítmico, al ser comparada con el tratamiento control. Adicionalmente, la viabilidad del probiótico fue mantenida de acuerdo a lo recomendado durante 14 días de almacenamiento.

Otro tipo de alimentos, como la carne y pescado, también han sido usados para comprobar el efecto de los probióticos en el control de microorganismos patógenos (9). Un nuevo filme comestible a partir de caseinato de sodio incorporado con *Lactobacillus sakei* fue desarrollado y aplicado en ambos casos, en medio de cultivo *in vitro* y en un modelo de un sistema alimentario –carne fresca– inoculados con *L.*

*monocytogenes*, resultando en un rápido crecimiento de los microorganismos probióticos inmovilizados en el filme. Adicionalmente, *L. monocytogenes* fue significativamente inhibida al ser comparada con el control. Este resultado fue observado cuando se manejaron dos protocolos experimentales a diferentes temperaturas. De forma similar se han desarrollado filmes a partir de alginato incorporados con cultivos viables de *Carnobacterium maltaromaticum* para conservar salmón ahumado a temperatura de refrigeración (10). Este es un microorganismo probiótico aislado del intestino de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Este microorganismo probiótico ha mostrado actividad contra bacterias patógenas Gram-positivas y Gram-negativas, con un amplio espectro de resistencia antibiótica (11). De acuerdo con los autores, los filmes a base de alginato incorporados con este probiótico tuvieron un efecto bacteriostático contra *L. monocytogenes* en salmón ahumado por un periodo de 2 días. Los autores indicaron que estos resultados exceden los requerimiento de la vida útil de salmón ahumado, demostrando que los filmes desarrollados inhibieron el crecimiento de *L. monocytogenes* en condiciones específicas.

### Legislación Relacionada

En los Estados Unidos, la regulación determina que debe ser realizada una diferenciación entre los distintos usos de los microorganismos probióticos, es decir si estos serán usados como medicamento o como suplemento dietario. De esta forma, si el probiótico será usado como un suplemento dietario este solo será sometido a una notificación antes de salir al mercado. Sin embargo, si se tiene la intención de ser usado como un medicamento, es necesario que el probiótico en cuestión sea sometido a un exhaustivo proceso regulatorio (12). Con relación a los empaques activos, en los Estados Unidos, están regulados mediante el control específico de cada una de las sustancias que entrarán en contacto con los alimentos (13). En Europa, los probióticos pueden ser encontrados en la forma de tabletas, sachets, u otra forma médica, lo cual representa una pequeña parte del mercado de los probióticos, si se le compara con las innumerables aplicaciones en productos alimenticios (14). De acuerdo con la literatura, los probióticos en alimentos y como suplementos son regulados de acuerdo a la legislación “Regulation 178/2002/EC; directive 2000/13/EU” (14). Sin embargo, aun no existe una reglamentación específica

relacionada con los probióticos incorporadas a los empaques activos para los alimentos. A pesar de esto, la legislación sobre materiales activos e inteligentes de la Unión Europea “*Active and Intelligent Materials and Articles Intended to Come into Contact with Food*” (No. 450/2009/EC) indica que las sustancias responsables por las funciones activas deben ser evaluadas de acuerdo a los procedimientos planteados en esta legislación y cada una de las sustancias activas incorporadas deben ser evaluadas de forma que se garantice la seguridad y el cumplimiento de los estándares de calidad necesarios para proveer un alimento apto para el consumo. La legislación en Colombia indica que se permite el uso de *Bifidobacterium* sp., *Lactobacillus acidophilus* y otras bacterias lácticas las cuales deben ser abundantes y viables en el producto final, siendo este leche fermentada (15). Sin embargo, no se cuenta con una legislación clara referente al uso de probióticos en otro tipo de sistemas como en matrices biopoliméricas para el desarrollo de empaques activos.

## CONCLUSIONES

El desarrollo de empaques activos y su aplicación en matrices poliméricas permite extender, mantener o mejorar las condiciones de los productos empaçados. La incorporación de los microorganismos probióticos en matrices biopoliméricas ha sido propuesta como una alternativa frente al control del desarrollo de microorganismos patógenos en alimentos. Por lo tanto, empaques activos incorporados con microorganismos probióticos presentan un futuro promisor debido a su potencial uso en el control de patógenos y a sus efectos benéficos en la preservación de alimentos.

## AGRADECIMIENTOS

P.J.P. Espitia agradece el apoyo de COLCIENCIAS y R.A. Batista agradece el apoyo de CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brasil).

## REFERENCIAS

1. Soares N FF, et al., Recent patents on active packaging for food application. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*. 2009; 1(1): 171-178.
2. FAO, *Guidelines for the evaluation of probiotics in food*. Food and Agriculture Organization of the United Nations & World Health Organization: London Ontario, Canada. 2002; 11p.
3. Alzamora S M, et al. Novel functional foods from vegetable matrices impregnated with biologically active compounds. *J. Food Eng.* 2005; 67(1-2): 205-214.
4. Rastall RA, et al. *Colonic functional foods.*, in *Functional foods*, G.R. Gibson and C.M. Williams, Editors. Woodhead Publishing Limited: Cambridge. 2000.
5. Martins E M F, et al. Products of vegetable origin: A new alternative for the consumption of probiotic bacteria. *Food Res. Int.* 2013; 51(2): 764-770.
6. Espitia P J P, et al. Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review. *Food Hydrocolloids*. 2014; 35: 287-296.
7. Tapia M S, et al. Alginate and gellan-based edible films for probiotic coatings on fresh-cut fruits. *J. Food Sci.* 2007; 72(4): E190-E196.
8. Alegre I, et al. Microbiological and physicochemical quality of fresh-cut apple enriched with the probiotic strain *Lactobacillus rhamnosus* GG. *Food Microbiol.* 2011; 28(1): 59-66.
9. Gialamas H, et al. Development of a novel bioactive packaging based on the incorporation of *Lactobacillus sakei* into sodium-caseinate films for controlling *Listeria monocytogenes* in foods. *Food Res. Int.* 2010; 43(10): 2402-2408.
10. Concha-Meyer A, et al. Lactic acid bacteria in an alginate film inhibit *Listeria monocytogenes* growth on smoked salmon. *Food Control.* 2011; 22(3-4): 485-489.
11. Kim D H, Austin B. Characterization of probiotic carnobacteria isolated from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) intestine. *Lett. Appl. Microbiol.* 2008; 47(3):141-147.
12. Venugopalan V, Shriner K A, Wong-Beringer A. Regulatory oversight and safety of probiotic use. *Emerging Infect. Dis.* 2010; 16(11): 1661-1665.
13. Restuccia D, et al. New EU regulation aspects and global market of active and intelligent packaging for food industry applications. *Food Control.* 2010; 21(11): 1425-1435.
14. Saxelin M. Probiotic formulations and applications, the current probiotics market, and changes in the marketplace: A European perspective. *Clin. Infect. Dis.* 2008; 46(Supplement 2): S76-S79.
15. Minsalud. *Resolución Número 11961 de 1989*, Ministerio de Salud: Bogotá, Colombia.1989.

# INCORPORACIÓN DE PLASMA BOVINO COMO EMULSIFICANTE/ESTABILIZANTE EN UN HELADO DE CREMA

## INCORPORATION OF BOVINE BLOOD PLASMA AN EMULSIFIER / STABILIZER IN ICE CREAM

Javier Francisco REY RODRÍGUEZ<sup>1</sup>, Diana Patricia ALMENDRALES RANGEL<sup>2</sup>,  
Ingrid Sofía BUSTOS ARÉVALO<sup>2</sup>.

### RESUMEN

**Antecedentes:** La sangre representa, de los residuos generados por el sacrificio de bovinos, el de mayor impacto ambiental, por ello la importancia de diseñar técnicas para su aprovechamiento en diferentes industrias como la alimentaria; industria en donde el plasma sanguíneo bovino ha contribuido a mejorar características físicas, relacionadas con la capacidad emulsificante. **Objetivo:** El objetivo del este trabajo de grado fue evaluar el efecto tecnológico de la incorporación de plasma bovino como emulsificante/estabilizante (E/E) en un helado de crema. **Métodos:** Para ello se ejecutaron cuatro etapas; en la primera se realizó una caracterización fisicoquímica del plasma bovino y del E/E químico demostrando características para ser aprovechado como aditivo para el helado de crema, donde se destaca la proteína con un 68% aproximadamente. En la segunda etapa, se estableció el porcentaje de sustitución de E/E químico por plasma bovino, seleccionándose la formulación con un porcentaje de sustitución del 70 % y un contenido de grasa del 12 % (M70); dicha formulación arroja valores de viscosidad (4,42 cP), overrun (53.9%), grasa libre (3,78%) y derretimiento (2,18g/min), los cuáles definieron las mejores características tecnológicas del helado. En la tercera etapa se caracterizó fisicoquímica, y sensorialmente la formulación seleccionada comparándose los resultados con un helado patrón y la legislación correspondiente, encontrándose dentro de los parámetros establecidos, además de no presentar diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0.05$ ). En la cuarta y última etapa, se estanda-

rizó el proceso de elaboración y la formulación del helado. **Conclusiones:** Estos resultados permitieron concluir que la incorporación de plasma bovino como E/E en un helado de crema proporciona mejores características tecnológicas reflejándose en la aceptación del producto final. Este estudio presenta una alternativa en el área de ciencia y tecnología de alimentos como un nuevo aditivo en la industria láctea.

**Palabra clave:** Agente emulsificante, emulsión, overrun, plasma sanguíneo,

### ABSTRACT

**Background:** The blood represents the waste generated by the slaughter of cattle, the largest environmental impact, hence the importance of designing techniques for use in different industries like food; industry where bovine blood plasma has helped improve physical characteristics related to the emulsifying capacity. **Objective:** The objective of this work was to evaluate the degree technological effect of the addition of bovine plasma as an emulsifier / stabilizer (E / E) a ice cream. **Methods:** For this four stages they are executed; in the first physico-chemical characterization of bovine plasma and E / E Chemical demonstrating features to be exploited as an additive for ice cream, wherein the protein with an approximately 68% stands out it was made. In the second stage, the percentage of substitution of E / E chemical from bovine plasma was established with the formulation selected percentage of substitution of 70% and a fat content of 12% (M70); said formulation throw viscosity

<sup>1</sup> Docente e Investigador, Programa de Ingeniería de Alimentos, Universidad de La Salle. Cra 2 No. 2-70 piso 7 bloque D, Bogotá D.C. Colombia.

<sup>2</sup> Ingeniera de Alimentos, Universidad de La Salle.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: jrey@unisalle.edu.co

values (4.42 cP) overrun (53.9%), free fat (3.78%) and melting (2.18g/min), which defined the best technological characteristics of the ice cream. In the third stage it was characterized physicochemical and sensory formulation selected by comparing the results with an ice cream pattern and legislation, being within established parameters in addition to not show statistically significant differences ( $P > 0.05$ ). In the fourth and final stage, the process and formulation of ice cream was standardized. **Conclusions:** These results concluded that the addition of bovine plasma as E / E in an ice cream provides better technological characteristics reflected in the acceptance of the final product. This study presents an alternative in the area of science and technology as a new food additive in the dairy industry.

**Keywords:** Emulsifying agent, emulsifying, overrun, blood plasma.

## INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria es la que genera mayor cantidad de residuos, como la sangre, la cual posee un potencial industrial para ser aprovechada (1). Uno de esos residuos es el plasma que cuenta con propiedades tecnológicas como: puede formar gel, se solidifica igual que la clara de huevo, la resistencia del gel es mayor cuando aumenta el pH (2)(3); con base en lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue determinar ¿Cuál es el efecto de la incorporación de plasma de sangre bovino en la elaboración de un helado de crema como emulsificante/estabilizante (E/E)?

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron pruebas fisicoquímicas al plasma bovino: humedad (AOAC 925.10), cenizas (AOAC 923.03), contenido de grasa (AOAC 920.39) y proteína (AOAC 2001.11). Se elaboraron doce formulaciones, tabla 1, con una base de cálculo de 2 litros, se hicieron variaciones de porcentaje de grasa (15, 12 y 8%) y sustituciones de E/E químico por plasma bovino (0, 50, 75 y 100%).

**Tabla 1.** Formulaciones de mezclas de helado de crema con variación de contenido de grasa y sustituciones de E/E químico por plasma bovino.

SUSTITUCION CONTENIDO DE GRASA	INGREDIENTE	0%	50%	75%	100%
BAJO 8%	LECHE	65,1%	65,1%	65,1%	65,1%
	LECHE EN POLVO	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%
	CREMA DE LECHE	15%	15%	15%	15%
	AZUCAR	15%	15%	15%	15%
	E/E QUIMICO	0,41%	0,205%	0,1025%	0%
	PLASMA BOVINO	0%	0,205%	0,3075%	0,41%
MEDIO 12%	LECHE	55%	55%	55%	55%
	LECHE EN POLVO	7,11%	7,11%	7,11%	7,11%
	CREMA DE LECHE	22,5%	22,5%	22,5%	22,5%
	AZUCAR	15%	15%	15%	15%
	E/E QUIMICO	0,41%	0,205%	0,1025%	0%
	PLASMA BOVINO	0%	0,205%	0,3075%	0,41%
ALTO 15%	LECHE	49%	49%	49%	49%
	LECHE EN POLVO	7,41%	7,41%	7,41%	7,41%
	CREMA DE LECHE	28,12%	28,12%	28,12%	28,12%
	AZUCAR	15%	15%	15%	15%
	E/E QUIMICO	0,41%	0,205%	0,1025%	0%
	PLASMA BOVINO	0%	0,205%	0,3075%	0,41%

Para la elaboración del helado se siguió el procedimiento descrito por Martínez (4). Se aplicaron pruebas a las mezclas y a los helados: *Prueba de viscosidad:* Se empleó un viscosímetro Brookfield DV-1+ con una aguja R2 y se determinó la viscosidad; *Prueba de Grasa libre:* a través de prueba de soxhlet; *Prueba de overrun:* Se calculó porcentaje de Overrun aplicando la fórmula:

$$\% \text{ Overrun} = \frac{\text{Peso mezcla} - \text{peso helado}}{\text{peso helado}} * 100$$

*Prueba de derretimiento:* Se tomó un envase de helado registrando su peso inicial. La temperatura ambiente se mantuvo a 20°C, Se tomaron tiempos de la caída de la primera gota.

Para efectos de caracterización fisicoquímica y sensorial, se realizaron las pruebas con base en la Resolución 01804 de 1989. Las pruebas fueron:

grasa total (AOAC 2000.18), grasa láctea (AOAC 952.06 – 989.05), solidos totales (AOAC 941.08), solidos lácteos no grasos (Formula de Richmond), índice de Reichert Meissel (AOAC 553.2), proteína (AOAC 930.33 – 991.20), peso por unidad de volumen (AOAC 968.14) y fosfatasa residual (AOAC 946.04); *Prueba sensorial*: prueba de aceptabilidad con una escala de evaluación hedónica de 5 puntos.

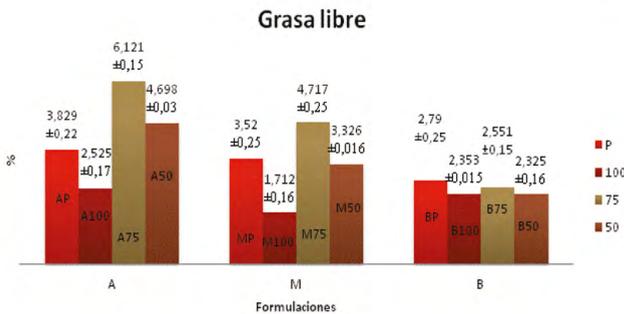
## RESULTADOS

Los resultados de las pruebas fisicoquímicas (humedad, cenizas, grasa y proteína) realizadas al plasma bovino, se describen en la tabla 2.

**Tabla 2.** Pruebas fisicoquímicas de caracterización para E/E químico y plasma bovino

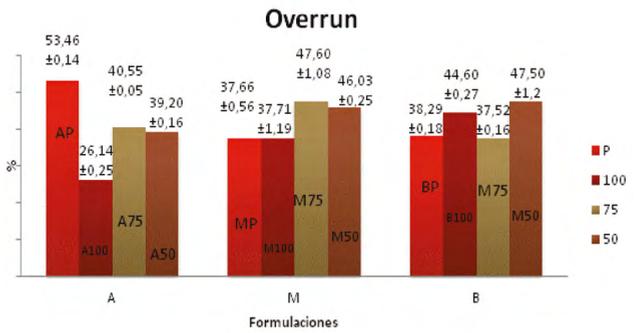
Prueba	E/E químico	Plasma bovino
Humedad (%)	7,238	7,896
Cenizas (%)	7,421	12,237
Grasa (%)	29,120	0,186
Proteína (%)	0,65	68,32
Carbohidrato (%)	5,57	11,36

Los de grasa libre se describen en la siguiente figura.



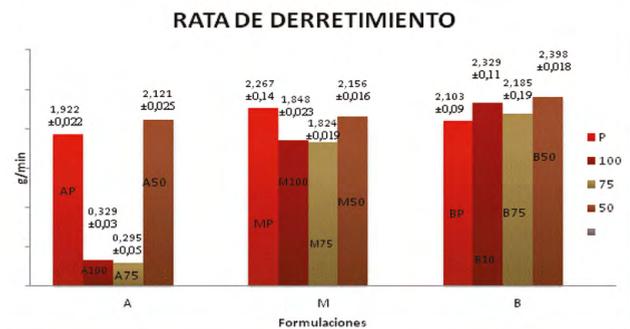
**Figura 1.** Grasa libre de los helados con diferente sustitución de E/E químico por plasma en la primera etapa.

En la figura 2 se observa el mayor overrun en AP, seguido de M75, B50 y M50, teniendo una mejor incorporación de aire los helados con contenido de graso medio.



**Figura 2.** Overrun de las mezclas de helado con diferentes porcentajes de sustitución en la primera etapa.

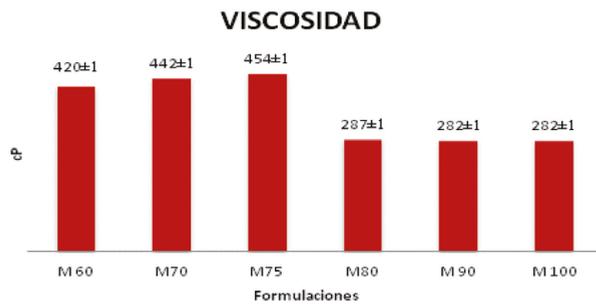
De esta manera, para la selección de la formulación para la segunda etapa de la experimentación se tuvo presente los valores más altos 53,46% y 47,60% (AP y M75). Figura 3.



**Figura 3.** Rata de derretimiento del helado de crema con diferentes porcentajes de sustitución en la primera etapa.

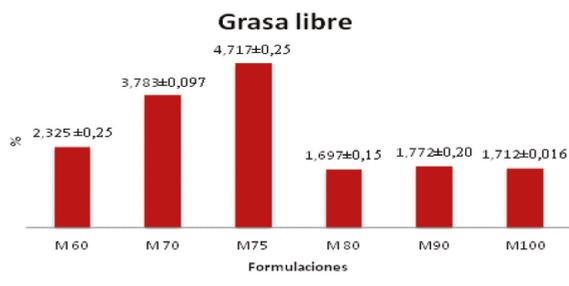
Con el fin de dar cierre a la primera etapa de la investigación se selecciona un contenido de grasa de 12% para las formulaciones posteriores. Lo anterior se plantea a partir de los resultados obtenidos en la prueba de overrun donde las formulaciones que presentaron altos porcentajes M50 y M75 (46,03 y 47,60%, respectivamente). La sustitución a trabajar en la segunda etapa de la investigación se definió con 60, 70, 80 y 90% de plasma. En esta segunda se buscó determinar un porcentaje mucho más preciso de sustitución de E/E químico por plasma.

En la figura 4 se observa que la mezcla M75 tiene una viscosidad mayor (454 cP), cuando el porcentaje de plasma bovino supera el 75%, la viscosidad de la mezcla disminuye lo que evidencia la necesidad de mezclar con un E/E químico y que supere el 60% sin pasar del 80%.



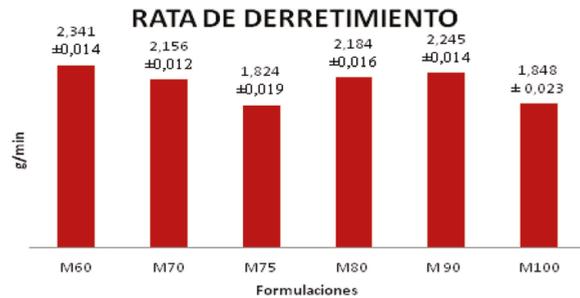
**Figura 4.** Viscosidad de los helados de crema con diferente sustitución en la segunda etapa.

El figura 5 muestra que el helado M75 tiene un contenido de grasa libre de 4,417%, pero no presenta diferencias estadísticamente significativas. Se nota que a medida que el porcentaje de plasma bovino es mayor al 80% en la formulación, la grasa libre del helado disminuye.



**Figura 5.** Grasa libre de los helados de crema con diferentes porcentajes de sustitución en la segunda etapa.

Los resultados obtenidos de overrun no tienen diferencia significativa entre los valores. Al observar detenidamente la tasa de derretimiento de los helados analizados en la segunda etapa de selección de la formulación (Figura 6) se puede determinar que el helado que tuvo el mejor comportamiento en cuanto a derretimiento fue el M75 con un 1,824 g/ml, seguido de M70 con 2,156 g/mL siendo valores cercanos, lo que se pudo evidenciar en la experimentación ya que tenían un excelente comportamiento y no perdían su cuerpo fácilmente.



**Figura 6.** Rata de derretimiento de los helados de crema con diferente sustitución en la segunda etapa.

Teniendo en cuenta lo expuesto; La formulación a utilizar para este caso es la que es más cercana al 70% de plasma bovino, ya que, como se mencionó anteriormente presenta una buena incorporación de aire y resistencia al derretimiento.

**Caracterización del helado de crema seleccionado M70 y el helado patrón**

**Tabla 3.** Pruebas fisicoquímicas Helado patrón y Helado seleccionado M 70.

Prueba	Helado patrón	Helado seleccionado M 70	Resolución 01804 de 1989
Grasa total	11.41 ±0,05	11.92 ±0,03	Min 8
Grasa láctea %	11.41 ±0,05	11.92 ±0,03	Min 8
Sólidos lácteos no grasos %	12,992±0,57	12, 442±0,57	Min 11
Sólidos totales %	41,516 ±0,3	41,237±0,07	Min 30%
Peso por volumen g/l	325,2 ±0,97	465,5 ±0,65	475
Proteínas lácteas %	3,078 ± 0,22	3,857 ±0,18	Min 2,4
Índice de Reichart Meiseel en la grasa	27±0,03	27±0,03	Min 22
Fosfatasa	Negativa	Negativa	Negativa

En el resultado final de las dos caracterizaciones realizadas (tabla 3) se puede inferir que los valores son similares entre el helado patrón y el helado seleccionado de la experimentación M70.

## Prueba sensorial

En la figura 7, se describe un 80% de aceptabilidad, correspondiente a 40 consumidores, tanto para el color, sabor y textura del helado M70; siendo este porcentaje superior a la aceptabilidad del helado patrón el cual registro porcentajes de 70, 74 y 60% (30, 35 y 37 consumidores) para sabor, color y textura, respectivamente. Cabe resaltar que se tomaron como medida de aceptabilidad los dos puntos superiores de la escala (me gusta mucho y me gusta).



**Figura 7.** Evaluación sensorial de los helado Patrón y M 70

Con respecto al sabor de los helados hay un mayor porcentaje de aceptabilidad, para el helado M70 que para el helado patrón aunque las diferencias estadísticas de aceptación no son significativas.

## DISCUSIÓN

El porcentaje de humedad, cenizas y proteína para el plasma (7,896; 12,23; 68,32%, respectivamente) es característico para este producto.

En las formulaciones A75 y M75, las cuales presentan valores más altos de grasa libre (6,121 y 4,717), se puede resaltar que valores de sustitución mayores a 75% e inferiores a 50% revelan menos cantidad de grasa desestabilizada, lo que refleja el trabajo conjunto del E/E químico y el plasma bovino, los cuales podrían clasificarse como emulsificantes lipofílicos y espumantes al poseer valores HLB inferiores a 9 (5).

La rata de derretimiento tiene comportamiento similar en todas las muestras. Los valores más bajos se presentaron en AP y A75 lo que indica que poseen una mayor retención de agua (4), este comportamiento también se dio por el alto porcentaje de grasa (15%) que poseen, ya que la retención de agua en el helado es debido, principalmente, a la

aglomeración de los glóbulos de grasa, lo cual se traduce en un derretimiento más lento, debido a su mayor resistencia al flujo (6).

Con base en los resultados analizados tanto para mezclas como para los helados de crema en la segunda y última etapa, se decide optar por la formulación M70, ya que, aunque la formulación M75 presenta mayores valores de viscosidad (454 cP), grasa libre (4,417%) y menor rata de derretimiento (1,824 g/min), M70 presenta el mayor overrun (53,9%) de las cinco formulaciones estudiadas.

Utilizar plasma no se ve afectado ninguna de las propiedades del helado, y los valores se encuentran dentro de lo establecido en la resolución 01804 de 1989.

En cuanto a la evaluación de color se puede observar que aunque estadísticamente no hay diferencias significativas, la mayor parte de los consumidores resaltan que el helado M70 presenta un color más intenso y llamativo. Lo anterior se podría atribuir al colorante que hace parte del saborizante, el cual, pudo haberse adicionado en exceso. Lo anterior también justificaría el sabor más dulce del helado M 70 con respecto al helado patrón.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio definen las características tecnológicas para un helado de crema con sustitución del 70% de E/E químico por plasma bovino y contenido de grasa medio (12%). Valores de viscosidad en la mezcla (442 cP) y grasa libre (3,783%), derretimiento (2.156 g/min) y overrun (53,9%), superaron los valores reportados para un helado patrón (436 cp, 3,52%, 2,267 g/min y 37,66%); características que se reflejaron en la estabilidad y la aceptación del mismo por parte del consumidor. Con base a los resultados de las características evaluadas, se puede decir que cualquiera de estas puede ser empleada en la elaboración de helados de crema con plasma ya que no solo presentaron diferencias estadísticamente significativas sino que además superaron valores referenciado en la teoría.

## REFERENCIAS

1. Quemba R, Moreno L, Puentes D, Avella F, Alza W. Elaboración de un concentrado de uso avícola a partir de residuos revalorizados de la industria alimentaria. [Tesis]. [Colombia]: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2009. 185 p.
2. Rocha B. Alternativas de utilización del plasma y la globulina de la sangre de bovino. [Internet]. Ciudad de México D.F., México:

- UNAM. 2006. Consultado: [6, septiembre, 2011]. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/51186833/18/Aprovechamiento-de-la-Sangre>
3. Macedo L. Posibilidades de las albúminas y globulinas del plasma animal en la formulación de hamburguesas. [Tesis]. [México]: UNAM. 2004. 103p.
  4. Martínez J. Evaluación de una mezcla de estabilizantes y emulsificantes en la elaboración de un helado cremoso con grasa vegetal sobre las características de la mezcla base y del producto final. [Tesis]. [Colombia]: Universidad nacional de Colombia. 2002. 44p.
  5. Pérez R. Aplicación de Microondas en el Tratamiento de Emulsiones del Tipo Agua en Aceite (w/o) y Aceite en Agua (o/w). [Tesis]. [España]: Universidad Politécnica de Valencia. 2009. 245p.
  6. Posada L. Selección y evaluación de un estabilizante integrado de gomas sobre las propiedades de calidad y reológicas en mezcla para helado. [Tesis]. [Colombia]: Universidad Nacional de Colombia. 2009. 77p
  7. Ministerio de Salud. Resolución número 01804 de 1989. [Internet]. Bogotá, Colombia: Invima. Consultado: [27, agosto, 2012]. Disponible en: <http://www.redlactea.org/resoluciones/Resolucion%2001804%20de%201989.pdf>

# CARACTERIZACIÓN COMPOSICIONAL Y FISICOQUÍMICA DE LECHE DE CABRA (*Capra aegagrus hircus*) EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO

COMPOSITIONAL AND PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF GOAT'S MILK (*Capra aegagrus hircus*) IN THE DEPARTMENT OF NARIÑO

Soany ERASO GRISALES I.A.<sup>1\*</sup>, Oscar ARANGO BEDOYA PhD.<sup>1</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** El creciente interés por la producción de leches no tradicionales y dadas sus bondades nutricionales, la leche de cabra ha comenzado a ser procesada y comercializada en Colombia, sin embargo no existe información suficiente que permita establecer criterios para el pago de incentivos por calidad o la fijación de estándares para su comercialización. **Objetivo:** El objetivo de este estudio fue caracterizar la leche de cabra de dos tipos de razas producidas en el área rural del municipio de Pasto (Nariño). La caracterización comprendió calidad composicional y propiedades fisicoquímicas. **Métodos:** Se llevaron a cabo pruebas de rutina utilizadas en la industria láctea para establecer la calidad composicional y fisicoquímica de la leche. Las características evaluadas fueron contenido de materia grasa (G), proteína (P), sólidos no grasos (SNG), sólidos totales (ST), pH, acidez titulable (AT), densidad y punto crioscópico (PC). Se analizaron 96 muestras de leche de las razas Saanen-Alpina Francesa (S-AF) y Saanen-Nubiana (S-N) en un periodo de 3 meses. Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva y análisis de varianza (ANOVA) simple entre cruces de razas para todos los parámetros evaluados. **Resultados:** Los resultados para las razas S-AF y S-N respectivamente fueron: G = 4,11% y 4,33%, P = 3,27% y 3,06%, SNG = 8,86% y 8,95%, ST = 12,96% y 13,28%, pH = 6,55 y 6,64, AT = 16,23 y 14,74 °D, densidad = 1,032 y 1,032 g/mL y PC = -0,540 y -0,542 °C. Se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre S-AF y S-N para G, SNG, ST, pH y AT. **Conclusión:** El cruce entre razas tuvo

influencia sobre las variables evaluadas. Los resultados obtenidos contribuyen al establecimiento de criterios de calidad para la industrialización y comercialización de la leche de cabra en Colombia.

**Palabras clave:** Leche de cabra, análisis composicional, análisis fisicoquímico.

## ABSTRACT

**Background:** The growing interest in non-traditional milk production and given their nutritional benefits, goat milk has begun to be processed and marketed in Colombia, however there is insufficient information to establish criteria for incentive pay for quality or fixing standards for marketing. **Objective:** The aim of this study was to characterize the goat milk produced two types of races in the rural area of the municipality of Pasto (Nariño). Characterization understood physicochemical properties and compositional quality. **Methods:** Routine tests used in the dairy industry to establish the compositional and physicochemical quality of milk were carried out. The evaluated characteristics were fat content (G), protein (P), non-fat solids (SNG), total solids (TS), pH, titratable acidity (TA), density and cryoscopic point (PC). 96 samples of milk from Saanen-French Alpina (S-AF) and Saanen-Nubian (S-N) breeds were analyzed over a period of 3 months. Data were analyzed using descriptive statistics and analysis of variance (ANOVA) Simple crossings between races for all parameters evaluated. **Results:** he results for the S-AF races and SN respectively were: G = 4.11% and 4.33%, P = 3.27% and 3.06%, SNG = 8.86% and 8.95% ST = 12.96% and 13.28%, pH = 6.55 and 6.64, AT

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

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

= 16.23 ° and 14.74 D, density = 1.032 to 1.032 g/mL and PC = -0.540 and - 0.542 ° C. Significant differences ( $p < 0.05$ ) between S-AF and S-N to G, SNG, ST, pH and AT were observed. **Conclusions:** The crossing between races had an influence on the variables evaluated. The results contribute to establishing quality criteria for processing and marketing of goat milk in Colombia.

**Keywords:** Goat's milk, compositional analysis, physicochemical analysis

## INTRODUCCIÓN

Aunque la producción y el consumo de leche de vaca representan el mayor porcentaje en todo el mundo, se observa una creciente demanda de leche de otros animales de granja, tales como cabras (1). En los últimos años, la leche de cabra ha sido objeto de diversos estudios, los mismos que han demostrado una serie de ventajas con respecto a la leche de otras especies (2). Es así como la valoración global de esta especie ha crecido, aumentando su importancia para el sector ganadero y la mejora social de las poblaciones rurales menos desarrolladas (3).

Uno de los factores más decisivos en el crecimiento del consumo de leche de cabra y sus productos derivados son sus efectos benéficos sobre la salud humana, ya que es menos alergénica y posee mayor digestibilidad (4, 5). En la leche los componentes que más varían son las proteínas y las grasas. En cuanto a proteínas, la leche de cabra contiene cantidades muy bajas de caseína  $\alpha_1$ , principal proteína de la leche bovina y reconocido alérgeno, siendo la  $\beta$ -caseína y la caseína  $\alpha_2$  las fracciones mayoritarias en leche de cabra (6, 7). La grasa en la leche de cabra presenta una mejor distribución en la emulsión de lípidos y una proporción más alta de ácidos grasos de cadena corta, lo que le confiere una mayor digestibilidad (8, 9).

La leche de cabra es, al igual que la leche de otros mamíferos, una matriz de características fisicoquímicas muy diversas y su composición varía dentro de un amplio margen dependiendo de características genéticas propias de cada raza, además de factores como el estado y momento de lactancia, la dieta del animal, su salud y su estado fisiológico general. La leche de cabra puede presentar grandes diferencias según la raza del animal, el contenido graso puede variar de 2,3% a 6,9%, mientras que la proteína puede llegar a variar desde 2,2% hasta 5,1% (6).

La cadena de caprinos en Colombia es relativamente joven y no ha sido explotada en toda su capacidad, y por tanto, no se ha convertido en un renglón económico importante (10). La información que se encuentra sobre la leche de cabra y sus derivados en Colombia es escasa y en el departamento de Nariño es prácticamente nula; de hecho, las normas técnicas colombianas no hacen referencia específica a la leche de esta especie. En el departamento de Nariño (sur occidente de Colombia) la industria láctea ha empezado a procesar y comercializar leche de cabra pasteurizada y algunos productos derivados de ésta, lo que originó la necesidad de caracterizar la leche que se recibe en planta, en aspectos como su composición, propiedades fisicoquímicas, cualidades microbiológicas y sanitarias, que le permitieran fijar criterios de calidad para su adquisición y conocer parámetros tecnológicos de transformación. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue caracterizar la leche de cabra de dos tipos de razas producida en el área rural del municipio de Pasto (Nariño), en cuanto a calidad composicional y propiedades fisicoquímicas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización y muestreo

El estudio se desarrolló en los laboratorios de la planta de procesamiento de una empresa láctea, ubicada en la ciudad de Pasto (sur occidente de Colombia). La leche de cabra que se analizó provino de la zona de influencia de la planta, que llega en cantinas de los diferentes proveedores. Después del ordeño la leche se almacena en cantinas y se transporta a la planta procesadora a temperatura ambiente. El tiempo entre ordeño y recepción en planta es de 4 a 5 horas. La plantase ubica sobre la Cordillera de los Andes a una altura media de 2871 msnm, con temperatura promedio de 13°C, precipitación de 796 mm y humedad relativa entre 74 y 78 % (11).

En total se evaluaron 96 muestras de las dos razas de cabra que prevalecen en la zona de estudio, las cuales son cruces de Saanen-Alpina Francesa (S-AF) y Saanen-Nubiana (S-N), durante los meses de mayo, junio y julio de 2014.

### Caracterización composicional

Se analizaron los siguientes parámetros: materia grasa o sólidos grasos (G) por el método Gerber; proteína (P) según método Kjeldhal (12); sólidos no

grasos (SNG) se calcularon utilizando la fórmula de Richmond según NTC 399 (13) y sólidos Totales (ST), calculados como la suma G y SNG (13).

### Caracterización fisicoquímica

Los parámetros evaluados fueron: pH, medido por potenciometría (14); acidez titulable, por titulación con NaOH 0,1 N (15), utilizando un Acidímetro Dornic Gerber 0-100 °D; densidad se determinó utilizando un termolactodensímetro (Quevenne T=15°C, 15-40 g/mL); punto de congelación, mediante un crioscópio Cryostar I (16).

### Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante el paquete estadístico Statgraphics Centurión XVI, se realizaron análisis de varianza (ANOVA) para establecer diferencias entre los cruces de razas evaluados, con un nivel de confianza del 95% ( $\alpha=0,05$ ).

## RESULTADOS

Los resultados del análisis composicional y fisicoquímico de la leche de las dos razas de cabra estudiadas se presentan en la Tabla 1, así como también los parámetros de la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE), con fines de comparación.

**Tabla 1.** Análisis composicional y propiedades fisicoquímicas de leche de dos razas de cabra en el departamento de Nariño.

Parámetro	Raza		p-valor	NTE 2624:2012 (20)	
	S-AF	S-N		Mín.	Máx.
Materia grasa (G %)	4,11±0,38	4,33±0,37	0,0212	3,5	4,0
Proteína (P %)	3,27±0,29	3,06±0,06	0,2867	3,4	3,7
Sólidos no grasos (SNG %)	8,86±0,17	8,95±0,15	0,0194	8,25	-
Sólidos totales (ST %)	12,96±0,44	13,28±0,45	0,0048	12	13
pH	6,55±0,06	6,64±0,04	0,0000	6,5	6,8
Acidez titulable (AT °D)	16,23±0,96	14,74±0,92	0,0000	13	16
Densidad (g/ml)	1,032	1,032	0,1928	1,027	1,039
Punto congelación (PC °C)	-0,540±0,016	-0,542±0,016	0,7160	-	-0,530

N = 96, S-AF: leche de cabra de cruce Saanen-Alpina Francesa; S-N: leche de cabra de cruce Saanen-Nubiana. NTE = Norma Técnica Ecuatoriana.

## DISCUSIÓN

En la Tabla 1 el ANOVA muestra que hubo diferencias significativas ( $p<0,05$ ) entre las dos razas estudiadas respecto a SG, SNG, ST, pH y acidez titulable. La raza S-N presentó mayores valores en los parámetros mencionados, con excepción de acidez titulable. Los parámetros de proteína, densidad y punto crioscópico no presentaron diferencias significativas ( $p>0,05$ ) entre AS-AF y S-N.

Raynal-Ljutovac *et al.* (7) encontraron contenidos inferiores de materia grasa (3,48%, 3,6% y 4,94%) en leche de cabra de razas Saanen, Alpina-Saanen y Nubiana respectivamente en Francia e Inglaterra. En México se encontraron contenidos promedio de grasa de 3,96% y de 3,5% para las razas Alpino Francesa y Saanen (17), mientras que en la revisión de Kumar *et al.* (9) se reporta un valor de 4,25% de materia grasa. El contenido de grasa es cuantitativa y cualitativamente el componente más variable de la leche, dependiendo de la etapa de lactancia, temporada, raza, genotipo y alimentación (7). Respecto al contenido de proteína, en Estados Unidos se encontraron valores de 3,02% y 3,03% en las razas Alpina y Saanen respectivamente (8), muy semejantes a los de este estudio. El contenido de proteína en la leche es un factor de calidad decisivo dada su relación directa con el rendimiento quesero (18).

Amigo y Fontecha (8) en su revisión reportaron ST = 12,93% y 12,98%, SNG = 8,14% y 8,34% para razas Alpina y Saanen respectivamente en Estados Unidos, valores semejantes a los de este estudio para ST e inferiores para SNG. En general muchos estudios concuerdan que la variabilidad en la composición de la leche se debe a factores como la alimentación, la raza, estado fisiológico y el momento de la lactancia en que se encuentra el caprino, además de efectos estacionales y ambientales (4, 19, 20).

Los parámetros fisicoquímicos de pH y acidez titulable (AT) estuvieron dentro de rangos establecidos por la NTE (21) y son semejantes a los encontrados en otros estudios (17, 20, 21, 22). El pH de la leche de cabras S-AF fue significativamente menor que el de S-N, coincidiendo con una mayor AT, lo que podría relacionarse con el mayor contenido de proteína de S-AF o con su calidad higiénica.

La densidad láctea es un parámetro de calidad que varía en función directa a la cantidad de sólidos no grasos e inversa al contenido de grasa (23).

Los valores encontrados se encuentran dentro del rango observado por Güzeler *et al.* (1,031-1,032 g/mL) (24) y por Ludeña *et al.* (1,030-1,033 g/mL) (2). La adición a la leche de agua o de otras sustancias adulterantes, los tratamientos térmicos y la acidificación afectan a su punto crioscópico (25, 26), de allí la importancia de conocer la variación normal de este parámetro. Los valores medios del punto crioscópico para S-AF y S-N fueron similares a los encontrados por Fiechter y Mayer (-0,542 ± 0,004 °C) (19).

## CONCLUSIÓN

Los parámetros que se evaluaron en leche de cabra en el departamento de Nariño, se encuentran dentro de los rangos que se citan en la literatura, pero se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los contenidos medios de grasa, sólidos no grasos, sólidos totales, pH y acidez entre las razas Saanen-Alpina Francesa (S-AF) y Saanen-Nubiana (S-N). Los resultados contribuyen al conocimiento de las características de la leche caprina en Colombia y al establecimiento de criterios de calidad para el pago por incentivos a nivel de planta.

## REFERENCIAS

- Haug A, Høstmark A, Harstad O. Bovine milk in human nutrition – a review. *Lipids in Health and Disease*. 2007; 6: 1-16.
- Ludeña F, Peralta S, Arroyo O, Fung L, Gonzales C. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la leche de cabra y su conservación mediante la activación del sistema lactoperoxidasa. *Mosaico científico*. 2006; 3(1): 17-26.
- Boyazoglu J, Hatziminaoglou I, Morand-Fehr P. The role of the goat in society: Past, present and perspectives for the future. *Small Ruminant Research*. 2005; 60: 13-23.
- Park YW, Juárez M, Ramos M, Haenlein GFW. Physico-Chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*. 2007; 68: 88-113.
- Harden, C. y Hepburn, N. The benefits of consuming goat's milk. [Internet]. Centre for Food Innovation a fresh perspective on food. 2011. [Citado 16 de diciembre de 2015]. Disponible en: <http://www.sthelensfarm.co.uk/images/research.pdf>
- Chacón A. Aspectos nutricionales de la leche de cabra (*Capra hircus*) y sus variaciones en el proceso agroindustrial. *Agronomía Mesoamericana*. 2005; 16(2): 239-252.
- Raynal-Ljutovac K, Lagriffoul G, Paccard P, Guillet I, Chilliard Y. Composition of goat and sheep milk products: An update. *Small Ruminant Research*. 2008; 79: 57-72.
- Ludeña F, Peralta S, Arroyo O, Fung L, Gonzales C. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la leche de cabra y su conservación mediante la activación del sistema lactoperoxidasa. *Mosaico científico*. 2006; 3(1): 17-26.
- Kumar S, Kumar B, Kumar R, Kumar S, Khatkar S. and Kanawjia S. Nutritional Features of Goat Mil: A Review. *Indian Journal Dairy Science*. 2012; 65(4): 266-273.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. La cadena de ovinos y caprinos en Colombia [Internet]. Colombia: Observatorio Agro cadenas. 2006. [Citado 16 de diciembre de 2015]. Disponible en internet: [http://www.agronet.gov.co/www/docs\\_agronet/20078611357\\_caracterizacion\\_ovinosycaprinos.pdf](http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/20078611357_caracterizacion_ovinosycaprinos.pdf).
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. IDEAM. Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos. [Internet]. [Citado 14 de febrero de 2016]. Disponible en internet: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. CORPOICA. Metodologías de análisis normalizados para la red de laboratorios lácteos que hacen análisis de leche cruda para pago por calidad. Bogotá. Colombia: CORPOICA. 2013. 36 p.
- Instituto Colombiano de normalización y certificación. Productos lácteos. Leche cruda. NTC 399. Bogotá D.C.: El Instituto, 2002, 10 p.
- Gerber N, Schneider K, Arroyo M. Tratado práctico de los análisis de la leche y del control de los productos lácteos. Traducido por Ramón Arroyo. 11 ed. Madrid, España.: Dossat. S.A; 1994. 230 p.
- Instituto Colombiano de normalización y certificación. Leche y productos lácteos. Determinación de la acidez titulable (método de referencia). NTC 4978. Bogotá D.C.: El Instituto, 2001, 11 p.
- Instituto Colombiano de normalización y certificación. Leche. Determinación del punto de congelación. Método del crioscópio termistor (método de referencia). NTC 5135. Bogotá D.C.: El Instituto, 2002; 21 p.
- Vega S, Gutiérrez R, Ramírez A, González M, Díaz G, Salas J, González C, Coronado M, Schettino B, Alberti A. Características físicas y químicas de leche de cabra de razas Alpino Francesa y Saanen en épocas de lluvia y seca. *Revista. Salud Animal*. 2007; 29(3): 160-166.
- González, C. Caracterización del perfil caseínico de la leche de cabra criolla chilena en la región de Coquimbo. Trabajo de grado para optar el para obtener el título de ingeniero agrónomo. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Escuela de Pregrado. 2012; 36 p
- Haenlein GF. Milk and Meat Products. [Internet]. : Goat connection. 2002 [Actualizado 11 de junio de 2008; citado 17 de diciembre de 2015]. Disponible en internet: [http://goatconnection.com/articles/publish/article\\_73.shtml](http://goatconnection.com/articles/publish/article_73.shtml)
- Fiechter G, Mayer H. Physical and chemical characteristics of sheep and goat milk in Austria. *International Dairy Journal*. 2012; 24: 57-63.
- Instituto Ecuatoriano de normalización. Leche cruda de cabra. Requisitos. NTE INEN 2624. 1 ed. Quito, Ecuador. 2012, 9 p.
- Mahmood A, Usman S. A comparative study on the physico-chemical parameters of milk samples collected from buffalo, cow, goat and sheep of Gujrat, Pakistán. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2010; 9(12): 1192-1197.
- Quiles A, Hevia Ma. Propiedades físicas de la leche de cabra. *Revista Ganadería*. 2001; 53-53.
- Güzeler N, Say D, Kaçar A. Compositional changes of saanen x kilis goats' milk during lactation. *Akademik Gıda*. 2010; 35(5): 325-330.
- Walstra P, Geurts TJ, Noomen A, Jallema A, Van Boekel. *Dairy Technology Principles of Milk Properties and Processes*. New York, NY: Editorial Marcel Dekker Inc. 270 Madison Avenue. 730 p.
- Zagorska J, Ciprovica I, Evaluation of factors affecting freezing point of milk. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2013; 7: 02-22.

# DETERMINACIÓN DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN RESIDUOS DE FRUTO DE PAPAYA (*Carica papaya*)

DETERMINATION OF PHENOLICS COMPOUNDS AND ANTIOXIDANT ACTIVITY BY-PRODUCTS PAPAYA FRUIT (*Carica papaya*)

M.C. RIVERA-OCHOA<sup>1</sup>, N.Z. CASTILLO-ROBLES<sup>1</sup>, K<sup>1</sup>. FIGUEROA-SEPÚLVEDA, M.C. ROJAS-DORADO<sup>1</sup>, J. ESPARZA<sup>1</sup>, L.E. ORDOÑEZ-SANTOS<sup>2\*</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** El procesamiento de las frutas en Colombia generan volúmenes importantes de material de descarte, entre ellas semillas y cáscaras, residuos que actualmente representan un problema ambiental, ya que no han sido valorados como fuente importante de carotenoides, compuestos fenólicos, flavonoides, antocianinas, betalaínas y vitaminas, algunas de estas moléculas actúan como provitamina A, pigmentos naturales y antioxidantes que están asociadas a la reducción de ciertas enfermedades degenerativas. **Objetivos:** El objetivo del presente trabajo fue determinar la concentración de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante en residuos de fruto de papaya. **Métodos:** Los residuos de cáscara y semilla obtenidos de frutos de papaya (*Carica papaya*) en estado de madurez de consumo, se liofilizaron a presión de vacío de 0.120 mBar y a una temperatura de -50°C durante 24 horas. A las muestras se les determinó la concentración de compuestos fenólicos por el método de Folin-Ciocalteu a 765 nm y la actividad antioxidante DPPH por el método espectrofotométrico a 517 nm. **Resultados:** Los resultados indican que la concentración de compuestos fenólicos en la semilla y la cáscara de los frutos de papaya reportan valores de 532,73 y 385,55 mg EAG/100 g, respectivamente, y en actividad antioxidante la semilla correspondió (18,44%) y en cáscara (58,82%), respectivamente. Los valores de DPPH en los residuos de cáscara superan estadísticamente a los registrados en la semilla de papaya, por el contrario, los compuestos fenólicos

totales son mayores estadísticamente en la cáscara de papaya. **Conclusiones:** En el presente trabajo se puede concluir que la semilla de los frutos de papaya es una fuente importante de compuestos fenólicos y la cáscara representa un material biológico rico en compuestos antioxidantes. Estos dos materiales pueden ser valorados como subproductos con gran potencial agroindustrial. Se requieren adelantar estudios en la aplicación de los compuestos fenólicos y actividad antioxidantes de estos residuos en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética.

**Palabras clave:** Antioxidante, Color, pH, sólidos solubles, subproductos

## ABSTRACT

**Background:** The fruit processing in Colombia generate large volumes of by-products, including seeds and peel, waste currently represent an environmental problem, because they have not been valued as an important source of carotenoids, phenolic compounds, flavonoids, anthocyanins, betalains, and vitamins, some of these molecules act as provitamin A, natural pigments and antioxidants that are associated with the reduction of certain degenerative diseases. **Objectives:** The aim of this study was to determine the concentration of total phenolic compounds and antioxidant activity in papaya fruit residues. **Methods:** The peel and seed residues derived from papaya fruits (*Carica papaya*) at maturity consumption, lyophilized under vacuum pressure of 0.120 mbar and at a temperature of -50 ° C for 24 hours. The samples

<sup>1</sup> Estudiante del programa de Ingeniería Agroindustrial, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingeniería y Administración, Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira, Carrera 32 N 12-00, Palmira, Valle del Cauca, Colombia

<sup>2</sup> Ph.D. Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingeniería y Administración, Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira, Carrera 32 N 12-00, Palmira, Valle del Cauca, Colombia

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

were analyzed for the concentration of phenolics by the Folin-Ciocalteu at 765 nm and DPPH antioxidant activity by the spectrophotometric method at 517 nm. **Results:** The concentration of phenolic compounds in the seeds and peel papaya fruits reported values EAG 532.73 and 385.55 mg/100 g, respectively, and accounted seed antioxidant activity (18.44%) and in shell (58.82%). DPPH values peel residues exceed the statistically recorded papaya seed, however, total phenolic compounds are statistically higher peel papaya. **Conclusions:** In this study it can be concluded that the seed of papaya fruit is an important source of phenolic compounds and the peel represents a rich biological material in antioxidant compounds. These two materials can be valued as by-products with great potential. Studies are needed to advance the implementation of phenolic compounds and antioxidant activity of these residues in the food industry, pharmaceuticals and cosmetics.

**Keywords:** Antioxidant, Color, pH, soluble solids, by-product

## INTRODUCCIÓN

La papaya es una planta de la familia Caricaceae, y el género *Carica*, son originarios de las zonas tropical y subtropical de América y África (1). En 2013 en Colombia, este cultivo alcanza una producción de 165000 t, y el Valle del Cauca con el 28,60% es el segundo productor nacional (2). Esta fruta se consume principalmente en fresco y en jugo, en su procesamiento, la cáscara y semilla representan el 20 al 25% (3). Los residuos de frutas son fuente importante de compuestos bioactivos como el ácido ascórbico, compuestos fenólicos, carotenoides y tocoferol (4). Los compuestos fenólicos se producen en la planta generalmente como mecanismos de defensa contra los agentes patógenos, protección frente a la radiación ultravioleta en exceso, y como atrayentes para los polinizadores (5). La capacidad antioxidante de los fenoles les permite exhibir una amplia gama de efectos biológicos, incluyendo antibacteriano, antiviral, antiinflamatorio, antialérgico, antitrombótico, protección contra las enfermedades coronarias, vasculares y el cáncer (6).

Los efectos en la salud de los compuestos fenólicos han despertado el interés de identificar nuevas fuentes que permitan suplir la demanda de alimentos funcionales. Esto ha incentivado la investigación en evaluar su concentración en algunos residuos (7,

8). En este contexto, los subproductos de papaya generados en el Valle del Cauca serían una fuente promisoría de compuestos fenólicos y antioxidantes que pueden ser empleados como aditivos naturales en la producción de productos funcionales en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica, solucionando así los problemas ambientales y la falta de competitividad del sector frutícola del Valle del Cauca. Por lo tanto el objetivo del presente trabajo fue determinar la concentración de compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante en residuos de fruto de papaya.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los residuos de cáscara y semilla obtenidos de frutos de papaya (*Carica papaya*) en estado de madurez de consumo, se liofilizaron a presión de vacío de 0.120 mBar a una temperatura en el condensador de -50°C durante 24 horas, en un liofilizador (Labconco, UK), y se almacenaron a -20 °C para su posterior análisis.

## ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

A las muestras liofilizadas se les determinó pH (9), color superficial empleando un Colorímetro Minolta CR-400 en coordenadas CIEL\*a\*b\* ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ); usando un iluminante D65 y un observador de 2°, con parámetros de calibración de  $Y=89,5$ ;  $x=0,3176$ ;  $y=0,3347$ . La concentración de fenoles totales se determinó siguiendo el protocolo descrito por (10, 11), aproximadamente 0,6 g de residuo papaya se pesaron en un erlenmeyer de 50 mL, se adicionaron 20 mL de etanol: agua, en relación (80:20 %v/v), se agitó mecánicamente durante 3 minutos, y la mezcla se llevó a ultrasonido durante 20 minutos a 25 °C. Pasado este tiempo, el extracto se filtró y 0,5 mL del filtrado se mezclaron con 5 mL de agua destilada y 0,5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu (marca Panreac AppliChem) y se dejó reaccionar por 3 minutos a temperatura ambiente. Pasado este tiempo se adicionó 1 mL de carbonato de sodio anhídrido al 20% y los tubos se llevaron a un baño térmico programado a 45°C por 15 minutos. Se dejaron enfriar las muestras, se calibró el equipo Spectrophotometer Jenway 6320D USA y se procedió a realizar lecturas de absorbancia a una longitud de onda de 765 nm. Para la determinación de fenoles totales se realizó una curva de calibración (0.01 a 0.1 mg ácido gálico (AG) por mL de solución) que presentó un  $R^2 = 97.30\%$ . La determinación de

capacidad antioxidante (DPPH) se llevó a cabo por el método descrito previamente por (12), se pesaron aproximadamente 0,5 g de harina de residuos en un erlenmeyer de 50 mL forrado con papel aluminio. Luego fueron adicionados 50 mL de metanol y se agitó vigorosamente en una plancha de agitación por 1 minuto. Posteriormente la muestra se filtró hasta obtener el extracto. Se preparó la muestra a partir de 1 mL del extracto y 2 mL del DPPH 0,1 mM recién preparado. A su vez se elaboró un control, que consistió en 1 mL de metanol y 2 mL de DPPH 0,1 mM recién preparado. Tanto la muestra y el control se agitaron y se dejaron en reposo durante 1 hora en la oscuridad. Finalmente se utilizó un equipo Spectrophotometer Jenway 6320D USA, para las lecturas de la absorbancia tanto de la muestra y el control a una longitud de onda de 517 nm, usando metanol para la calibración del equipo. El porcentaje de inhibición del radical DPPH se cuantificó mediante la ecuación descrita por (12):

$$AA (\%) = \frac{(A_{517} \text{ control} - A_{517} \text{ muestra} \times 100)}{A_{517} \text{ control}} \quad (1)$$

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico correspondió a una comparación de medias de dos tratamientos (cáscara y semilla), con cinco repeticiones por tratamiento y la diferencia se identificó con una prueba de T-Student para muestras independientes, con un intervalo de confianza del 95% en el software estadístico SPSS Statistics Versión 20.

## RESULTADOS

En la Tabla 1 se relacionan los valores medios de los atributos fisicoquímicos analizados a los residuos de papaya.

## DISCUSIÓN

El análisis estadístico evidencia un efecto significativo del tipo de residuo en las variables de respuesta estudiadas en el presente trabajo (Tabla 1). Los valores de L\*, a\*, b\* y DPPH en los residuos de cáscara superan estadísticamente a los registrados en la semilla de papaya, por el contrario, el pH y los compuestos fenólicos totales son mayores estadísticamente en la cáscara de papaya (Tabla 1). Los atributos de color evaluados a las muestras evidencian un color amarillo claro en la cáscara de papaya, y en la semilla reportan tonos oscuros (Tabla 1).

Los compuestos fenólicos totales en las muestras evaluadas en el presente estudio superan a los registrados por Infante et al. (13), en residuos de piña (240 mg EAG/100 g), maracuyá (343 mg EAG/100 g) y mango (450 mg EAG/100 g). Albuquerque et al. (14), registran valores de compuestos fenólicos en cáscara de chirimoya (442,15 mg EAG/100 g) cercanos a los registrados en la actual investigación, por el contrario, los valores en semilla (86,28 mg EAG/100 g) no superan a los reportados en el presente trabajo (Tabla 1). La actividad antioxidante en las muestras evaluadas concuerda con el rango expresado por Turkmen et al. (12) (12,20-78,20%) evaluada en vegetales como el pimentón, zapallo, brócoli, espinaca, arveja, habichuela, y apio. En otro estudio realizado por Wong et al. (15), en residuo de cáscara de maracuyá los valores de actividad antioxidante (30-70%) concuerdan con los obtenidos en el presente estudio (Tabla 1). La marcada diferencia de los compuestos fenólicos totales en las muestras evaluadas con lo reportado en la literatura científica, probablemente es consecuencia de las diferencias en los factores genéticos, parte de la planta, estado de madurez, manejo agronómico y postcosecha de las muestras tal como lo ha expresado previamente Odrizola-Serrano et al. (16) en su estudio.

**Tabla 1.** Propiedades fisicoquímicas en residuos de cáscara y semilla de papaya liofilizados

Propiedades fisicoquímicas	Semilla	Cáscara	T-Student
pH	5,53±0,008	4,98±0,001	***
L*	41,99 ± 0,056	62,23 ± 1,45	***
a*	5,28 ± 0,080	13,21 ± 2,56	***
b*	2,20 ± 0,051	29,62 ± 3,24	***
Compuestos fenólicos totales (mg EAG/100 g)	532,73 ± 45,46	385,55±20,60	***
Actividad Antioxidante (%DPPH)	18,44±2,13	58,82±5,34	***

## CONCLUSIÓN

En el presente trabajo se puede concluir que la semilla de los frutos de papaya es una fuente importante de compuestos fenólicos y la cáscara representa un material biológico rico en compuestos antioxidantes. Estos dos materiales pueden ser valorados como subproductos con gran potencial agroindustrial. Es necesario adelantar otras investigaciones que permitan evaluar la aplicación de los compuestos fenólicos y actividad antioxidantes de estos residuos en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética.

## AGRADECIMIENTOS

Al Programa Nacional de Semilleros de Investigación, Creación e Innovación de la Universidad Nacional de Colombia 2013-2015. Modalidad 1: Proyectos para la introducción en la investigación, creación o innovación, y al Grupo de Investigación en Procesos Agroindustriales de la Facultad de Ingeniería y Administración de la Universidad Nacional De Colombia.

## REFERENCIAS

- Samaram S, Mirhosseini H, Tan CP, & Ghazali HM. Ultrasound-assisted extraction and solvent extraction of papaya seed oil: Crystallization and thermal behavior, saturation degree, color and oxidative stability. *Ind Crops Prod.* 2014; 52:702-708.
- AGRONET (2015) [Internet]. Bogotá, Colombia, [citado 12 de diciembre de 2015]. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/>
- Parniakov O, Barba FJ, Grimi N, Lebovka N, & Vorobiev E. Impact of pulsed electric fields and high voltage electrical discharges on extraction of high-added value compounds from papaya peels. *Food Res Int.* 2014; 65:337-343.
- Ayala-Zavala JF, Vega-Vega V, Rosas-Domínguez C, Palafox-Carlos H, Villa-Rodríguez, JA, Siddiqui MW, Dávila-Aviña, JE, & González-Aguilar GA. Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. *Food Res Int.* 2011; 44(7): 1866-1874.
- Ogah O, Watkins CS, Ubi BE, & Oraguzie NC. Phenolic Compounds in Rosaceae Fruit and Nut Crops. *J Agr Food Chem.* 2014; 62(39): 9369-9386.
- Babbar N, Oberoi HS, & Sandhu SK. Therapeutic and nutraceutical potential of bioactive compounds extracted from fruit residues. *Crit Rev Food Sci Nutr.* (2015); 55(3): 319-337.
- Taveira M, Silva LR, Vale-Silva LA, Pinto E, Valentão P, Ferreres F, Guedes de Pincho P, & Andrade PB. *Lycopersicon esculentum* seeds: an industrial byproduct as an antimicrobial agent. *J Agr Food Chem.* (2010); 58(17): 9529-9536.
- Adebowale BA, Ogunjobi MAK, Olubamiwa O, Olusola-Taiwo MO, & Omidiran VA. Quality improvement and value addition of processed fish (*Clarias gariepinus*) using phenolic compounds in coffee pulp smoke. *International Res J Agr Sci Soil Sci.* 2012; 2(13): 520-524.
- ICONTEC. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Norma Técnica Colombiana. NTC 4592. Productos de Frutas y Verduras. Determinación del pH. Bogotá. 1999: 4p.
- Singleton VL, Orthofer R, & Lamuela-Raventos RM. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in enzymol.* 1999; 299(C): 152-178.
- Teow CC, Truong VD, McFecters RF, Thompson RL, Pecota KV, Yencho GC. Antioxidant activities, phenolic and  $\beta$ -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. *Food chem.* 2007; 103(3): 829-838.
- Turkmen N, Sari F, Velioglu YS. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food chem.* 2007; 93(4):713-718.
- Infante J, Selani MM, Toledo NMV, Silveira M, Alencar SM, Spoto MHF. Atividade Antioxidante De Resíduos Agroindustriais De Frutas Tropicais. *Alimentos e Nutrição Araraquara.* 2013; 24(1): 92p.
- Albuquerque TG, Santos F, Sanches-Silva A, Oliveira MB, Bento AC, & Costa HS. Nutritional and phytochemical composition of *Annona cherimola* Mill. fruits and by-products: Potential health benefits. *Food Chem.* 2016; 193: 187-195.
- Wong YS, Sia CM, Khoo HE, Ang YK, Chang SK, Yim HS. Influence of extraction conditions on antioxidant properties of passion fruit (*Passiflora edulis*) peel. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* 2014; 13(3): 257-265.
- Odriozola-Serrano I, Soliva-Fortuny R, Martib-Belloso O. Effect of minimal processing on bioactive compounds and color attributes of fresh-cut tomatoes. *LWT – Food Sci Technol.* 2008; 41: 217-226.

# FORMULACIÓN DE UNA GALLETA A BASE DE YOGUR DESHIDRATADO

## COOKIE FORMULATION BASED ON DEHYDRATED YOGURT

Germán A. GIRALDO G<sup>1\*</sup>, Zaira T. MARIN-ARANGO<sup>2</sup>, Lina Marcela AGUDELO-LAVERDE<sup>3</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes:** El yogur es un alimento funcional debido a los aportes nutricionales y fisiológicos. La leche fermentada con *Lactobacillus bulgaricus* y *acidophilus*, es rica en probióticos, mientras que el producto con adición de inulina lo convierte en un alimento rico en prebióticos. **Objetivo:** formular una galleta a base de yogurt inoculado con cepas consideradas probióticas y con la adición de inulina para obtener un snack funcional, como una respuesta investigativa a la demanda de alimentos saludables. **Métodos:** Este trabajo se desarrolló en dos etapas: en la primera se formularon cuatro yogures, a partir de leche en polvo entera y leche en polvo descremada diluida con niveles de agua hasta alcanzar concentraciones de grasa del 3% y sólidos solubles (ss) del 9, 10, 11 y 12%, la leche se pasteurizó a 85°C y se inoculó a 42°C con 0,04 g/L de cepas de *Streptococcus salivarius subesp. thermophilus* y *Lactobacillus delbruekii subesp bulgaricus* y *Bifido bacterium lactis* (HN019) al 0,2 g/L. La segunda etapa el yogur se deshidrató por membrana, se le adicionó inulina y se secó a 35°C, se midieron las variables de respuesta; actividad de agua ( $a_w$ ), densidad, grasa, sólidos totales, proteína, punto crioscópico, pH y acidez. **Resultados:** En la primera etapa se encontró que los yogures con 3% de grasa y 11% y 12% de sólidos solubles tenían una mejor respuesta, debido a la mayor concentración de estos en la formulación, confiriendo mayor estabilidad, mientras que en la segunda fase el yogur con 11% de sólidos, presentó una concentración adecuada después de la deshidratación alcanzando una mayor capacidad para formar pasta. **Conclusión:** La pasta de yogur con 11% de sólidos generó una masa adecuada para

el moldeado en galletas, proporcionando una mayor extensibilidad y retención de suero; las cuales al secarlas a baja temperatura, alcanzan una textura suave y agradable.

**Palabras clave:** Leche, yogur, inulina, probióticos, secado.

### ABSTRACT

**Background:** Yogurt is a functional food because of the nutritional and physiological contributions. Milk fermented with *Lactobacillus bulgaricus* and *acidophilus*, is rich in probiotics, while the addition of inulin product makes it a rich source of prebiotics. **Objective:** To make a cookie-based yogurt inoculated with probiotic strains and with the addition of inulin for a functional snack, as an investigative response to the demand for healthy food. **Methods:** This study was conducted in two stages: in the first four yogurts were made, from whole milk and skim milk powder diluted powder with water levels reaching levels of fat and 3% soluble solids (ss) of 9, 10, 11 and 12%, milk is pasteurized at 85°C and inoculated at 42°C with 0.04 g/L of *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* and *Lactobacillus delbruekii* subsp *bulgaricus* and *Bifido bacterium lactis* (HN019) 0.2 g/L. The second stage, the yogurt was dehydrated membrane, was added inulin and dried at 35°C, the response variables were measured; water activity ( $a_w$ ), density, fat, total solids, protein, cryoscopic point, pH and acidity. **Results:** In the first stage it was found that yogurt 3% fat and 11% and 12% soluble solids had a better answer, because of the greater concentration of these in the formulation, giving greater stability, while in the second phase yogurt with

<sup>1</sup> Dr. en Tecnología de Alimentos, Integrante del Grupo de investigación en Procesos Agroindustriales, Universidad del Quindío

<sup>2</sup> MsC. Ciencia y Tecnología de Alimentos, Integrante del Grupo de investigación en Procesos Agroindustriales, Universidad del Quindío.

<sup>3</sup> Dra. en Química Industrial, Directora del Grupo de investigación en Procesos Agroindustriales, Universidad del Quindío.

\* Autor a quien debe dirigirse la correspondencia: ggiraldo@uniquindio.edu.co

11% solids, it presented a suitable concentration after dehydration achieving greater ability to form paste. **Conclusions:** Yogurt paste with 11% solids generates adequate mass for molding biscuits, providing greater extensibility and retention of whey; which when dried at low temperature, reaching a smooth and pleasant texture.

**Keywords:** Milk, yogurt, inulin, probiotics, drying.

## INTRODUCCIÓN

Las galletas tradicionales se formulan a base de harina de trigo, grasas vegetales y azúcar, entre otros, por lo que son muy energéticas, pero para ser consideradas un producto light deben disminuir el aporte calórico a niveles entre el 19% y el 21%, dentro de este grupo se encuentran las galletas funcionales con un gran potencial debido a sus aportes en fibra dietaria, edulcorantes no energéticos, entre otros. Los alimentos funcionales pueden aportar prebióticos y probióticos, además de ser productores de ácido láctico y ácidos grasos de cadena corta, estimulantes del crecimiento de Bifidobacterias y del metabolismo. Se han evaluado lactobacilos como cepas fermentativas de yogur a varias temperaturas de incubación para la producción de yogur natural y con la adición de polisacáridos, los cuales aumentaron la consistencia y la viscosidad (1). Otros investigadores evaluaron atributos físicos y sensoriales donde modificaron la concentración de sólidos, generando una baja sinéresis (2, 3)

Se han desarrollado nuevos productos a base de lácteos inoculados con *Bifidobacterium*, *Lactobacillus bulgaricus*, *casei* y *acidophilus*, microorganismos que fortalecen el sistema digestivo, usados en yogur natural con edulcorantes calóricos, no calóricos, yogur con frutas, entre otros (1), de consistencia líquida, a batida o semisólida (4), pero hasta ahora no se encuentra en el mercado presentaciones en forma de snack.

El objetivo de este trabajo fue formular una galleta a base de yogurt inoculado con cepas consideradas probióticas para obtener un snack funcional.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Leche en polvo (Colanta) entera (lote 0012000202) y descremada (lote 0262020104) fueron obtenidas en el mercado local. Los productos se almacenaron en un medio seco y refrigerado

hasta su uso. Se diluyó leche en polvo entera en agua para obtener una solución fluida con 9% de sólidos solubles que fue usada como control. Se realizaron mezclas de leche en polvo entera y descremada hasta obtener soluciones fluidas del 10, 11 y 12% de sólidos solubles respectivamente. El control y las mezclas se disolvieron en agua a 40°C, se homogenizaron, pasterizaron a 85°C por 15 min y estabilizaron a 42°C. Se empleó un fermento láctico de la marca Danisco para inocular las muestras. Se usó el inóculo con 0,04 g/L de *Streptococcus salivarius subesp. thermophilus* y *Lactobacillus delbruekii subesp bulgaricus* (1:1), 0,2 g/L, *Bifido bacterium lactis de howaru* (HN019) y 0,2 g/L de *Bifidobacterium lactis* Bi - 07, las mezclas se incubaron a 42°C hasta obtener un pH de 4,6; luego se refrigeraron a 5°C por 12 horas. A partir de este procedimiento se obtuvieron los yogures a 9, 10, 11 y 12% de sólidos. Posteriormente los yogures elaborados fueron filtrados por gravedad durante 12 horas, obteniendo pastas de yogur de consistencia homogénea. Se evaluaron las variables actividad de agua ( $a_w$ ) se determinó con un higrómetro de punto de rocío a 25°C (Aqualab serie 3TE, Decagon, Devices, Pullman, WA, USA), densidad por picnómetro, grasa por el método de Gerber, sólidos totales por secado a 85°C hasta peso constante, proteína por el método de Kendall, punto crioscópico, pH con phmetro acumet basic, acidez por titulación ácido base (5). A partir de las pastas de yogur se elaboraron galletas a las cuales se le adicionó el 2% de inulina y se secaron a 35°C, hasta una  $a_w$  de 0,60. Se realizó el análisis sensorial de las galletas a través de una prueba de preferencia con panel semi-entrenado conformado por 12 personas. Los atributos evaluados fueron: sabor, color, olor y textura por medio de una escala de 1 a 7, donde el valor uno representaba “me desagradaba mucho” y el siete “me agrada mucho”. Se aplicó un diseño aleatorio para determinar las diferencias significativas entre cada una de las variables en las diferentes composiciones y muestras, a través de ANOVAS. El análisis se hizo por triplicado con un nivel de confianza del 95%.

## RESULTADOS

En la tabla 1, se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos de las mezclas de leche reconstituida a las diferentes concentraciones de sólidos solubles.

**Tabla 1.** Análisis fisicoquímico de la mezcla de leches en polvo reconstituidas.

Muestra	Leche 9%	Leche 10%	Leche 11%	Leche 12%
Actividad de agua	0,999±0,000	0,999±0,000	0,999±0,000	0,999±0,000
Densidad Picnómetro	1,035±0,01	1,034±0,01	1,042±0,00	1,047±0,01
Sólidos totales	12,01± 0,37	13,37±2,67	14,41±1,86	15,30±2,11
Proteína	3,16±0,21	3,52±0,15	3,87±0,28	4,23±0,08
Grasa	2,8±0,00	3,1±0,00	3,1±0,00	3,1±0,00
Punto Crioscópico	-0,553±0,000	-0,631±0,000	-0,699±0,000	-0,766±0,000
pH	6,60±0,1	6,62±0,21	6,60±0,17	6,58±0,13
Acidez	0,16±0,06	0,20±0,1	0,22±0,05	0,23±0,02

La tabla 2 muestra las propiedades fisicoquímicas de los yogures elaborados a partir de las leches reconstituidas a 9, 10, 11 y 12% de sólidos.

**Tabla 2.** Caracterización del yogur en estado fresco

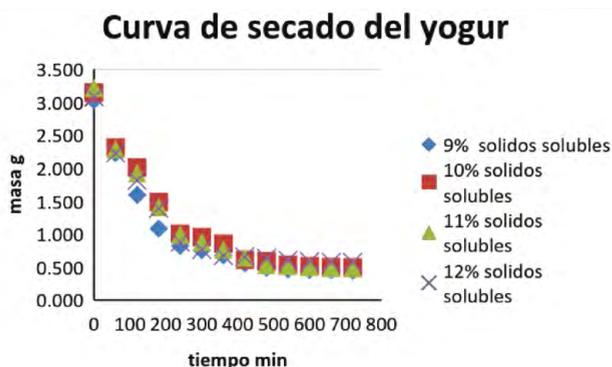
Muestra	Leche 9%	Leche 10%	Leche 11%	Leche 12%
Actividad de agua	0,998±0,000	0,998±0,000	0,997±0,000	0,998±0,000
Densidad Picnómetro	1,032±0,001	1,033±0,001	1,035±0,000	1,036±0,000
Sólidos totales	17,02±0,05	17,03±0,05	17,29±0,20	17,85±0,11
Proteína	3,15± 0,06	3,49±0,06	3,88±0,18	3,23±0,30
Grasa	3,0±0,00	3,0±0,00	3,0±0,00	3,0±0,00
Punto Crioscópico	-0,787±0,000	-0,839±0,000	-0,952±0,000	-0,957±0,000
pH	4,82±0,05	4,8±0,03	4,86±0,02	4,86±0,03
Acidez	0,704±0,041	0,669±0,071	0,704±0,057	0,880±0,089

En la tabla 3 se pueden observar los valores de las propiedades fisicoquímicas de los yogures elaborados a partir de las leches reconstituidas a 9, 10, 11 y 12% de sólidos y deshidratados.

**Tabla 3.** Caracterización del yogur deshidratado

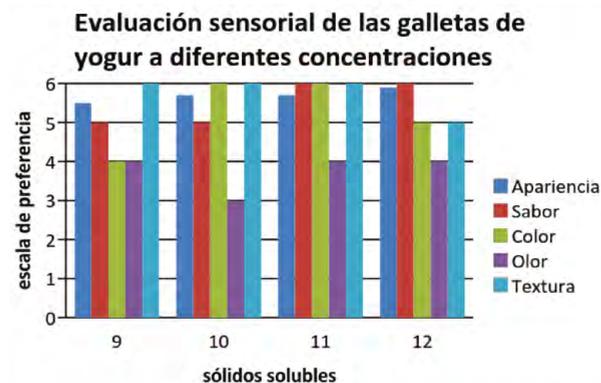
Muestra	Leche 9%	Leche 10%	Leche 11%	Leche 12%
Actividad de agua ( $a_w$ )	0,976±0,000	0,978±0,000	0,978±0,000	0,978±0,000
Densidad Picnómetro	1,022± 0,12	1,025±0,07	1,029±0,09	1,030±0,11
Sólidos totales	19,56±2,15	20,13±4,13	20,59±4,29	20,58±3,21
Proteína	5,1± 0,6	5,3±0,11	5,5±0,73	5,5±1,12
Grasa	2,8±0,00	2,8±0,00	2,7±0,00	2,7±0,00
Punto Crioscópico	-0,855±0,000	-0,934±0,000	-1,056±0,000	-1,130±0,000
pH	4,82± 0,2	4,8±0,4	4,8±0,1	4,9±0,2
Acidez	0,954±0,18	0,908±0,03	0,918±0,09	0,936±0,16

En la figura 1 se presentan las curvas de secado de los yogures con diferente concentración de sólidos.



**Figura 1.** Proceso de deshidratación y secado del yogur a diferentes concentraciones de sólidos solubles.

La Figura 2 muestra los resultados obtenidos en la evaluación sensorial realizada a las galletas elaboradas con los yogures deshidratados de diferente concentración.



**Figura 2.** Evaluación sensorial de galletas de yogur a diferentes concentraciones.

## DISCUSIÓN

La adición de leche en polvo generó un aumento de la concentración de proteína (tabla 1), originando el incremento de los sólidos solubles en las muestras, el cual fue además directamente proporcional a la densidad. El punto crioscópico de las mezclas descendió por el aumento de los sólidos totales. Propiedades como  $a_w$ , grasa, pH y acidez no mostraron cambios importantes con la adición de leche en polvo descremada. Todos estos cambios se ven reflejados por causa de la mezcla utilizada en la formulación de las leches, cambios similares

fueron encontrados por Chollet *et al.*, 2013, donde al analizar yogures con diferentes concentraciones de edulcorante, observaron que los formulados con 7% de azúcar, recibieron mayor aceptación por parte de los consumidores (6). Los yogures elaborados a partir de las leches reconstituidas presentaron cambios importantes en las características fisicoquímicas con relación a las leches diluidas precedentes (tabla 2), debido a una serie de reacciones metabólicas que se dan en el proceso por la presencia de los microorganismos que producen ácido láctico a partir de los carbohidratos presentes en el medio (7), además de otros compuestos que alteran las características y que permiten la obtención del producto final (8). Comparando los parámetros obtenidos entre los yogures elaborados, se observan cambios que conservan la misma tendencia mencionada en las leches reconstituidas, presentándose un aumento de la densidad directamente proporcional a la concentración de leche en polvo descremada adicionada. El incremento en la acidez debido a la mayor disponibilidad de lactosa que produjo un aumento en la concentración de moléculas ácidas producidas por el metabolismo de los microorganismos, que a su vez provocó un importante descenso en el pH de los yogures. Los valores de grasa y  $a_w$  no fueron afectados por el proceso ni por el aumento de leche en polvo.

Dado que el objetivo de este trabajo fue formular galletas a partir de yogur, fue necesario reducir el contenido de agua de los yogures a través de filtración para optimizar el secado de los mismos (tabla 3). La filtración permitió obtener pastas de yogur maleables, luego se observaron cambios relevantes en los sólidos lo que pudo deberse a la eliminación de sueros y al incremento de exo-polisacáridos (ya que estos se retienen en la filtración) complejos que se excretan y acumulan por fuera de las células de los microorganismos presentes en el yogur y que son los responsables del aspecto mucoso del producto (8). De igual forma hubo aumento significativo en el contenido de proteína y en la acidez del producto, tanto por los procesos aplicados como por la adición de leche en polvo. Se evidenció la disminución  $a_w$  y del punto crioscópico y el incremento de la concentración de sólidos en los yogures, ocasionado por la eliminación de sueros en la filtración. La densidad de los yogures presentó pequeñas disminuciones en comparación con las leches reconstituidas, lo que podría deberse al catabolismo de moléculas como la lactosa en otras de menor tamaño (ácido láctico

y CO<sub>2</sub>) (9, 10). Parámetros como el contenido de grasa y pH no mostraron variaciones de interés. Sin embargo, si se comparan los valores de pH con los determinados en productos de igual concentración (leche reconstituida y yogures), se encontró que el pH disminuyó significativamente debido al incremento de la población de microorganismos y por ende al aumento de ácido láctico como producto del metabolismo.

Para obtener la galleta se realizó un secado de las pastas de yogur durante 72 horas a 35°C, condiciones en las que se garantiza evitar la destrucción de las bacterias lácticas. La figura 1 muestra las curvas de secado para cada formulación, donde se observa en todos los casos una disminución exponencial de la masa con el aumento de tiempo de secado, alcanzando valores similares de masa independiente de la concentración de leche en polvo adicionada.

Las galletas elaboradas a partir de los yogures evaluados sensorialmente por un panel semi-entrenado a través de una prueba de preferencia (figura 2), presentaron un acertado nivel de aceptación, que se distribuía entre “me agrada y me agrada más”. La galleta de mejor aceptación fue la elaborada con del 11% de sólidos solubles.

## CONCLUSIÓN

La adición de diferentes concentraciones de leche en polvo descremada puede modificar algunas características fisicoquímicas de leches reconstituidas, que puede ser de utilidad al momento de realizar

otros procesos, como filtración y secado para la obtención de productos finales. En este trabajo se pudo identificar que un contenido de 11% de sólidos genera una masa adecuada para ser moldeada, la cual al secarse a baja temperatura permite obtener una galleta de textura adecuada, protegiendo el contenido de microorganismos viables, generando un producto que podría caracterizarse como funcional.

## REFERENCIAS

1. Zeynep B. Seydim G, Sezgin E, Seydim A. Influences of exopolysaccharide producing cultures on the quality of plain set type yogurt *Food Control*. 2005; 16( 3): 205-209p.
2. Tamime, A. Y.; Robinson, R. K.; *Yogur Ciencia y Tecnología*. Editorial Acribia Zaragoza 2ª Edición; 1991.
3. Isleten M. y Yuceer K. Effects of Dried Dairy Ingredients on Physical and Sensory Properties of Nonfat Yogurt, *Journal of Dairy Science*. 2006; 89(8): 2865-2872p.
4. Beal C., Skokanova J., Latrille E., Martin N., Corrieu G. Combined Effects of Culture Conditions and Storage Time on Acidification and Viscosity of Stirred Yogurt *Journal of Dairy Science*. 1999; 82(4): 673-681p.
5. A.O.A.C. Official methods of Analysis. 16 th Edition. Association of official Analytical Chemists. Washington D.C; USA, 2000.
6. M. Chollet, D. Gille, A. Schmid, B. Walther, P. Piccinali. Acceptance of sugar reduction in flavored yogurt, *Journal of Dairy Science*. September 2013; 96(9): 5501-551.
7. Reuter G, Klein G and Goldberg M. Identification of probiotic cultures in food samples. *Food Research International*. 2002; 35(2-3): 117-124.
8. Doleyres Y., Schaub L., Lacroix C. Imparison of the Functionality of Exopolysaccharides Produced In Situ or Added as Bioingredients on Yogurt Properties, *Journal of Dairy Science*. 2005; 88(12): 4146-4156.
9. Holzapfel W and Schillinger U. Introduction to pre- and probiotics. *Food Research International*. 2002; 35(2-3): 109-116.
10. Madigan M, Martinko J y Parker J. Brock *Biología de los Microorganismos*. Prentice Hall 10ª ed. Madrid. 2004; 1050 p.

# EFECTO DEL SECADO CONVECTIVO Y DE VENTANA DE REFRACTANCIA SOBRE COMPUESTOS VOLÁTILES DE “BANANO BOCADILLO” (*Musa acuminata Colla*) DESHIDRATADO

EFFECT OF CONVECTIVE DRYING AND REFRACTANCE WINDOW ON VOLATILE COMPOUNDS OF “BOCADILLO BANANA” (*Musa acuminata Colla*) DRIED

Angela M. ORMAZA Z. Dr (c).<sup>1\*</sup>, Aristófeles ORTIZ. M.Sc.<sup>2</sup>, Alfredo A. AYALA-APONTE. Ph.D.<sup>3</sup>.

## RESUMEN

**Antecedentes:** El secado contribuye a prolongar la vida útil de las frutas, ocasionando cambios a nivel estructural, nutricional y aromático según la técnica de secado y las temperaturas aplicadas. El secado convectivo (SC) es la técnica más popular para secar diferentes tipos de alimentos, mientras que el secado por ventana de reflectancia (VR) es una técnica reciente que emplea la energía infrarroja del agua, que contribuye a disminuir las pérdidas de calidad en alimentos deshidratados y termosensibles como las frutas. **Objetivos:** El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto del método de secado; secado convectivo y ventana de reflectancia, sobre la retención de aromas en muestras de banano bocadillo deshidratado. **Métodos:** Se realizó un SC a 50, 60 y 70°C y otro con VR a 70, 80 y 90°C en rodajas de 2mm de espesor y 23 mm de diámetro de banano bocadillo. Los compuestos volátiles (CV) fueron absorbidos mediante la técnica de microextracción en fase Sólida (SPME) y el perfil aromático se determinó mediante cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (GC-MS), en términos de porcentaje de retención de volátiles, atributo o descripción del aroma y reacción de formación. **Resultados:** La técnica de ventana de reflectancia retuvo en promedio un 80% de los compuestos volátiles del banano bocadillo, observando que el tratamiento a 80°C fue mejor, ya que retuvo el

mayor porcentaje (91%) de los compuestos volátiles presentes en la muestra fresca. Por otra parte, en secado convectivo se retuvieron 65% en promedio de los compuestos volátiles del banano bocadillo, presentándose mayor retención de compuestos impactante en el tratamiento a 50°C. **Conclusiones:** La aplicación de la técnica de ventana de reflectancia aumentó la retención de compuestos volátiles característicos del aroma de banano bocadillo fresco frente al secado con aire caliente.

**Palabras clave:** Ventana de reflectancia, frutas, secado convectivo, banano bocadillo.

## ABSTRACT

**Background:** Drying helps to prolong the life of the fruit, causing structural changes, nutritional and aromatic level according to the technique and drying the applied temperatures. Convective drying (CD) is the most popular technique for drying different types of food, while drying window reflectance (WR) is a recent technique that uses infrared energy of water, which helps to reduce quality losses dried and heat-sensitive foods such as fruits. **Objectives:** The objective of this study was to evaluate the effect of drying method; convective drying and reflectance window on the retention of aromas in samples dried “bocadillo banana”. **Methods:** the convective drying was performed at 50, 60 and 70°C and the WR 70, 80 and 90°C

<sup>1</sup> Profesora auxiliar, Departamento de Ingeniería, Facultad de ingeniería, Universidad de Caldas. Manizales, Caldas.

<sup>2</sup> Investigador I, Disciplina de Calidad, Cenicafé. Chinchiná, Caldas.

<sup>3</sup> Profesor asociado. Escuela de Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, Valle del Cauca.

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

into slices 2 mm thick and 23 mm in diameter “bocadillo banana”. The volatile compounds (VC) were absorbed by the technique of Solid Phase Microextraction (SPME) and aromatic profile was determined by gases chromatography coupled with mass spectrometry (GC-MS), in terms of percent retention of volatile attribute or description of the flavoring and forming reaction. **Results:** The technique window reflectance retained on average 80% of the volatile compounds of “bocadillo banana”, observing that the treatment at 80°C was better as it retained the highest percentage (91%) of volatile compounds present in the fresh sample. Moreover, in convective drying they were retained 65% on average of the volatiles “bocadillo banana”, presenting higher retention of impact compounds in the treatment at 50°C. **Conclusions:** Application of the window reflectance technique increased retention of volatile aroma compounds typical of fresh “bocadillo banana” versus hot air drying.

**Keywords:** Window reflectance, fruits, convective drying, “bocadillo banana”.

## INTRODUCCIÓN

El banano bocadillo o bananito es un fruto exótico de menor tamaño que el banano común o *Cavendish* y de mayor contenido en azúcar, fibra y vitaminas (1). El SC es una técnica de conservación de bajo costo y fácil aplicación, altamente difundido a nivel industrial (2). Altas temperaturas y bajos tiempos de proceso son necesarios para remover el agua libre de las frutas tratadas, no obstante esta técnica puede causar daños irreversibles en el aroma y sabor, color y nutrientes en frutas deshidratadas (3). El secado por VR puede ser una alternativa aceptable para disminuir las pérdidas de calidad de frutas deshidratadas principalmente en la retención de aromas; importante descriptor a nivel sensorial en productos deshidratados (4). El objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia del método de secado aplicado (SC y VR) en muestras de banano bocadillo sobre el perfil aromático de la fruta seca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

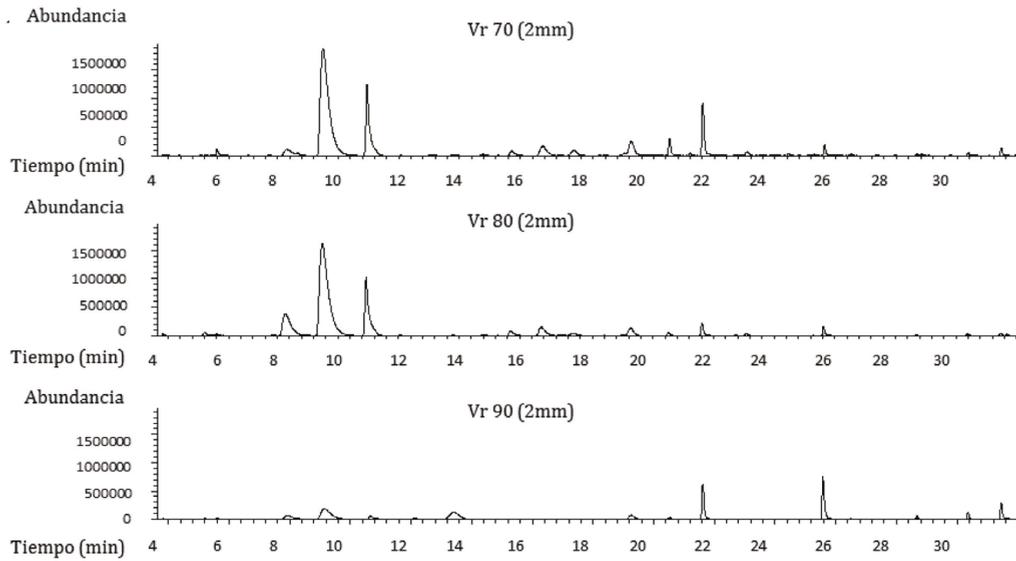
Se utilizaron bananos bocadillo o bananito (*Musa acuminata Colla*) con °Brix entre 20-24 con dimensiones de 23mm de diámetro y 2mm de espesor. Las muestras se deshidrataron por las técnicas SC con aire a 50, 60 y 70°C a escala de laboratorio

(Armfield, modelo UOP8, USA) y VR con agua como medio calefactor a 70, 80 y 90°C a escala piloto (Diseñado en Univalle). El porcentaje de humedad final de las muestras varió entre 8-10% b.s. y se obtuvo con el método AOAC 20.013 (5). Los CV adsorbieron mediante la técnica de microextracción en fase sólida (SPME) y se determinaron mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) en la muestra fresca y en muestras secadas por SC y VR. Los CV se identificaron mediante la comparación de los espectros de masa de referencia de la biblioteca NIST (NIST98, versión 2.0) (6). Se calculó el porcentaje de retención por CV (Ecuación 1), se establecieron los descriptores del aroma y el tipo de reacción involucrada en su formación con respecto a los CV de la muestra testigo (señalados con un asterisco en la tabla 1). Los resultados se evaluaron mediante el ANOVA con el programa Statgraphics Centurion XVI y por medio de un análisis de componentes principales (PCA) con el programa XLSTAT. Donde,  $CV_x$  es un compuesto volátil específico identificado por el detector de masas, *fresco* es la muestra testigo, *n* corresponde a SC a 50, 60 y 70°C y a VR a 70, 80 y 90°C, respectivamente. 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% ( $p < 0.05$ ).

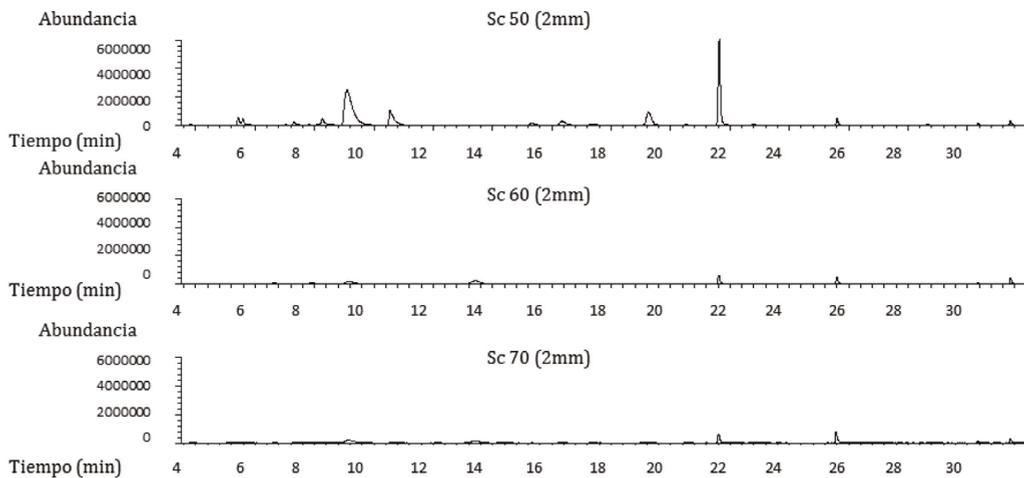
$$\% \text{ Retención } CV = \frac{CV_{x,n}}{CV_{x,fresco}} * 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

## RESULTADOS

En la figura 1 se muestran los cromatogramas de los tratamientos con VR a 2mm, observándose una disminución gradual de los picos cromatográficos conforme se aumenta la temperatura de secado. En la tabla 1 se observan los CV identificados en VR a 70,80 y 90°C, y SC a 50, 60 y 70°C, así como los atributos que describen cada CV y la reacción de formación respectiva. De esta tabla se destacan los compuestos acetaldehído, etanol, 2-Pentanona, 2-Pentanol y 3-Metil-1-Butanol, característicos del aroma del banano. En el proceso de VR90 se detectó la mayor cantidad de CV generados por reacciones de caramelización (Tabla 1). Se observó que el tratamiento VR80 conserva el 91% de CV de la muestra fresca (Tabla 1).



**Figura 1.** Retención de aromas de muestras de bananito secadas por VR a 2 mm



**Figura 2.** Retención de aromas de muestras de bananito secadas por SC a 2 mm.

En la figura 2 se muestran los cromatogramas de los tratamientos con SC a 2mm, observándose que las señales son visibles en el SC a 50°C a diferencia de los tratamientos a 60 y 70°C.

En la tabla 1 se evidencia que los CV característicos del aroma a banano; el 2-Pentanona y el 2-Pentanol, sólo están presentes en el tratamiento

a 50°C. El tratamiento SC70 retuvo un 73% de los CV detectados en la muestra fresca.

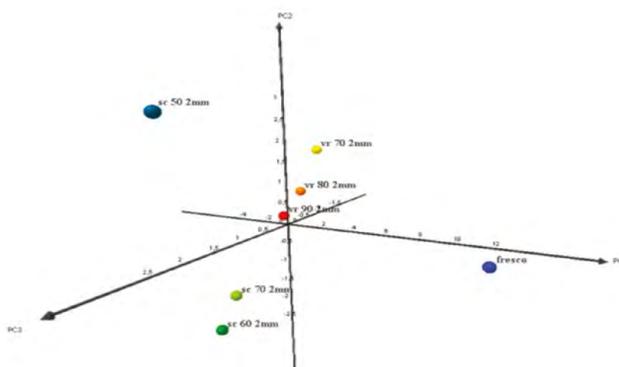
En general la técnica de VR retiene aproximadamente un 80% de CV del banano bocadillo, mientras que en SC se retienen aproximadamente 65% de CV; evidenciándose en éste último una mayor generación de nuevos compuestos producto de reacciones de fermentación y caramelización.

**Tabla 1.** Compuestos volátiles obtenidos del secado de rodajas de banana bocadillo por VR y SC.

CV	Atributo	Reacción	VR70 (%)	VR80 (%)	VR90 (%)	SC50 (%)	SC60 (%)	SC70 (%)
Acetaldehído*	Frutal, vino, ácido	R.; C.	7,50	10,27	5,14	31,66	5,49	6,90
Acetona	Dulzón, solvente	C.	+	+	+	+	+	+
Etanol*	Fresco, dulce	F.	121,82	87,10	82,63	106,94	2,99	9,34
2-Pentanona*	Banano dulce	C.	89,83	41,60	47,58	50,96	ND	ND
1-Propanol*	Picante, dulce	F.	30,05	ND	ND	ND	866,07	435,04
2-Metil-1-Propanol*	Vino, solvente, amargo	F.	28,62	23,63	34,44	73,52	ND	5,50
2-Pentanol*	Banano	F.	25,56	12,67	21,38	34,98	ND	ND
Propil éster, ác. Butanoico	Rancio, queso, dulce	F.; C.	+	ND	ND	ND	ND	ND
3-Metil-1-Butanol*	Vino afrutado, banano, whisky	F.	17,57	6,38	19,18	68,74	4,17	ND
3-Metil-Butil éster, ác. butanoico*	Rancio, queso, dulce	F.; C.	52,48	22,35	60,05	16,34	4,44	ND
3-Hidroxi-2-Butanona*	Mantequilla, crema	C.	348,82	63,84	533,94	3404,85	361,85	369,21
Formamida	Rancio	D.	+	ND	ND	ND	ND	ND
Ác. acético*	Agrio, astringente, vinagre	F.; C.	9,56	1,94	3,78	9,55	11,61	17,61
2-Metil propanoico*	Rancio, mantequilla, queso	F.; C.	12,36	ND	17,85	46,13	+	26,59
Ác. butanoico*	Rancio, queso, dulce	F.; C.	+	ND	ND	17,76	14,58	21,02
2-Metil-1-Butil propanoico	Ácido, rancio, soya	F.; C.	ND	+	ND	ND	ND	ND
2-Metil propanal	Acre, malta, verde	R.; C.	ND	ND	+	+	ND	ND
3-Metil-2-Butanol	Malta	F.	ND	ND	+	ND	ND	ND
1-Butanol	Vino	F.	ND	ND	+	+	ND	ND
3-Metil-3-Metil butanoico*	Dulce, ácido, rancio	F.; C.	ND	ND	6,32	ND	ND	ND
1-Hexanol*	Miel, dulce, césped	F.	ND	ND	6,28	ND	ND	ND
3-Metil butanoico	Dulce, ácido, rancio	F.; C.	ND	ND	+	+	ND	+
Butanal	Malta, chocolate	R.; C.	ND	ND	ND	+	ND	ND
Etil acetato*	Afrutado, dulce, fresco, maduro	F.; C.	ND	ND	ND	5,74	ND	ND
2-Metil butanal	Cocoa, almendra	R.; C.	ND	ND	ND	+	ND	ND
3-Metil butanal	Malta	R.; C.	ND	ND	ND	+	ND	ND
Butirolactona	Frutal, floral	C.	ND	ND	ND	+	ND	ND
Tetrahidrofurano	Dulce, picante	C.	ND	ND	ND	ND	+	ND
Ác. Hexanoico	Dulce, ácido, rancio, agrio	F.; O.; C.	ND	ND	ND	ND	+	ND
2-3-Butanodiona	Mantequilla	C.	ND	ND	ND	ND	ND	+

\*compuestos en muestra fresca o testigo; + compuestos volátiles formados; VR70: 80% de retención de CV de muestra fresca; VR80: 91% de retención de CV de muestra fresca; VR90: 71% de retención de CV de muestra fresca; SC50: 60% de retención de CV de muestra fresca; SC60: 67% de retención de CV de muestra fresca; SC70: 73% de retención de CV de muestra fresca; ND: No detectado; R: Reacción de Maillard; F: Fermentación; C: Caramelización; D: Degradación térmica; O: Oxidación lipídica. Fuente: (7-11).

En la figura 3 se representa el análisis de los 3 primeros componentes principales que explican el comportamiento del 98% de los datos analizados con relación a los CV, evidenciándose la separación de las muestras procesadas con VR de las secadas con SC. De igual forma se observa que para ambos secados los tratamientos VR70, VR80 y VR90; SC60 y SC70 presentan un perfil volátil similar respectivamente, mientras que SC50 desarrolló un perfil aromático diferente a los demás tratamientos evaluados y diferente a la muestra fresca. Además el tratamiento VR70 tiende a tener más similitud con respecto a la muestra fresca.

**Figura 3.** PCA de muestras de banana bocadillo secadas por VR y SC.

## DISCUSIÓN

La disminución de los picos cromatográficos de los tratamientos con VR (2mm) (Figura 1), se debe principalmente a la volatilización de algunos CV por acción de la temperatura. Los CV destacados en la tabla 1, presentan descripciones de aroma a fresco, frutal, banano y dulce respectivamente (11, 12). La ausencia de los CV característicos de banano en SC a 60 y 70°C, corresponde a que los CV se desintegraron por el efecto del aire caliente que actúa como medio calefactor arrastrando y volatilizando estos CV de impacto de aroma y sabor en la muestra (8). El aumento en la temperatura de la muestra hace que algunos sitios activos se degraden térmicamente ocasionando que las notas a fresco del aroma a banano se disminuyan o desaparezcan (13). Se presentaron mayor retención de CV del banano en los tratamientos con VR, mientras que en SC se observó mayor generación de CV producto de reacciones de fermentación y caramelización (Tabla 1), debido a que el banano bocadillo presenta alta concentración de azúcares en su composición (14). Además la técnica de VR emplea energía infrarroja del agua, permitiendo cinéticas de secado más rápidas y menor calentamiento de la muestra (Menor temperatura en el centro geométrico) que las muestras tratadas en el SC (15); por consiguiente esta ventaja en VR es la que permite un retención significativa de CV en frutas deshidratadas. Otros autores, han estudiado el efecto de diferentes métodos de secado sobre la retención de CV en banano (13) y en manzana (16), concluyendo que con menores temperaturas de secado se puede lograr una mayor retención de CV en el producto deshidratado. El tratamiento SC50 desarrolló un perfil aromático diferente a los demás tratamientos evaluados debido al largo tiempo de proceso de secado con aire caliente. El tratamiento VR70 presentó mayor similitud a la muestra testigo (CV señalados con asterisco en la tabla 1), producto de la combinación de una técnica adecuada para alimentos termosensibles como VR y una baja temperatura de secado.

## CONCLUSIONES

Se evidenció que el secado con VR en rodajas de banano bocadillo favoreció significativamente ( $p < 0.05$ ) la retención de CV presentes en mues-

tras fresca y CV impacto del aroma de esta fruta, mientras que con SC se potenció la formación de CV producto de reacciones de caramelización y fermentación en muestras deshidratadas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Grupo Eurobanan. Frutas tropicales y exóticas. (Internet). Madrid, España: 2010 (Actualizado 6 de Julio de 2011; citado 10 de Noviembre de 2011). Disponible en: <http://www.eurobanan.com/index.php?pagina=categorias>.
2. Diamante LM, Ihns R, Savage GP, Vanhanen L. A new mathematical model for thin layer drying of fruits. *Int J Food Sci Tech*. 2010 Aug-Oct; 45(9): 1956-1962.
3. Lin, TM, Durance TD, Scaman CH. Characterization of vacuum microwave, air and freeze-dried carrot slices, *Food Res. Int*. 1998 Feb-Jul; 31(2): 111-117.
4. MCD Technologies, Inc. Brochure: Refractance Window® dryers and evaporators. California, U.S.A. 2010 (Actualizado 31 de Agosto de 2010; citado 18 de Diciembre de 2015). Disponible en: <http://www.mcdtechnologiesinc.com/dryer.htm>.
5. AOAC. Official Methods of Analysis. Moisture determination. Method 20.013. 13th ed. Washington DC: 1980. 361-362 p.
6. Rizzolo A, Gerlia F, Prinziwallia C, Burattib S, Torreggiani D. Headspace volatile compounds during osmotic dehydration of strawberries (*cv Camarosa*): Influence of osmotic solution composition and processing time. *Food Sci Technol-LEB*. 2007 Feb-Jun; 40: 529-535
7. Poinot P, Arvisenet G, Grua-Priol J, Colas D, Fillonneau C, Le Bail A, Prost C. Influence of formulation and process on the aromatic profile and physical characteristics of bread. *J Cereal Sci*. 2008 Jul-Mar; 48: 686-697
8. Boudhrioua N, Giampaoli P, Bonazzi C. Changes in aromatic components of banana during ripening and air-drying. *Lebensm. Wiss. Technol*. 2003 Aug-Mar; 36: 633-642
9. Guzmán-Gerónimo RI, López MG, Dorantes-Álvarez L. Microwave processing of avocado: Volatile flavor profiling and olfactometry. *Innov Food Sci Emerg Technol*. 2008 Dec-May; 9: 501-06.
10. Pino JA, Febles Y. Odour-active compounds in banana fruit *cv. Giant Cavendish*. *Food Chem*. 2013 Feb-Mar; 141: 795-801
11. Viljanen K, Lille M, Heiniö R, Buchert J. Effect of high-pressure processing on volatile composition and odour of cherry tomato purée. *Food Chem*. 2011 Jun-Jul; 129: 1759-1765.
12. Vermeir S, Hertog MLATM, Vankerschaver K, Swennen R, Nicolai BM, Lammertyn J. Instrumental based flavour characterisation of banana fruit. *Food Sci Technol-LEB*. 2009 Nov-May; 42: 1647-1653.
13. Wang J, Li YZ, Chen RR, Bao JY, Yang GM. Comparison of volatiles of banana powder dehydrated by vacuum belt drying, freeze-drying and air-drying. *Food Chem*. 2007 Jun-Feb; 104: 1516-1521
14. Daniali G, Jinap S, Hanifah NL, Hajeb P. The effect of maturity stages of banana on the formation of acrylamide in banana fritters. *Food Control*. 2013 Oct-Jan; 32: 386-391
15. 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.
16. Krokida MK, Philippopoulos C. Volatility of apples during air and freeze drying. *J Food Eng*. 2006 Jan-Apr; 73: 135-141

# CAMBIOS FÍSICOS DURANTE EL SECADO DE BANANO BOCADILLO (*Musa acuminata Colla*) MEDIANTE LA TÉCNICA DE VENTANA DE REFRACTANCIA

PHYSICAL CHANGES DURING THE DRYING OF “BOCADILLO BANANA” (*Musa acuminata Colla*) USING THE TECHNIQUE OF REFRACTANCE WINDOW

Angela M. ORMAZA Z.<sup>1\*</sup>; Alfredo A. AYALA-APONTE<sup>2</sup>; Karen J. ORTEGA K.<sup>3</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** El secado con ventana de refractancia (VR) hace uso de la energía infrarroja del agua, de esta forma los tiempos de proceso se reducen y se alcanzan bajas temperaturas en el producto, reduciendo el daño térmico del producto seco. Además permite la deshidratación de líquidos y de sólidos, así como de componentes termolábiles con actividad vitamínica y antioxidante conservada luego del secado. Por estas razones, el secado con ventana de refractancia se ha convertido en una técnica innovadora que permite la deshidratación de alimentos termosensibles como las frutas y presenta la ventaja de reducir las pérdidas de calidad a nivel fisicoquímico y estructural en diversidad de alimentos deshidratados. Incluso el secado con VR ha sido comparado con la liofilización con excelentes resultados, en cuanto a la calidad lograda en el producto final. **Objetivos:** El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto del secado por VR sobre los cambios físicos en muestras de banano bocadillo deshidratado. **Métodos:** Se realizó el secado mediante VR empleando agua como medio calefactor a 70, 80 y 90°C en muestras de banano bocadillo. Se evaluaron descriptores físicos de calidad como el cambio de volumen ( $\Delta V\%$ ), actividad de agua ( $a_w$ ), índice de rehidratación (IR), cinéticas de secado, color ( $L^*$ ) y dureza. **Resultados:** A mayor temperatura de secado se logró menor tiempo de secado. El máximo cambio de volumen logrado fue del 34,31% ( $\pm 1412$ ) a 90°C. La  $a_w$  registrada al final de los tratamientos alcanzó valores entre 0.3414 y 0.4035. A menor temperatura de secado (70°C) las

muestras presentaron menor encogimiento y mayor claridad, dureza e IR. **Conclusiones:** Las muestras secadas a 70°C mostraron mayores beneficios en aspectos de calidad como el color, volumen, dureza y rehidratación, debido a que las bajas temperaturas son un factor determinante para mejorar las variables físicas relacionadas con la calidad del banano bocadillo.

**Palabras clave:** Dureza, color, secado, banano bocadillo.

## ABSTRACT

**Background:** Refractance window drying (RW) makes use of infrared energy from water, thus the processing times are reduced and low temperatures are reached in the product, reducing thermal damage of the dried product. It also allows dehydration of liquids and solids, as well as thermo labile components with vitamin and antioxidant activity retained after drying. For these reasons, drying with refractance window has become an innovative technique that allows dehydration thermo sensitive foods like fruits and has the advantage of reducing loss of quality at physicochemical and structural level in dehydrated food diversity. Even WR drying has been compared to lyophilization with excellent results as to the quality achieved in the final product. **Objectives:** The aim of this study was to evaluate the effect of WR drying on physical changes in samples of “bocadillo banana” dried. **Methods:** Drying was performed using WR using water as heating means at 70, 80 and 90°C in samples of “bocadillo banana”. Physical

1 Candidata a doctora en Ingeniería Univalle. Profesora auxiliar. Universidad de Caldas. Facultad de ingeniería. Departamento de Ingeniería.

2 Ph.D. Ciencia y tecnología de los alimentos. Profesor asociado. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Alimentos.

3 Ingeniera de alimentos Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Alimentos.

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

quality descriptors as the volume change ( $\Delta V\%$ ), water activity ( $w_a$ ), rehydration rate (RR) drying kinetics, color ( $L^*$ ) and hardness were evaluated.

**Results:** At higher temperature drying less drying time was achieved. The maximum change in volume achieved was 34.31% ( $\pm 1.412$ ) at 90°C. The  $w_a$  reported at the end of the treatments reached values between 0.3414 and 0.4035. A lower drying temperature (70°C) samples showed less shrinkage and clarity, hardness and RR. **Conclusions:** The samples dried at 70°C showed greater gains in quality aspects such as color, volume, hardness and rehydration, because low temperatures are a key factor to improve the physical variables related to quality of banana sandwich.

**Keywords:** Hardness, color, drying, “bocadillo banana”.

## INTRODUCCIÓN

El banano bocadillo es un fruto exótico, de sabor dulce, rico en fibra y de alta disponibilidad en Colombia, que constituye un fruto promisorio para el desarrollo de alimentos deshidratados que a la vez es una alternativa de conservación y de pérdidas poscosecha del fruto (1). El secado de frutas mediante VR fue desarrollada por MCD Technologies Inc. (Tacoma, Washington, USA), generando una tecnología novedosa para secar eficientemente alimentos sensibles al calor utilizando la energía infrarroja del agua. Esta técnica no permite que el producto alcance temperaturas altas, para evitar sabor a quemado y oxidación del producto, además no genera subproductos ni emisiones que contaminen el ambiente y contribuye al ahorro energético debido a su alta velocidad de secado (2,3). El objetivo de este trabajo fue evaluar las cinéticas de deshidratación y cambios físicos (IR, color ( $L^*$ ), dureza,  $a_w$  y volumen) durante el secado de banano bocadillo por el método de VR.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Bananos bocadillo (*Musa acuminata Colla*) con °Brix entre 20-24 se cortaron con dimensiones de 23mm de diámetro y 2mm de espesor. Las muestras se secaron con la técnica de VR empleando agua a 70, 80 y 90°C en un equipo a escala piloto (Diseñado en La Universidad del Valle). La variable de proceso fue la temperatura de secado con tres niveles y las variables de respuesta fueron, contenido de humedad (CH), IR, Volumen,  $L^*$ ,  $a_w$  y dureza. El

CH se midió a diferentes tiempos de secado hasta 300 min, empleando el método AOAC 20.013 (4). El volumen de las muestras se midió al inicio y al final del secado, se usó un calibrador digital (Bull Tols, USA) y el  $\Delta V(\%)$  se determinó mediante la Ecuación 1). La  $a_w$  se midió con un Decagón (CX-1, USA) a 25°C. El IR se determinó empleando muestras al final del secado con un contenido de humedad (b.h) que varió entre 8 y 10 % b.h. Las muestras se sumergieron en un recipiente con agua destilada con una relación de 3:1 a 28°C, a diferentes tiempos de rehidratación (1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20, 25 y 30 min); en cada tiempo se extrajeron muestras del baño, se les retiró el exceso de agua superficial con toallas de papel y se pesaron para determinar el agua ganada (5). El IR se calculó con la Ecuación 2. La dureza (N) se determinó en muestras al final del secado, empleando un texturómetro (EZ Test, Shimadzu, USA); se usó una sonda cilíndrica de cara plana de 3 mm de diámetro para fracturar las muestras secas a una velocidad del cabezal de 50 mm/min. La luminosidad ( $L^*$ ) se midió al inicio y al final del secado (CH entre 8-10%, b.h) mediante un HunterLab (USA), empleando el iluminante D65 y el observador 10°. 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% ( $p < 0.05$ ).

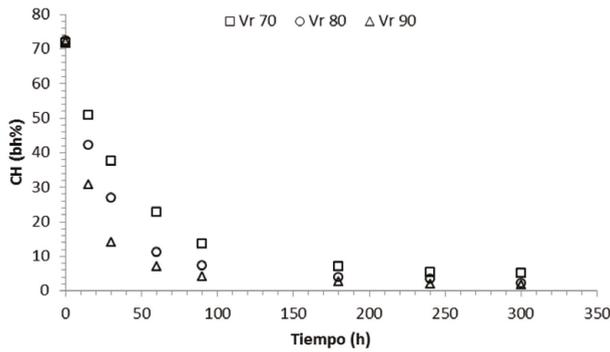
$$\Delta V\% = \frac{V_0 - V_f}{V_0} \times 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$IR = \frac{\text{peso muestra rehidratada}}{\text{peso muestra seca}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde,  $V_0$  y  $V_f$  es el volumen inicial y final de la muestra, respectivamente. Los resultados se evaluaron mediante el ANOVA con el programa Statgraphics Centurion XVI.

## RESULTADOS

La figura 1 representa las curvas de secado de rodajas de banano bocadillo por VR. El CH inicial de las muestras de banano fue de  $72.2 \pm 0.5$  % b.h. Puede notarse que a mayor temperatura de secado la salida del agua es más rápida, de otra manera se puede decir que las muestras alcanzan un determinado CH en menor tiempo de secado ( $p < 0,05$ ). Las muestras secadas a 80 y 90°C alcanzaron un CH entre 8,064-10,01% b.h antes de los 90 min de secado.



**Figura 1.** Cinéticas de secado mediante VR de rodajas de banana bocadillo.

La tabla 1 muestra los valores de  $\Delta V$  y de la  $a_w$  durante el secado por VR. Se evidencia mayor cambio de volumen o encogimiento de las muestras con el incremento de temperatura de secado ( $p < 0,05$ ), alcanzando el tratamiento a  $90^\circ\text{C}$  el mayor cambio de volumen en 34.31%. La  $a_w$  disminuyó significativamente ( $p < 0,05$ ) con el tiempo de secado, alcanzando valores entre 0.3414 y 0.4035.

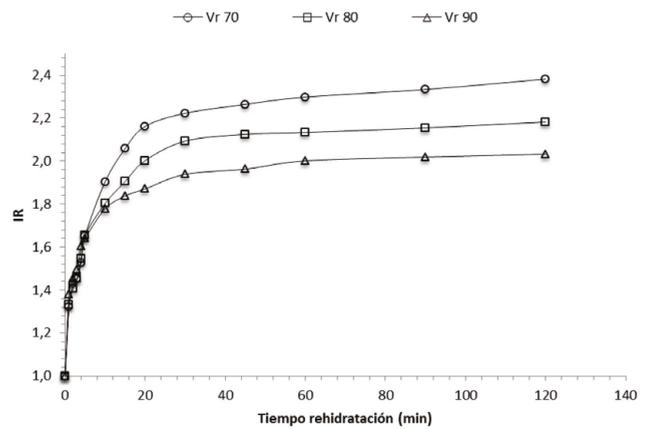
**Tabla 1.** Cambio de volumen y  $a_w$  de muestras de banana bocadillo deshidratadas mediante VR.

VR( $^\circ\text{C}$ )	$\Delta V\%$		$a_w$	
	Inicio	Final	Inicio	Final
70	0,0	31,373 $\pm$ 0,1138	0,8801 $\pm$ 0,0044	0,4035 $\pm$ 0,0144
80	0,0	32,696 $\pm$ 0,1412	0,8817 $\pm$ 0,0058	0,3622 $\pm$ 0,0424
90	0,0	34,317 $\pm$ 0,0903	0,8821 $\pm$ 0,0052	0,3414 $\pm$ 0,0095

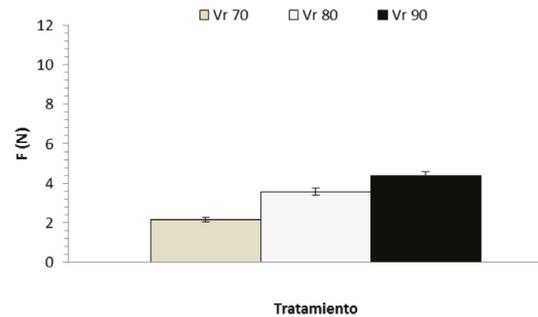
La figura 2 muestra la variación del IR de muestras secadas por VR a 70, 80 y  $90^\circ\text{C}$ . Se observa que las muestras secadas a menor temperatura mostraron significativamente ( $p < 0,05$ ) mayor capacidad de rehidratación.

La dureza de las muestras deshidratadas a 70, 80 y  $90^\circ\text{C}$  se presentan en la figura 3. Se observa un aumento significativo ( $p < 0,05$ ) de la dureza de la muestra con el incremento de la temperatura de secado. La dureza de las muestras secadas en las tres temperaturas fue inferior a 5N.

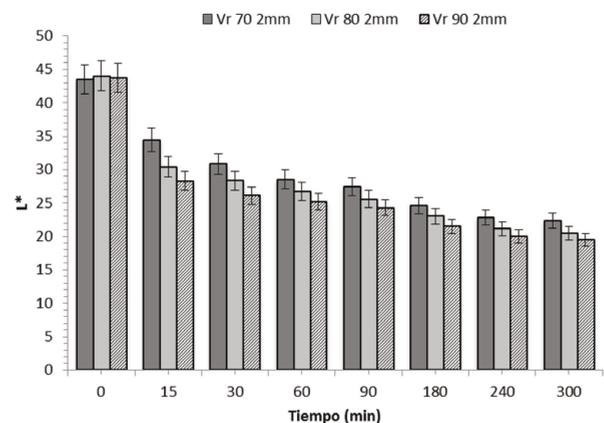
La figura 4, hace referencia a  $L^*$  de las muestras deshidratadas por VR, observándose en todos los tratamientos disminución significativa ( $p < 0,05$ ) de  $L^*$  durante el proceso de secado. De igual manera se observa que  $L^*$  disminuye a mayor temperatura de secado ( $p < 0,05$ ).



**Figura 2.** IR de rodajas de banana bocadillo secadas por VR.



**Figura 3.** Dureza de muestras de banana bocadillo secadas por VR.



**Figura 4.** Luminosidad de muestras de banana bocadillo secadas por VR.

## DISCUSIÓN

Los menores tiempos de secado a mayor temperatura de proceso mostrados en la figura 1 son atribuidos al incremento de la transferencia de calor, ocasionando la aceleración en la migración de las

moléculas de agua desde el interior de las rodajas de banano; esto debido al mayor gradiente de temperatura entre las muestras y el agua de calefacción. De acuerdo a Ocoró et al., (6), este comportamiento se debe al incremento de la transferencia de calor por acción de la energía infrarroja del agua además de la disminución del consumo energético del proceso. Similares resultados se han observado en banano deshidratado con aire caliente (7,8), mango y zapallo secados por VR (9,10).

El  $\Delta V$  o encogimiento de las muestras tratadas por VR fue superior con el aumento de temperatura de secado, debido posiblemente a un colapso interno de la matriz celular por efecto de salida rápida del agua a mayor temperatura (11); este comportamiento indica un daño estructural del producto. La  $a_w$  al final del secado alcanzó valores inferiores a 0.4, lo que indica la alta estabilidad de la fruta deshidratada contra ataque de microorganismos y reacciones fisicoquímicas adversas durante su almacenamiento. Resultados similares fueron reportados en el secado de mango y zapallo (9) y (10) respectivamente.

La disminución de la capacidad de rehidratación a mayor temperatura (Figura 2), está asociada a mayores daños estructurales por efecto del tratamiento térmico aplicado. Un comportamiento similar fue reportado por algunos investigadores (12). La disminución en la capacidad de rehidratación es un proceso irreversible debido a la ruptura celular y desconfiguración estructural, causadas por el tratamiento térmico y el encogimiento de la muestra (13). Es posible que la pérdida de volumen (Tabla 1) ocasione disminución del IR, disminuyendo la porosidad y en consecuencia existan pocos espacios que puedan ocuparse nuevamente por el agua.

El incremento de la dureza en las muestras secas puede estar atribuido a que al incrementarse la temperatura se genera una estructura más rígida y compacta, posiblemente por la rápida salida del agua y mayor encogimiento del producto. Otros estudios reportaron este mismo comportamiento como en manzana (14) y en champiñones (15).

La disminución de la luminosidad indica una degradación de los pigmentos en las muestras por el aumento de la temperatura, por tanto se aumenta su predisposición a ser alterados térmicamente por reacciones de pardeamiento no enzimático y caramelización (16). De acuerdo a lo anterior las muestras secadas a 70°C mostraron menor degradación de sus pigmentos, asociados a menor pardeamiento o muestras menos oscuras.

## CONCLUSIONES

La técnica de VR es una metodología de alto potencial para el secado de bananito, ya que emplea tiempos cortos de secado con apropiadas características físicas asociadas a su calidad. Se evidenció que a menor temperatura de secado se benefician los aspectos de calidad como el color, volumen, dureza y rehidratación, debido a que las bajas temperaturas son un factor determinante en las variables físicas de calidad más relevantes en frutas deshidratadas.

## REFERENCIAS

1. Grupo Eurobanan. Frutas tropicales y exóticas. (Internet). Madrid, España: 2010 (Actualizado 6 de Julio de 2011; citado 10 de Noviembre de 2011). Disponible en: <http://www.eurobanan.com/index.php?pagina=categorias>.
2. Nindo CI, Tang J. Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. *Dry Technol.* 2007 Feb-Jun; 25:37–48.
3. MCD Technologies, Inc. Brochure: Refractance Window® dryers and evaporators. California, U.S.A. 2010 (Actualizado 31 de Agosto de 2010; citado 18 de Diciembre de 2015). Disponible en: <http://www.mcdtechnologiesinc.com/dryer.htm>.
4. AOAC. Official Methods of Analysis. Moisture determination. Method 20.013. 13th ed. Washington DC: 1980. 361-362 p.
5. Marques LG, Ferreira MC, Freire JT. Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra* L.). *Chem. Eng. Process.* 2007 Mar-Apr; 46:451–457.
6. Ocoró-Zamora MU, Ayala-Aponte AA. Evaluation of the refractance window™ technique on drying of papaya (*Carica papaya* L.) puree. *Vitae.* 2010 Ene-Abr; 19(1): S72-S74.
7. Corzo O, Bracho N, Pereira A, Vásquez A. Weibull distribution for modeling air drying of coroba slices. *Food Sci Technol-LEB.* 2008 Jul-Jan; 41:2023-2028.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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
12. Marques LG, Prado MM, Freire JT. Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. *Food Sci Technol.* 2009 Dec-Feb; 42(7):1232-1237.
13. Krokida MK, Philippopoulos C. Rehydration of dehydrated foods. *Dry Technol.* 2005 Sep-Apr; 23(4): 799-830.
14. Vega-Gálvez A, Ah-Hen K, Chacana M, Vergara J, Martínez-Monzó J, García-Segovia P, Lemus-Moncada R, Di Scala K. Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. Granny Smith) slices. *Food Chem.* 2012 Jun-Oct; 132(1): 51-59.
15. Kotwaliwale N, Bakane P, Verma A. Changes in textural and optical properties of oyster mushroom during hot air drying. *J Food Eng.* 2007 Dec-Feb; 78(4): 1207-1211.
16. 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.

# EXTRACCIÓN DE MANTECA DE CACAO A PARTIR DE DOS HÍBRIDOS DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)

COCOA BUTTER EXTRACTION FROM TWO HYBRIDS OF COCOA (*Theobroma cacao* L.)

Camilo VILLEGAS Ing.<sup>1\*</sup>, William ALBARRACÍN Ph.D.<sup>2</sup> Manuela CORAL<sup>3</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** La manteca de cacao es considerada el producto de mayor importancia de los subproductos del cacao, debido a las propiedades funcionales que son de gran importancia en la industria alimentaria. **Objetivos:** La manteca de cacao se extrajo de dos híbridos de cacao CCN51 y TSH565. **Métodos:** La extracción de manteca de cacao se llevó a cabo mediante técnica Soxhlet, se midieron las propiedades fisicoquímicas tales como índice de iodo, índice de saponificación, punto de fusión e índice de refracción, además, se determinó el perfil de ácidos grasos presentes en estas mantecas mediante GC-MS. **Resultados:** Los resultados obtenidos no presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0,05$ ) entre las mantecas de CCN51 y TSH565 con respecto al índice de iodo, punto de fusión e índice de refracción, sin embargo, se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) para el índice de saponificación. No obstante, se lograron identificar el ácido palmítico y el ácido oleico en las dos muestras. **Conclusiones:** En general no hay diferencias composicionales entre las mantecas extraídas.

**Palabras clave:** Extracción Soxhlet, GC-MS, manteca de cacao, ácidos grasos, propiedades fisicoquímicas.

## ABSTRACT

**Background:** Cocoa butter is considered like the most important product of cocoa sub-products due to its functional properties which are great importance for the food industry. **Objectives:** Cocoa butter is extracted from two cocoa hybrids CCN51 and TSH565. **Methods:** Extraction of cocoa butter

is carried out by Soxhlet, physicochemical properties such as iodine, saponification, refractive index and melting point were measured, additionally, fatty acid profile is determined by GC-MS. **Results:** The results did not show statistically significant differences ( $P > 0,05$ ) between CCN51 and TSH565 butter regarding iodine, refractive index and melting point, however, statistically significant differences ( $P < 0,05$ ) exist between CCN51 and TSH565 at saponification index. Nevertheless, palmitic and oleic acids are identified. **Conclusions:** In general, no physicochemical and compositional properties differences between extracted cocoa butters.

**Keywords:** Soxhlet extraction, GC-MS, cocoa butter, fatty acids, physical and chemical properties.

## INTRODUCCIÓN

La manteca de cacao es considerada el producto de mayor importancia de los subproductos del cacao, debido a las propiedades funcionales que son de gran importancia en la industria alimentaria (1, 2). Para la obtención de esta se ha tratado de utilizar métodos como prensa mecánica, en torta, extracción con disolventes como hexano, fluidos supercríticos, entre otros. Donde la extracción con fluidos supercríticos es la más eficiente (3). La manteca de cacao presenta una composición química única, responsable de sus atributos sensoriales. Los tipos de ácidos grasos y la posición o distribución de las moléculas de triglicéridos (TAG) determinan las propiedades físicas de la manteca de cacao y sus características generales para uso industrial. Los principales ácidos grasos que se encuentran en la manteca de cacao son los ácidos palmítico, esteárico y oleico (4, 5). El propósito de esta investigación fue determinar las diferencias entre las propiedades

<sup>1</sup> Ingeniero Agroindustrial Universidad de Nariño, Pasto-Colombia.

<sup>2</sup> Docente Investigador Universidad de Nariño, Pasto-Colombia.

<sup>3</sup> Estudiante de Ingeniería Agroindustrial Universidad de Nariño, Pasto-Colombia.

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

fisicoquímicas y la composición de ácidos grasos existentes en las mantecas extraídas de dos híbridos de cacao CC51 y TSH565 cultivados en el Alto Patía del Departamento de Nariño.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los híbridos de cacao (CCN51 y TSH565) fueron proporcionados por la finca el Limón ubicada en el corregimiento del Ejido del municipio de Policarpa. Los granos se recibieron con una fermentación previa y una humedad de 12%.

### Extracción de manteca

Se procesó 30 g por cada híbrido de cacao. La extracción se realizó mediante técnica Soxhlet. La recuperación del solvente se llevó a cabo por destilación en un evaporador rotatorio (Eyela Oil Bath OSB-2000).

### Caracterización fisicoquímica de la manteca

Se determinaron los siguientes parámetros: Índice de iodo e índice de saponificación (6), índice de refracción (7), y el punto de fusión (8).

### Determinación de ácidos grasos por cromatografía de gases

El análisis de ácidos grasos presentes en la manteca de cacao fue realizado empleando un cromatógrafo de gases (Shimadzu GC-17.A), con una columna DB5 y detector FID. Se utilizaron patrones de metil ésteres de ácidos grasos para su respectiva comparación.

#### Análisis estadístico

La información obtenida por triplicado fue analizada por el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI.II.

## RESULTADOS

### Caracterización fisicoquímica de la manteca

**Tabla 1.** Propiedades fisicoquímicas de la manteca de cacao extraída de los híbridos de cacao.

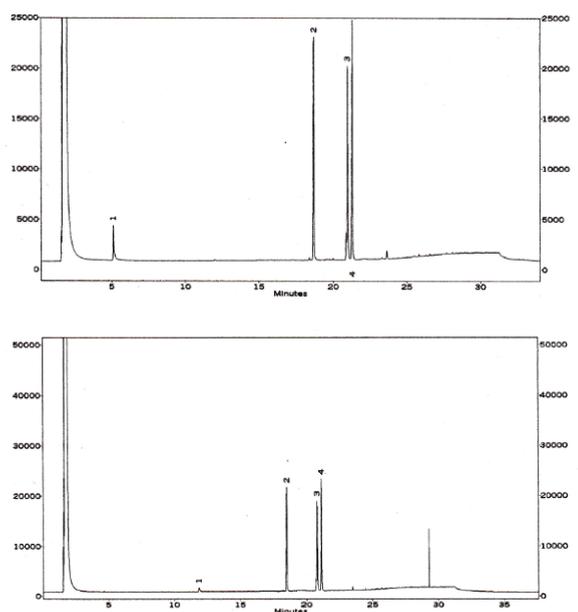
Híbrido	Índice de Iodo gI <sub>2</sub> /100g	Índice Saponificación mg KOH g-1	Punto de Fusión (°C)	Índice Refracción
CCN51	33,8a	193,9a	36,3a	1,4580a
TSH565	34,4a	192,4b	36,7a	1,4539a

a, b, letras para indicar diferencias significativas, letras diferentes diferencias significativas (P<0,05).

El índice de iodo fue de 33,8 y 34,4 para CCN51 y TSH565 respectivamente como se evidencia en la Tabla 1. El ANOVA demostró que no existen diferencias significativas (P>0,05) entre los híbridos para dicho parámetro. El índice de saponificación para las muestras de manteca de cacao fue de 193,9 y 192,4 para CCN51 y TSH565 respectivamente. Se presentaron diferencias estadísticamente significativas (P<0,05). El punto de fusión de la manteca de cacao tuvo valores de 36,3 y 36,7 para CCN51 y TSH565 respectivamente, no se presentaron diferencias significativas. El promedio del índice de refracción para las dos muestras de manteca fue de 1,4580 y 1,4539 para los híbridos CCN51 y TSH565 respectivamente.

### Identificación de ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos nos muestra que tanto para CCN51 y TSH565 se identificaron el ácido oleico, palmítico y palmitoleico en mayor proporción, además también se lograron identificar el ácido n-undecanoico y caprílico para CCN51 y TSH565 respectivamente tal como se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Cromatogramas para la identificación del perfil de ácidos grasos presentes en las muestras de manteca de cacao (Izquierda CCN51, derecha TSH565).

**Tabla 2.** Ácidos grasos presentes en la manteca de cacao extraída de los híbridos de cacao CCN51 y TSH565.

Pico	Identificación		Cantidad relativa %	
	CCN 51	TSH 565	CCN 51	TSH 565
1	n-undecanoico ME	Caprífico ME	2.125	7.044
2	Palmitoleico ME	Palmitoleico ME	34.948	29.56
3	Palmítico ME	Palmítico ME	25.123	30.601
4	Oleico ME	Oleico ME	37.804	32.795

## DISCUSIÓN

### Caracterización fisicoquímica de la manteca

Algunos autores reportaron en su investigación que el índice de iodo del extracto de manteca de cacao que obtuvieron fue de 33,2 datos que son similares a los presentados en esta investigación (2). Por otro lado, los índices de saponificación de la manteca cacao extraída de los híbridos son similares a los presentados por diferentes autores los cuales indican que esta alrededor de 193,74 (1). Con respecto al índice de refracción se encontró que los datos oscilan entre 1,4572 a 1,4580 (9) sustentando los resultados obtenidos en esta investigación.

### Identificación de ácidos grasos

Algunos autores indican que en la manteca de cacao se encuentran principalmente el ácido palmítico, oleico y esteárico (1, 10, 11). A diferencia de los resultados que se reportan en la literatura sobre la composición de ácidos grasos de la manteca de cacao en esta investigación se identificó el ácido palmitoleico como uno de los componentes mayoritarios tal y como se observa en la Tabla 2. El ácido graso que se encontró con mayor proporción en la manteca fue el ácido oleico con un porcentaje relativo del 31,804 y 32,795 para CCN51 y TSH565 respectivamente.

## CONCLUSIONES

Con la realización de esta investigación se determinó que entre las propiedades fisicoquímicas de la manteca de cacao extraída de los híbridos CCN51 y TSH565 cultivados en el corregimiento del ejido municipio de Policarpa no hay diferencias significativas. Además, se identificó que tanto para la manteca de CCN51 y TSH565 los compuestos mayoritarios fueron los mismos, entre los que se encontraron los ácidos oleico, palmítico y palmitoleico. Por otro lado, en la cantidad relativa expresada en % de los diferentes ácidos grasos identificados si hubo diferencias entre los híbridos que se utilizaron para la extracción de manteca de cacao.

## REFERENCIAS

- Liendo R, Padilla F, Quintana A. Characterization of cocoa butter extracted from Criollo cultivars of *Theobroma cacao* L. *Food Research International*. 1997; 30 (9): 727-731.
- Padilla F, Liendo R, Quintana A. Characterization of cocoa butter extracted from hybrid cultivars of *Theobroma cacao* L. *Alan*. 2000; 50 (2): 200-205.
- Asep E, Jinap S, Tan T, Russly A, Harcharan S, Nazimah S. The Effects of Particle Size, Fermentation and Roasting of Cocoa Nibs on Supercritical Fluid Extraction of Cocoa Butter. *Journal of Food Engineering*. 2008; 85: 450-458.
- Ribeiro A, Da Silva R, Gioielli L, Gonçalves M, Grimaldi R, Gonçalves LA, Guenter T. Physicochemical properties of Brazilian cocoa butter and industrial blends. Part I: Chemical composition, solid fat content and consistency. *Grasas y Aceites*. 2012; 63: 79-88.
- Saldaña M, Mohameda R, Mazzafera P. Extraction of cocoa butter from Brazilian cocoa beans using supercritical CO<sub>2</sub> and ethane. *Fluid Phase Equilibria*. 2002; 194/197: 885-894.
- Herrera C, Bolaños N, Lutz G. Química de Alimentos: Manual de laboratorio. Primera Edición. Editorial de la Universidad de Costa Rica; 2003. 140p.
- Covenin. Norma No702: Aceites y Grasas Vegetales. Determinación de Índice de Refracción, Comisión Venezolana de Normas Industriales, Caracas. 1980.
- AOAC. Official Methods of Analysis. 15th edition, Association of Official Analytical Chemists. Washington DC. 1990.
- Chaiseri S, Dimick P. Lipid and hardness characteristics of cocoa butters from different geographic regions. *J Am Oil Chem Soc*. 1989; 66: 1771-1780.
- Berbert P. Determinação do teor ácidos graxos e características físicas das gorduras das sementes do *Theobroma gradiflora* L. e do *Theobroma bicolor* L. comparação com a gordura do *Theobroma cacao* L. *Revista Theobroma*. 1981; 11: 91-98.
- Carpenter D, Hammerstone JrL, Rommanczyk Jr, Martin A. Lipid composition of *Herrania* and *Theobroma* seeds. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 1994; 71: 845-851.

# HINCHAMIENTO DE EMPAQUES DURANTE EL PROCESO DE ALMACENAMIENTO EN MAP DE ARVEJA (*Pisum Sativum* L.) VARIEDAD OBONUCO ANDINA

PACKAGE SWELLING DURING MAP STORAGE PROCESS OF PEA (*pisum sativum* l)  
VARIETY OBONUCO ANDINA

Alvaro ALVEIRO VELASCO Ing.<sup>1</sup>, William ALBARRACÍN Ph.D.<sup>2\*</sup>, Oswaldo OSORIO Ph.D.<sup>2</sup>

## RESÚMEN

**Antecedentes:** La aplicación del envasado en atmósferas modificadas MAP, conserva con éxito la calidad organoléptica de los alimentos y prolonga el período de almacenamiento. **Objetivos:** el objetivo de la investigación fue evaluar la conservación y vida útil de arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Obonuco Andina envasada en atmósfera modificada. **Materiales y métodos:** se emplearon dos mezclas de gas: 5.21 % O<sub>2</sub>; 15.70 % CO<sub>2</sub> (G1), 10.88 % O<sub>2</sub>; 10.68 % CO<sub>2</sub> (G2) en balance con N<sub>2</sub> y una atmósfera normal (aire G3) como control. **Resultados:** Las muestras tratadas con MAP y almacenadas a 18°C presentaron el estallido de los empaques a los 5 días de almacenamiento, así como una tasa respiratoria más elevada. **Conclusiones:** El almacenamiento a altas temperatura no es recomendable para el uso de MAP, aunque puede emplearse empaques con permeabilidades selectivas que mejoren el comportamiento durante el almacenamiento.

**Palabras clave:** Conservación, almacenamiento, efecto, deterioro.

## ABSTRACT

**Background:** Implementation of MAP packaging in modified atmospheres, Success keeps the organoleptic quality of food and prolongs the period in Storage. **Objective:** the aim of the research was to evaluate the storage and shelf life of pea (*Pisum sativum* L.) variety Obonuco Andean packaged in modified atmosphere **Methods:** using two gas mixtures : 5.21 % O<sub>2</sub> ; 15.70% CO<sub>2</sub> ( G1 ) , 10.88 % O<sub>2</sub> ; 10.68 % CO<sub>2</sub> ( G2 ) in balance with N<sub>2</sub> and

normal atmosphere ( air G3 ) as a control. **Results:** MAP treated samples and stored at 18 ° C showed the outbreak of packaging within 5 days of storage, as well as a higher respiratory rate. **Conclusions:** Storage at high temperature is not recommendable for MAP usage, but selective permeability package can be used in order to to improve the behavior during storage.

**Keywords:** Preservation, storage, effect, impairment

## INTRODUCCIÓN

La arveja (*Pisum sativum* L.) es de gran importancia en la nutrición humana como una fuente alternativa de proteínas, carbohidratos, vitaminas, minerales y otros nutrientes (Elwan *et al.*, 2015). Esta leguminosa es muy aceptada gracias a su sabor y consistencia, características que aporta a las comidas con las que es preparada (1). Presenta un alto contenido proteico 6,7% en verde y 24% en grano seco (2). En Colombia es uno de los cultivos hortícolas más importantes, siendo su consumo principalmente en fresco (3). Uno de los principales productores de arveja a nivel nacional es el departamento de Nariño, con una participación cercana al 50%, seguido de Cundinamarca con el 20% y Boyacá con el 16% de los cuales suman más del 80% de la producción en el país (1, 2).

La arveja es una verdura muy perecedera con una alta tasa de respiración, clasificándose como una verdura no climatérica, además puede ser refrigerada y almacenada a temperaturas cerca de 0°C para extender su vida útil (4).

<sup>1</sup> Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Nariño.

<sup>2</sup> Docente Investigador, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Nariño.

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

La calidad sensorial, nutricional y microbiológica de frutas y verduras puede ser mantenida mediante el desarrollo de sistemas de envasado que permiten prolongar la vida útil de productos frescos, sin el empleo de agentes químicos o de tratamientos térmicos (5, 6) valid for packages of constant volume. The model should take into account the dependency of the respiration rate with the gas composition and the existence of a hydrodynamic flow through the microperforations. The evolution of the gas composition inside the package predicted by the model has been compared with the results of experiments conducted at 4 °C with minimally processed peach ('Andross' and 'Calante' cultivars. De esta manera el almacenamiento a temperatura baja en combinación con el envasado en atmósfera modificada (MAP), reduce la tasa de respiración y retrasa la tasa de producción de etileno y el ablandamiento, además ralentiza los cambios composicionales asociados con la maduración y senescencia (7). Esta tecnología consiste en la extracción del aire del interior del envase y su sustitución por otro gas diferente de acuerdo a los requerimientos del producto (8). Se crea una atmósfera modificada cuya composición inicial no puede controlarse a lo largo del tiempo (9), debido a la difusión de los gases dentro y fuera del producto, la permeabilidad dentro y fuera del paquete y los efectos de respiración del alimento y el metabolismo microbiano (10). La reducción de oxígeno y finalmente un incremento del dióxido de carbono, permite extender la vida útil, en relación con el producto no transformado, y el mantenimiento en el tiempo de sus características cualitativas globales (11). Un inconveniente asociado a esta técnica se presenta cuando los productos tienen tasas respiratorias muy altas, ya que la atmósfera inicial se modifica y, dependiendo del proceso respiratorio, pueden presentarse una acumulación excesiva de gases.

El presente trabajo busca analizar el proceso de almacenamiento de la arveja variedad Obonuco Andina, bajo condiciones de MAP, en especial, el proceso de hinchamiento y estallido de las bolsas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material vegetal

Se recolectaron vainas frescas en el período adecuado de madurez en granjas del municipio de Puerres-Nariño (temperatura promedio 13° C y altitud de 2.775 msnm), se escogieron vainas libres

de daño y pérdida de color y posteriormente fueron llevadas al laboratorio de Investigación en Conservación y Calidad de Alimentos de la Universidad de Nariño donde se realizó su análisis.

### Procedimiento experimental

Se desgrano las vainas de arveja dejando fuera de la investigación todos los granos dañados, con plagas, enfermedades, no desarrollados y que presentaban un tamaño inferior a 0,9 cm de diámetro. El material vegetal se desinfecto por el método de aspersión hasta cubrir todos los granos con una solución agua-hipoclorito de sodio (5,2% - NaClO) a 50 ppm. El material del envase utilizado fue polietileno de baja densidad (LDPE)/poliamida (nylon) de 65µ de espesor con dimensiones de 18 x 20 cm.

### Diseño experimental y análisis de datos

Se utilizó un diseño experimental bajo la metodología de diseño unifactorial categórico completamente al azar con tres repeticiones, con el fin de determinar el efecto de la atmósfera modificada sobre las variables respuesta. Los resultados se expresaron como media más o menos la desviación estándar. Los gráficos fueron realizados con ayuda del programa Sigma Plot 10 (SPSS, USA), mientras que el análisis de resultados se realizó con el programa STATGRAPHICS Centurion XVI versión 16.1.03, donde se realizó el análisis de varianza y prueba de comparación mediante la LSD de Fisher a un 5% de nivel de significancia.

Se evaluaron dos tipos de concentraciones de gases las cuales fueron: G1 5.21% O<sub>2</sub> - 15.70% CO<sub>2</sub> y G2 10.88% O<sub>2</sub> -10.68% CO<sub>2</sub> en balance con N<sub>2</sub>. Para el envasado se utilizó una envasadora SAMMIC SV 520SD, inyectando el 70% de la mezcla de gas en relación al tamaño del empaque, realizando un proceso de vacío compensado a una presión de 1,5 bar. Se utilizó como tratamiento control arveja envasada con las condiciones de atmósfera normal (21% O<sub>2</sub> - 0.04% CO<sub>2</sub> - 78% N<sub>2</sub> y 0.96% de otros gases). Los ensayos fueron desarrollados a dos diferentes temperaturas de almacenamiento: 18°C y 4 °C

## RESULTADOS

### Hinchamiento de los empaques

En la figura 1 se muestra que el hinchamiento presentado en los empaques para los tratamientos G2 a temperatura de 18°C a los 5 días de ser alma-

cenado, donde se observa como hubo un aumento drástico de su volumen excediendo la capacidad del envase. Las muestras almacenadas a 4°C no presentaron un hinchamiento del empaque hasta el día 12 de la investigación, aunque este no fue significativo ni causo el estallido de las bolsas

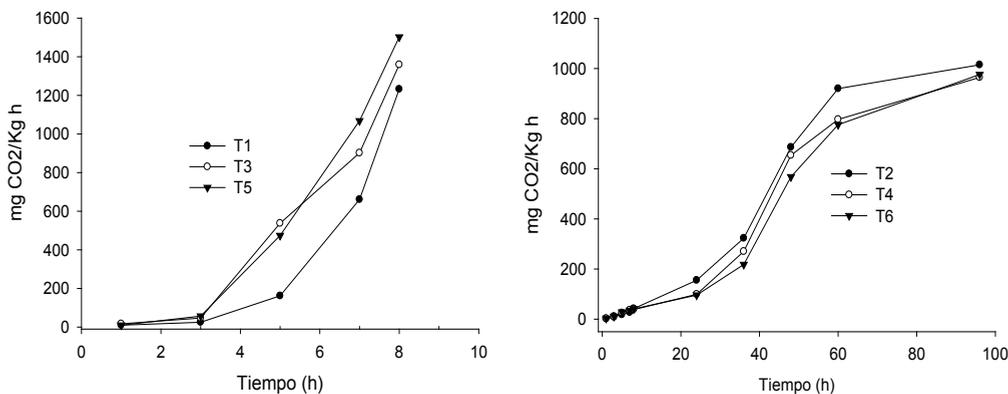


**Figura 1.** Arveja empacada y almacenada a 18°C a los 5 días de almacenamiento

### Índice de respiración

Debido a que el sensor automático Lutron GC-2028 CO<sub>2</sub> utilizado para medir este parámetro tiene un rango de medida hasta la saturación de 7000 ppm, y que los empaques de las muestras almacenadas a 18°C presentaron estallidos, no se pudo establecer el comportamiento de este parámetro durante todo el periodo de análisis correspondiente y por ende se determinó la concentración de CO<sub>2</sub> hasta alcanzar dicho rango.

En la figura 2 se muestra el comportamiento del índice de respiración de la arveja sometida a atmósfera modificada y sin modificación atmosférica a dos temperaturas de almacenamiento.



**Figura 2.** Índice de respiración acumulado en el tiempo. **a)** Tratamientos almacenados a 18 °C; **b)** Tratamientos almacenados a 4°C

Para los tratamientos empacados a 18°C, la tasa de producción de CO<sub>2</sub> es más alta con un incremento de más del 35%, mientras que los tratamientos almacenados a 4°C es del 18%, con una diferencia de tiempo entre el factor temperatura de 88 horas hasta alcanzar el rango de medida máximo del sensor.

### DISCUSIÓN

Los resultados concuerdan con lo reportado por otros autores, quienes afirma que los niveles de O<sub>2</sub> disminuyen y de CO<sub>2</sub> crecen a medida que aumenta la temperatura (12). Por otro lado los procesos metabólicos y reacciones biológicas se incrementan de dos a tres veces por cada 10 °C de aumento en la temperatura (13). De este modo se puede entender que el proceso de respiración indica el potencial de vida útil, siendo un factor de importante interés para la conservación.(14)

Algunos estudios han evaluado dos variedades de arveja envasadas en condiciones normales y almacenadas a temperatura de refrigeración (4°C) y ambiente (14°C), encontraron picos de producción de CO<sub>2</sub> elevados al segundo día de almacenamiento. Así mismo se ha observado que la tasa de respiración de la arveja en vaina en una atmósfera normal (aire) a 0, 10 y 20 °C es de 65, 129 y 254 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y empacadas en 3% O<sub>2</sub> a las mismas temperaturas es de 39, 94 y 194 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> respectivamente, demostrando que la tasa de respiración que presenta es muy alta (14).

En las investigaciones sobre MAP se habla de atmósfera modificada en equilibrio, asumiendo que este estado no se alcanza, el CO<sub>2</sub> y vapor de agua producida dentro del envase aumentan a medida que transcurre el tiempo. Es por esto que la reacción muestra que por cada mol de O<sub>2</sub> se producen una

de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O en forma de vapor. Este comportamiento debido a la modificación Activa ó “rápida” suministrada a los tratamientos a 18°C aceleró el proceso metabólico. Según lo expresan varios autores las condiciones dirigidas hacia el producto relentecerían este hecho, sin embargo se evidenció lo contrario.

Una vez cerrado el empaque, el O<sub>2</sub> remanente es consumido y el CO<sub>2</sub> producido cubre el material vegetal hasta alcanzar una atmósfera modificada en equilibrio, donde no debería existir cambios abruptos sobre el envase (13). Para obtener este comportamiento se debe tener en cuenta que vez envasado el producto se deben llevar a cabo dos procesos simultáneos: la respiración del producto y la permeación de los gases a través de la película plástica para alcanzar dicho equilibrio (10). Como el empaque utilizado en la investigación no permitió la salida de los gases producidos por la baja permeabilidad que presenta y la tasa de respiración del producto es demasiado alta, existió de manera excesiva la acumulación de CO<sub>2</sub>, que junto al vapor de agua y la baja permeación del empaque generan que se estalle.

## CONCLUSIONES

Aunque el empleo de Atmosferas Modificadas en el caso de la Arveja es una muy buena opción para mejorar la conservación de este producto, el empleo de empaques que sean impermeables a gases y vapor de agua genera una acumulación de estos que se ve reflejada en el hinchamiento y estallido de los empaques, más aun cuando se trabaja a temperaturas por encima de la refrigeración.

En este tipo de aplicaciones es necesario trabajar con empaques de permeabilidad selectiva, con los cuales generar un sistema de equilibrio entre la respiración de la arveja y la salida de los gases generados, con el objeto de controlar los procesos de acumulación al interior de los empaques.

## AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento y reconocimiento especial a los grupos de investigación BIOTA y TEA de la

Facultad de Ingeniería Agroindustrial, por su apoyo en el proyecto de donde surgió esta investigación

A la Vicerrectoría de Investigaciones, Posgrado y Relaciones Internacionales de la Universidad de Nariño, por la financiación del proyecto.

## REFERENCIAS

1. Sipsa. Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario [Internet]. Bogotá, Colombia: DANE. 2013. Disponible en: <http://www.dane.gov.co/index.php/agropecuario/sistema-de-informacion-de-precios-del-sector-agropecuario-sipsa>.
2. Cerón AF, Latorre LI, Bucheli AM, España DF, Osorio O, Garcés LF. Determinación de constantes de velocidad de rehidratación y cambios sobre algunas propiedades físicas en semillas de arveja (*Pisum sativum* L.). Lasallista de Investigación. 2015; 12, 21–32.
3. Padilla TLG, Zurita VJU. Assessment of wax coatings in postharvest preservation of the pea (*Pisum sativum* L.) var. Santa Isabel. Agronomía Colombiana. 2015; 33(1), 84–91.
4. Kader AA. Postharvest biology and technology: an overview and modified atmosphere during transport and storage. Postharvest Technology of Horticultural Crops. 1992; 3311, 15–17.
5. Corbo MR, Speranza B, Campaniello D, Amato DD, Sinigaglia M. Fresh-cut fruits preservation : current status and emerging technologies. Technology and Education Yopcs in Applied Microbiology and Microbial Miotrchnology. 2010; 1143–1154.
6. González-Buesa J, Ferrer-Mairal A, Oria R, Salvador ML. A mathematical model for packaging with microperforated films of fresh-cut fruits and vegetables. Journal of Food Eng. 2009; 95(1), 158–165.
7. Pariasca JAT, Miyazaki T, Hisaka H, Nakagawa H, Sato T. Effect of modified atmosphere packaging (MAP) and controlled atmosphere (CA) storage on the quality of snow pea pods (*Pisum sativum* L. var. *saccharatum*). Postharvest Biol and Tec. 2001; 21, 213–223.
8. Martín O, Oms G. Efecto de la atmósfera modificada en las características físico-químicas y nutricionales de la fruta fresca cortada. Tecnología de Alimentos. 2005; 1, 47–58.
9. Gómez SAI, Vásquez AM. Tecnología de empackado en atmósferas modificadas: principios, desarrollo en investigación y aplicaciones. Ingeniería de Alimentos. 2007; 1, 66–79.
10. Meneses SMO, Valenzuela JRC. La atmósfera modificada : una alternativa para la conservación de los alimentos. Lasallista de Investigación. 2008; 5(2), 112–123.
11. Nicolais V, Russo M, Barbieri G, Rastrelli L. Quality evaluation on processed melons (*Cucumis melo* L.) Packaged in protective atmosphere. Emirates Journal of Food and Agriculture. 2011; 23, 525–532
12. Sandhya. Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. LWT - Food Sci and Tec. 2010; 43(3), 381–392.
13. Marrón MR, Malo AL. Cambios en frutas tropicales frescas, cortadas y empackadas en atmósfera modificada durante su almacenamiento en refrigeración. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos. 2012; 2, 94–109.
14. Day BPF. Fruit and vegetables. In Principles and applications of modified atmosphere packaging of foods. Springer. 1993. 114–133p.

# EVALUACIÓN DEL EFECTO DE PRE-TRATAMIENTO CON ULTRASONIDO EN LA EXTRACCIÓN DE FLAVONOIDES CONTENIDOS EN LAS CASCARAS DE CÍTRICOS

EVALUATION OF THE EFFECT OF PRE-SONICATION IN EXTRACTING FLAVONOIDS IN CITRUS PEELS

\*Y. CAMPO. M.Sc.<sup>1</sup>, D. VILLADA. M.Sc.<sup>2</sup>, V. ORDOÑEZ Ph.D<sup>3</sup>.

## RESUMEN

**Antecedentes.** Los flavonoides son polifenoles que se encuentran comúnmente en frutas y vegetales, se pueden encontrar en forma libre o unida a azúcares formando heterópsidos; la identificación, cuantificación y extracción de estos compuestos ha despertado un gran interés debido a que se ha reportado que poseen diversas propiedades benéficas para la salud del ser humano y la industria alimentaria. **Objetivo.** Evaluar el efecto del pre-tratamiento con ultrasonido (US) en la extracción de flavonoides contenidos en las cascaras de cítricos. **Métodos.** Las muestras (cascara de la naranja, limón y mandarina) fueron expuestas a pre-tratamiento con US a 45 KHz a una temperatura de 30, 40 y 60 °C durante 30, 40 y 60 minutos y se sometieron a extracción sólido-líquido (etano al 96%/80°C/40 min.); la solución obtenida se llevó a espectrofotometría para leer su absorbancia a 258 nm, la identificación de flavonoides se llevo a cabo por las pruebas con NaOH al 10% y Shinoda. **Resultados.** Evidenciaron diferencia significativas ( $p > 0.05$ ) al comparar las muestras tratadas con US y la control (cascara sin exposición a US), al mostrar un incremento del 60% en la extracción de flavonoides las tratadas a 45 KHz/60°C/60 min; debido probablemente al efecto de cavitación; que provocan macro turbulencia y la colisión de interpartículas de la biomasa que acelera difusión del soluto en la fase solida al solvente. La identificación de metabolitos secundarios en el extracto acuoso presentó resultado positivo para flavonoides, lo que indica que los ácidos carboxílicos pueden discriminarse con facilidad, debido a que transfieren cuantitativamente un protón al ion

hidroxilo, revelando la presencia de flavononas o isoflavononas. **Conclusiones.** La extracción acuosa asistida por US es una de las herramientas con mayor perspectiva en la extracción de compuestos bioactivos, por ser un método eficiente, de bajo costo y minimiza los problemas presentados con las técnicas de extracción convencional.

**Palabras clave:** Ultrasonido, extracción, cítricos, flavonoides, espectrofotometría.

## ABSTRACT

**Background.** Flavonoids are polyphenols which are commonly found in fruits and vegetables, they can be found in free or bound form heterópsidos forming sugars; the identification, quantification and extraction of these compounds has attracted considerable interest because it has been reported to have several beneficial properties for human health and the food industry. **Objective.** Evaluate the effect of pre-treatment with ultrasound (US) in the extraction of flavonoids contained in citrus peels. **Methods.** The samples (orange peel, lemon and tangerine) were exposed to pre-treatment with US to 45 KHz at a temperature of 30, 40 and 60°C for 30, 40 and 60 minutes and subjected to solid extraction-liquid (ethane 96%/80°C/40 min.); The solution obtained was carried spectrophotometer to read absorbance at 258 nm, the identification of flavonoids was carried out by testing with 10% NaOH and Shinoda. **Results.** Showed significant difference ( $p > 0.05$ ) when comparing the US treated samples and controls (shell without exposure to US), showing an increase of 60% in the extraction of flavonoids treated at 45KHz/60°C/60min; proba-

1 Instituto Superior De Educación Rural. Unidad de Ingeniería e informática. Tecnología Agroindustrial. Pamplona, Colombia.

2 Universidad Francisco de Paula Santander. Programa de Ingeniería Agroindustrial, Cúcuta, Colombia.

3 Universidad de Pamplona. Programa Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Sede Villa de Rosario

\* Autor a quien debe dirigirse la correspondencia: yesenia.campo.vera@gmail.com

bly due to cavitation; macro causing turbulence and interparticle collision biomass accelerating diffusion of the solute in the solid phase to the solvent. Identification of secondary metabolites in the aqueous extract showed a positive result for flavonoids, indicating that carboxylic acids can be discriminated easily, because a proton transfer quantitatively to hydroxyl ion, revealing the presence of flavanones or isoflavononas. **Conclusions.** Assisted by US aqueous extraction is one of the most perspective tools in the extraction of bioactive compounds, as an efficient method, inexpensive and minimizes the problems presented by conventional extraction techniques.

**Keywords:** Ultrasound, extraction, citrus flavonoids, spectrophotometry.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el aprovechamiento de residuos (desechos y subproductos) generados en las transformaciones agroindustriales, son de gran importancia entre la comunidad científica y la industria; por no ser utilizados eficientemente, al desconocer su valor adicional y no contar con información que los caracterice. Es así, como se han diseñado procesos para utilizar estos materiales en la generación de productos de alto valor comercial como etanol, enzimas, ácidos orgánicos, aminoácidos y metabolitos secundarios (1).

Los flavonoides son constituyentes de amplia distribución en el reino vegetal, su distribución cuantitativa varía según la planta, explicado por la regulación de la expresión genética y la interacción con factores ambientales (clima, altitud, nutrición y prácticas agrícolas) (1, 2). Los flavonoides presentan una gran variedad estructural, con un esqueleto común de núcleo flavon (2-fenilbenzopirano). En los cítricos, los flavonoides más abundantes son aquellos pertenecientes a los grupos de las flavonas, flavononas, chalconas y dihidrochalconas. Estos compuestos tienen una distribución restringida, lo cual hace que sean descritos como flavonoides minoritarios a pesar de estar presentes en concentraciones significativas en algunos alimentos alto consumo (3).

En general, los flavonoides pertenecen al grupo de los compuestos fenolicos, que han mostrado una amplia variedad de actividades biológicas: antioxidante, antimicrobiana, antiinflamatoria, inmunomoduladora, antiviral, antiproliferativa,

antimutagenica, anticarcinogenica, acciones vasodilatadoras, y prevención de enfermedades coronarias y desordenes neurodegenerativos (4, 5).

Las técnicas clásicas para la extracción del material crudo de frutas y verduras están basadas en la correcta elección del solvente acoplado con el empleo de calor y/o agitación, esta técnica puede ser mejorada por la utilización del US; produciendo efectos mecánicos por una mayor penetración del solvente en la materia celular mejorando la transferencia de masas (6, 7). El US puede ser el método más simple para extraer los componentes intracelulares como son: enzimas, endotoxinas, polisacáridos, proteínas y partículas subcelulares, causado por el efecto de cavitación (8).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del pre-tratamiento con ultrasonido a 40 KHz a una temperatura de 30, 40 y 60°C durante 30, 40 y 60 minutos en la extracción de flavonoides contenidas en las cascaras de cítricos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Acondicionamiento del material vegetal

El trabajo se llevó a cabo utilizando cascaras de naranja, limón y mandarina, adquiridas en el mercado local.

### Tratamiento con ultrasonido

Se empleó un equipo Branson 1510 (40 KHz) y como medio de transmisión agua desionizada, se establecieron 12 tratamientos que se describen en la tabla 1 (24, 25, 26, 27, 28).

**Tabla 1.** Tratamientos con US de las cascaras de cítricos.

TRATAMIENTOS	US (KHZ)	(°C)	TIEMPO (min)
1	Naranja	45	30
2		40	40
3		60	60
4	Limón	45	30
5		40	40
6		60	60
7	Mandarina	45	30
8		40	40
9		60	60
10	Naranja	No se le aplica US, tiempo y temperatura.	
11	Limón		
12	Mandarina		

\* Todos los tratamientos y análisis se realizaron por triplicado.

## Tipo de extracción sólido-líquido

Se realizaron extracciones sólido-líquido de las cascaras de los cítricos (Limón, mandarina y naranja) en etanol al 96% en una relación constante producto: disolvente de 1:100 (p/p), a presión atmosférica y en baño termostataado a 80 °C durante 40 min (9).

## Determinación del porcentaje de Flavonoides por UV/VIS

Los extractos metanólico concentrados, se diluyeron en 10 mL de MeOH y se llevaron a 100 mL (solución madre). Como solución patrón se utilizó 0.0445g de quercetina en 100 mL de MeOH, estas soluciones se leyeron a una absorbancia de 258 nm en un espectrofotómetro UV/Vis (10, 11). Se empleó la siguiente expresión para la determinación del contenido total de flavonoides expresados como quercetina (12):

$$X = \frac{A_m \times P_R \times 5 \times 100}{A_R} \times 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde: **X**: contenido de flavonoides totales como quercetina (%). **A<sub>m</sub>**: absorbancia de la solución muestra (nm). **P<sub>R</sub>**: peso de la sustancia de referencia (g). **A<sub>R</sub>**: absorbancia de la solución de referencia (nm)

## Identificación de flavonoides

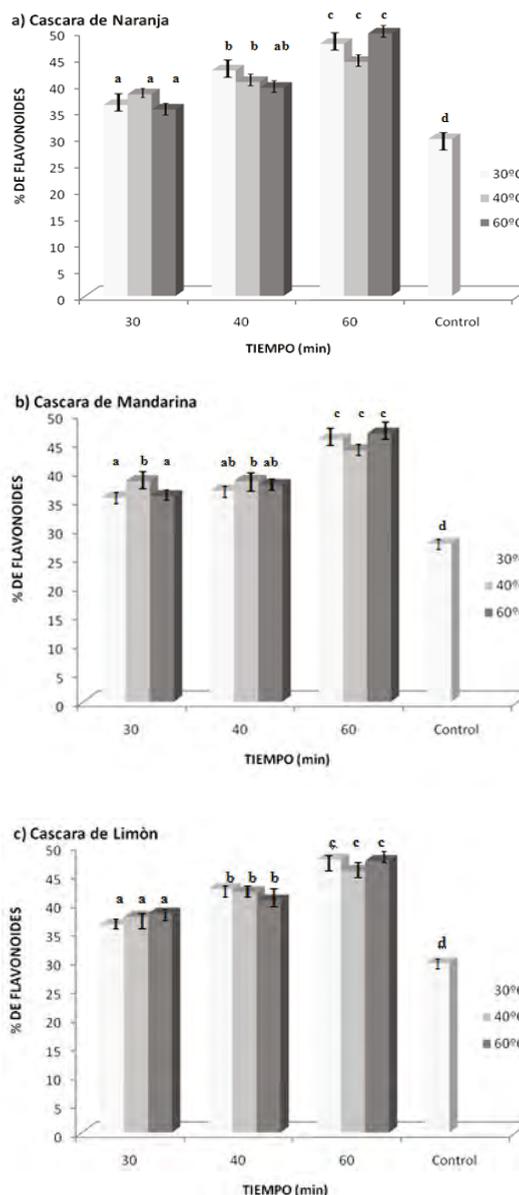
**Prueba con NaOH al 10 %:** Se tomaron 5 mL del extracto concentrado y mezcló con 1 mL de NaOH al 10% (13).

**Prueba de Shinoda:** Se tomaron 5 mL del extracto concentrado, se le agregó limaduras de magnesio o zinc en polvo y 1 mL de ácido clorhídrico concentrado (13).

**Análisis estadístico.** Los resultados obtenidos fueron tratados estadísticamente a través de análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) y con el fin de discernir mejor los resultados del ANOVA se utilizó la prueba post hoc de Diferencias Mínimas Significativas (DMS). Los anteriores análisis fueron efectuados utilizando el paquete de software estadístico SPSS versión 19.0.

## RESULTADOS

En la figura 1, se muestran los resultados del porcentaje de extracción de flavonoides de cascaras de cítricos (Limón, mandarina y naranja).



**Figura 1.** Interacción de factores tiempo y temperatura de extracción de flavonoides de muestras tratadas con US (40 KHz)

\* Literales diferentes entre columnas son diferencias mínimas significativas (DMS) entre tratamientos.

## DISCUSIÓN

Como se puede observar en la figura 1, los resultados obtenidos con extracción convencional en las muestras control de cada cítrico, presentan diferencias significativas ( $p>0.05$ ) con las tratadas con US; la temperatura utilizada (80 y 90 °C) no mejoró en ningún caso la extracción, probablemente debido al deterioro e inestabilidad sufrida por los compuestos fenólicos al alcanzar temperaturas de

ebullición del extracto (11, 14) y al área de transferencia del solvente en las muestras de cascara de cítricos, ya que entre más pequeño sea el tamaño de las partículas mayor intercambio ocurrirá (15).

La extracción de flavonoides del material vegetal, depende del tipo y de la polaridad del disolvente (9, 16), en cáscara de cítricos los flavonoides son polares y sus estructuras glicosídicas son solubles en solventes polares (metanol) y menos en compuestos orgánicos no polares (acetona y hexano) (17, 18).

Resultados similares de flavonoides se obtuvieron por extracción asistida con ultrasonido de 24 a 36 mg/g en desechos de pomelo, lo que sugiere su uso con fines económicos y ambientales (19). Otras investigaciones, muestran resultados muy variables respecto a la cantidad de polifenoles obtenidos en cáscaras de otros cítricos: cáscaras del limón (1,9 mg/g), naranja (1,79 mg/g) y pomelo (1,55 mg/g); naranja agria (7,85 mg/g) y la naranja valencia (2,5 mg/g), varían considerablemente; al igual que el limón mexicano (5,73 mg/g) y limón real (3,58 mg/g) (20). Los flavonoides están presentes principalmente en la cáscara y bagazo que, en la pulpa; en general, se considera que los flavonoides mayoritarios son hesperidina y naringina (21).

Los resultados de la extracción de flavonoides con US (40 KHz), evidencio que a mayor temperatura (60°C) y tiempo de exposición (60 min); se presentó un aumento significativo ( $p > 0.05$ ) en el porcentaje de extracción de compuesto. De acuerdo a la figura 1, observamos que en todos los tratamientos realizados el limón es el cítrico que presento mayor contenido de flavonoides totales, seguido de la naranja y la mandarina.

Estos resultados se pueden deber al efecto de cavitación del US, que favorecen la permeabilización de las paredes y membranas celulares; permitiendo una mayor solubilización de los compuestos sólidos en el solvente. El US incrementa los niveles de extracción de componentes fenolicos y otros compuestos (As, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, Zn, hidrocarburos, entre otros) en diferentes materiales biológicos (22, 23). Estudios similares sobre extracción asistida con US de flavonoides en alfalfa, determinado que las condiciones ideales de extracción eran: líquido-sólido de 57,16 mL, a 40 KHz /60°C/50 min y 52,14 % de etanol, evidenciando su eficiencia (24).

Así mismo, el efecto del US a 35 KHz durante 60 y 90 min en el bagazo de la uva, determinando que a mayor tiempo de exposición se incrementaba significativamente el nivel de extracción de

polifenoles totales; debido probablemente a que las ondas generan una vibración en el interior de la estructura del sólido que causa una separación de la estructura celular facilitando la liberación de polifenoles (25, 26).

Resultados similares fueron encontrados al desarrollaron un método utilizando extracción asistida por US (EAU) para la obtención de hesperidina a partir de la cascara de cítricos; expusieron que el tipo de solvente, la frecuencia y la temperatura, fueron las variables que más afectaron positivamente el rendimiento de extracción.

Sin embargo, a diferencia de los resultados obtenidos en este trabajo, estudios previos ponen de manifiesto que a temperaturas mayores de 50°C con extracción asistida por US no mejora el proceso de extracción de fenoles totales en cáscara de cítricos; ya que a temperaturas altas se induce a la inestabilidad de los compuestos fenólicos (27, 28).

La identificación de metabolitos secundarios en el extracto acuoso, con hidróxido de sodio al 10% presentó resultado positivo para flavonoides, ya que el color producido fue rojo suave, lo que indica que los ácidos carboxílicos pueden discriminarse con facilidad, debido a que transfieren cuantitativamente un protón al ion hidroxilo, revelando la presencia de flavononas o isoflavononas (13, 29).

La prueba de Shinoda también presentó un resultado positivo (color rojo magenta), debido a que al poner en contacto la muestra con el ácido clorhídrico y el magnesio metálico forman hidrogeno, que genera por reducción el ion flavilio, confirmando la presencia de flavonoides los cuales son responsables de la coloración en la mayoría de las plantas (15).

## CONCLUSIONES

La aplicación de ultrasonido (40KHz/60°C/60 min) como tratamiento previo a la extracción de flavonoides incrementa significativamente ( $p > 0.05$ ) los niveles de extracción de componentes fenolicos presentes en las cascara de cítricos; debido probablemente al efecto de cavitación que causa la permeabilización de la pared y membrana celular, facilitando la liberación de polifenoles; alcanzando un incremento del 40% en la extracción de flavonoides, convirtiéndose en una tecnología con grandes perspectiva en la extracción de compuestos bioactivos, por ser un método eficiente, de bajo costo y minimiza los problemas presentados con las técnicas de extracción convencional.

## REFERENCIAS

- Londoño J. Aprovechamiento de residuos de la agroindustria de cítricos: extracción y caracterización de flavonoides. [Trabajo de pregrado]. [Bogotá, Colombia]: Corporación Universitaria Lasallista; 2010; Capítulo 21.
- Winkel B. Biosynthesis of flavonoids and effects of stress. *Current opinion in plant biology*. 2002; 5: 218-23.
- Tomas F. y Michael C. Flavanones, chalcones and dihydrochalcones: nature, occurrence and dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2000; 80: 1073-80.
- Rice C. Miller N. y Paganga G. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science*. 1997; 152-9.
- Havsteen H. The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacology & therapeutics*. 2002; 96: 67-202.
- Sulman M. Semagina N. Ankudinova T. Ultrasonic extraction of biologically active compounds from the vegetable raw material. *Food Chemistry*. 2001; (4): 342-345.
- Kuldiloke J. Effect of ultrasound, temperature and pressure treatments on enzyme activity and quality indicators of fruit and vegetable juice. [Trabajo de Doctoral]. [Berlin, Alemania]: University of Berlin; 2002. 2-25 p.
- Stumpf P. Green D. y Smith F. Ultrasonic disintegration a method of extracting bacterial enzymes. *Journal Biology Chemistry*. 1945; 487-493.
- Espert M. Periche A. Heredia A. Castelló M. Aplicación de ultrasonidos o energía de microondas a la extracción de compuestos antioxidantes en infusiones de hoja de estevia. [Trabajo de Doctoral]. [Valencia, España]: Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. 2012. 1-15 p.
- De la Rosa T. Torres G. Camacho R. Calderón M. Herrera U. y Osorio Y. Cuantificación de flavonoides totales en el extracto metanólico de *Glycine max* (soya) y su efecto larvicida contra *Aedes aegypti*. *Revista Colombiana de Ciencias de la Salud*. 2012; 1 (1): 39-43.
- Camacho O. y Melgarejo S. Actividad antioxidante del extracto etanólico e hidroalcohólico y determinación química de los componentes mayoritarios del fruto de *Eugenia jambolana* (Uva venezolana). [Trabajo de Pregrado]. [Atlántico-Colombia]: Universidad del Atlántico. 2009. 35-67 p.
- Gutiérrez I. Martínez M. y Rodríguez T. Validación de 2 métodos espectrofotométricos para la cuantificación de taninos y flavonoides (quercetina) en *Psidium guajaba* L. *Revista Cubana de Farmacia*. 2000; 34 (1): 50-55.
- Osorio N. Extracción de un colorante natural a partir de los desechos de la corteza de *Myroxylon balsamum*. [Trabajo de Pregrado]. [El Salvador]: Universidad de el Salvador. 2011.
- Liazi A. Palma M. Brigui J. Barroso CG. Investigation on phenolic compounds stability during microwave-assisted extraction. *Journal of Chromatography*. 2007; (1):29-34.
- Kuljarachanan T. Devahastin S. Chiewchan N. Evolution of antioxidant compounds in lime residues during drying. *Food Chemistry*. 2009; 113: 944-949.
- Turkmen N. Sari F. Velioglu YS. Effect of extraction solvents on concentration and antioxidant activity of black and black mate polyphenols determined by ferrous tartrate and Folin-Ciocalteu methods. *Food Chemistry*. 2006; 99: 838-841.
- Bocco A. Cuvelier M. Richard H. Berset C. Antioxidant activity and phenolic composition of citrus peel and seed extracts. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 1998; 46 (6):2123-2129.
- Kawaii S. Tomono Y. Katase E. Ogawa K. Yano M. Koizumi M. Ito C. y Furukawa H. Quantitative study of flavonoids in leaves of citrus plants. *Journal Agriculture Food Chemistry*. 2000; 48(9): 3865-3871.
- García E. Rodríguez A. Mayor L. Ballesteros R. Conidi C. y Cassano A. Optimization of conventional and ultrasound assisted extraction of flavonoids from grapefruit (*Citrus paradisi* L.) solid wastes. *Food Science and Technology*. 2015; (64)2:1114-1122.
- Escobar M. Extracción de compuestos fenólicos de las cascara de cítricos producidos en México. [Trabajo de Posgrado]. [México]: Instituto Politécnico Nacional. 2010.
- Coll M. Laccina J. Tomás F. Recovery of flavanones from wastes of industrially processed lemons. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und Forschung A*. 1998; 206: 404-407.
- Arruda S. Rodríguez A. y Arruda M. Ultrasound assisted extraction of Ca, K and Mg from in vitro citrus cultura. *Journal of the Brazilian chemical society*. 2003; 14(3): 470-474.
- Banjoo D. y Nelson P. Improved ultrasonic procedure for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments. *Journal of Chromatography*. 2005; 1066:1-2, 9-18.
- Chang J. Xiao D. and Jian T. Optimization of Ultrasonic-Assisted Extraction of Flavonoid Compounds and Antioxidants from Alfalfa Using Response Surface Method. *Molecules*. 2015; 20: 15550-15571.
- Martínez M. y Usaquen X. Evaluación del efecto de pre-tratamientos con ultrasonido sobre el nivel de extracción y la actividad de sustancias antioxidantes contenidas en el bagazo de uva (*vitisvinifera*). [Trabajo de Pregrado]. [Bogotá, Colombia]: Universidad de la Sabana. 2005
- Ma Yq. Chen Jc. Liu Dh. y Ye. Xq. Effect of ultrasonic treatment on the total phenolic and antioxidant activity of extracts from citrus peel. *Journal of food science*. 2008; 73:115-20.
- Ya-Qin M. Jian-Chu C. Dong-Hong L. Xing-Qian Y. Simultaneous extraction of phenolic compounds of citrus peel extracts: Effect of ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2009; 16: 57-62.
- Muhammad K. Abert-Vian M. Fabiano-Tixier O. Chemat F. Ultrasound-assisted extraction of polyphenols (flavanone glycosides) from orange (*Citrus sinensis* L.) peel. *Food Chemistry*. 2010; 119: 851-858.
- Shriner R. Fuson R. Curtin DY. Identificación Sistemática de Compuestos Orgánicos. LIMUSA, México. 2008.

# EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE ULTRASONIDO SOBRE LAS CINÉTICAS DE SECADO CONVECTIVO DE FRESA (*Fragaria vesca*)

EFFECT OF THE APPLICATION OF ULTRASOUND ON CONVECTIVE DRYING KINETICS STRAWBERRY (*Fragaria vesca*)

Y. CAMPO. MSc.<sup>\*1</sup>, D. VILLADA. MSc.<sup>2</sup>; V. ORDOÑEZ. Ph.D.<sup>3</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes.** El ultrasonido (US) es una técnica novedosa usada en la industria alimentaria, ya que representa ventaja sobre los procesos tradicionales que utilizan altas temperaturas, al reducir tiempos de proceso, mejorar atributos de calidad y no alterar las principales características de los productos. **Objetivo.** Evaluar el efecto del pretratamiento con ultrasonido en el secado convectivo de fresa (*Fragaria vesca*). **Métodos.** Las fresas fueron cortadas de manera longitudinal en rodajas de  $3\text{mm} \pm 1$  espesor y se sometieron a frecuencia de ultrasonido de 40 KHz/130W a 30°C durante 10, 20 y 30 min; posteriormente se secaron a 60°C/2m/s. Se utilizó un modelo difusional para describir las cinéticas de secado y el efecto del US en la difusividad efectiva de agua. **Resultados.** El US incrementó significativamente ( $p < 0.05$ ) la velocidad de secado en todas las muestras tratadas con una reducción promedio del 27% en el tiempo de secado por la aplicación de US; alcanzando una pérdida de peso del 45% respecto del peso inicial (320 a 176g.). Las muestras control necesitaron de 2,85 h para llegar a un contenido de humedad de  $0,2 \pm 0.1$  g agua/g m.s El tratamiento con US que presentó la mayor disminución en el porcentaje de tiempo de secado del 49% (1,45 h), fue el que utilizó un tiempo de pretratamiento de 30 min. El modelado mostró que la aplicación de US aumentó tanto la difusividad efectiva y el coeficiente de transferencia de masa, como corroboran los valores del porcentaje de varianza explicada de 98.5 a 99.3%. **Conclusiones.**

La aplicación de US en la deshidratación convectiva de fresas permitió observar una reducción significativa en el tiempo del proceso a casi la mitad (49%), disminuyendo el consumo de energía, los costos totales del proceso de secado y convirtiéndose en una alternativa apropiada de conservación, que mantiene la calidad de las propiedades del producto.

**Palabras clave:** Conservación, fresas, humedad, secado de convección, ultrasonido.

## ABSTRACT

**Background.** Ultrasound (US) is a novel technique used in the food industry because it represents advantage over traditional processes using high temperatures, reducing processing times, improve quality attributes and does not alter the main features of the products. **Objective.** To evaluate the effect of pretreatment with ultrasound in convective drying of strawberry (*Fragaria vesca*). **Methods.** Strawberries were cut longitudinally into slices 3mm thickness  $\pm 1$  and subjected to ultrasound frequency 40KHz / 130W at 30 ° C for 10, 20 and 30 min; subsequently they dried at 60 ° C / 2m / s. a diffusion model was used to describe the kinetics of drying and the effect of US on the effective diffusivity of water. **Results.** The US significantly ( $p < 0.05$ ) the drying rate in all samples treated with an average 27% reduction in drying time by applying US; achieving a weight loss of 45% from the initial weight (320 to 176g.). Control samples needed 2.85 h to reach a moisture content of  $0.2 \pm 0.1$ g water/g m.s US treatment presented the largest

<sup>1</sup> Instituto Superior De Educación Rural. Unidad de Ingeniería e informática. Tecnología Agroindustrial. Pamplona, Colombia.

<sup>2</sup> Universidad Francisco de Paula Santander. Programa de Ingeniería Agroindustrial, Cúcuta, Colombia.

<sup>3</sup> Universidad de Pamplona. Programa Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Sede Villa de Rosario

\* Autor a quien debe dirigirse la correspondencia: yesenia.campo.vera@gmail.com

decrease in the percentage of drying time of 49% (1.45 h), which was used a pretreatment time of 30 min. The modeling showed that the application of US increased both the effective diffusivity and the mass transfer coefficient, as corroborated the percentage values of explained variance of 98.5 to 99.3%. **Conclusions.** The application of US in the convective drying of strawberries possible to observe a significant reduction in processing time by almost half (49%), reducing energy consumption, total costs of the drying process and becoming a suitable alternative conservation, which maintains the quality of the product properties.

**Keywords:** Conservation, strawberries, humidity, convection drying, ultrasound.

## INTRODUCCIÓN

El secado es un método clásico para la conservación de alimentos, tiene la ventaja de reducir el peso para su transporte y de disminuir las necesidades de espacio para su almacenamiento (1, 2). El secado incrementa la estabilidad de los alimentos al reducir la actividad de agua, limitando la acción microbiológica y los cambios fisicoquímicos que se producen durante el almacenamiento (3). Por el contrario, el secado produce una pérdida de calidad en el producto debido a los cambios estructurales y bioquímicos; dependiendo de la técnica y de la temperatura de secado.

La técnica más convencional de secado que utiliza bajas temperaturas es la liofilización, donde se pueden obtener productos de mayor calidad; pero con tiempos muy largos en el proceso, mayores a los del secado por aire caliente (4). El secado es un proceso complejo en el que se produce una transferencia simultánea de materia y de energía, la modelización constituye una herramienta necesaria para analizar estos procesos y la influencia de las condiciones de operación (5, 6); la transferencia de materia dentro del alimento se produce únicamente por los gradientes de humedad, lo que se conoce como mecanismo difusivo (7). Así, la modelización de las cinéticas de secado permite obtener parámetros como la difusividad efectiva del producto, parámetro esencial para abordar la optimización del proceso de secado (8).

Nuevos tratamientos previos al proceso de secado, se basan en la manipulación química que han logrado reducir los tiempos de secado (6, 9, 10). Recientemente, se ha aplicado el US en el secado

por aire caliente consiguiendo la reducción del tiempo de procesado y el consumo energético de la operación, al conseguir temperaturas inferiores adecuadas para el secado (11). Además, ha demostrado que aumenta la tasa de transferencia de masa durante el secado (6, 12, 13).

La fresa (*Fragaria vesca*) es una planta perteneciente a la familia Rosaceae, considerada fruta de placer por excelencia, destacada por su contenido de vitamina C, taninos, flavonoides, antocianinas, catequina, quercetina y kaempferol, ácidos orgánicos (cítrico, málico, oxálico, salicílico y elágico) y minerales (K, P, Ca, Na y Fe), además de pigmentos y aceite esencial (14, 15, 16). La fresa es una de las frutas más consumidas a nivel mundial y se encuentra entre las más cultivadas debido a que presenta un amplio periodo de cultivo en las zonas de clima templado y es un componente importante en numerosos productos como snacks, cereales de desayuno y alimentos funcionales entre otros (17).

Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto de la aplicación de ultrasonidos en el secado convectivo de fresa (*fragaria vesca*).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Acondicionamiento del material vegetal

Las fresas fueron lavadas, desinfectadas y cortadas de manera longitudinal en rodajas de  $3\text{mm} \pm 1$  espesor.

### Tratamiento con ultrasonido

Se empleó un equipo BRANSON 3800, Modelo M 3800H (40 KHz) y como medio de transmisión agua desionizada, se sometieron las muestras (350 gr de fresa) a frecuencia de ultrasonido de 40 KHz/130W a temperatura de 30°C durante 10, 20 y 30 min; las muestra control fueron fresas sin US.

### Ensayos de secado convectivo

La determinación de las cinéticas de secado se llevó a cabo en un secador convectivo de charolas a pequeña escala (PS-SE-001/PE, Generatoris, México). Las muestras se colocaron en las bandejas sin quedar apilas o superpuestas a velocidad de aire constante 0,2m/s y temperatura de 60°C, se registraron valores de peso y humedad cada dos min hasta los 10 min, posteriormente se tomaron valores cada diez min hasta peso constante. Los experimentos se realizaron por triplicado (2).

### Modelización de las cinéticas de secado

Para describir matemáticamente las cinéticas de secado se utilizó un modelo difusivo. La ecuación diferencial de difusión se obtiene combinando la ley de Fick y el balance microscópico de materia. La Ecuación 1 y 2 muestra dicha expresión para Modelo difusivo para lámina infinita, considerando la difusividad efectiva constante y la homogeneidad e isotropía del sólido (23).

$$W_p(L, t) = W_e \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:  $W_p$  = contenido de humedad local (g agua/g m.s.);  $t$  = tiempo (s);  $D_e$  = difusividad efectiva ( $m^2s^{-1}$ );  $L$ : semiespesor de la muestra (m);  $W_e$ : humedad de equilibrio.

$$\frac{\partial W_p(x, t)}{\partial t} = D_e \frac{\partial^2 W_p(x, t)}{\partial x^2} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Dónde:  $D_e$ : difusividad efectiva;  $t$ : tiempo (s);  $x$ : dirección de transporte característica de la lámina.

### Ajuste del modelo

En la modelización de las cinéticas de secado, la difusividad efectiva se identificó ajustando los modelos difusivos a los datos experimentales, el ajuste se determinó a partir del porcentaje de varianza explicada (%VAR, Ecuación 3) (2).

$$\%VAR = \left[ 1 - \frac{S_{xy}^2}{S_x^2} \right] \cdot 100 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde  $S_{xy}$  y  $S_y$  son la desviación estándar de la estimación y de la muestra, respectivamente.

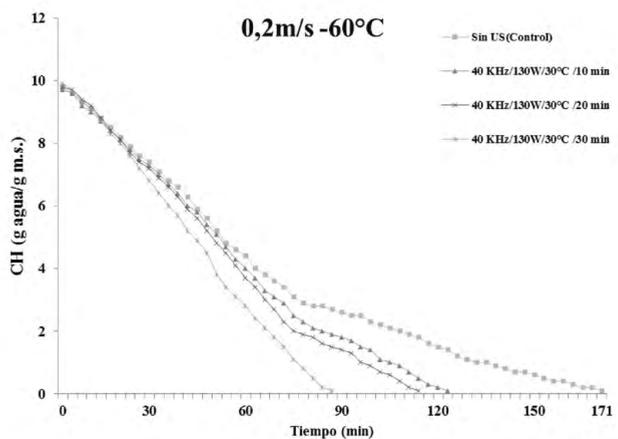
### Análisis estadístico

Los resultados fueron tratados estadísticamente a través de análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) y con el fin de discernir mejor los resultados del ANOVA se utilizó la prueba post hoc de Diferencias Mínimas Significativas (DMS), paquete de software estadístico SPSS versión 19.0.

## RESULTADOS

Las fresas presentaron un contenido de humedad inicial promedio de  $9.26 \pm 0,67$  g agua/g m.s que fue

considerado como el contenido crítico de humedad debido a la falta de período de velocidad constante en estas condiciones experimentales. Las cinéticas de secado de las rodajas de fresas se muestran en la figura 1 a temperatura de secado convectivo de  $60^\circ\text{C}/2 \text{ ms}^{-1}$ ; las muestras sin aplicar US necesitaron 2,85 h para llegar a un p contenido de humedad de  $0,2 \pm 0.1$  g agua/g m.s. El US incrementó significativamente ( $p < 0.05$ ) la velocidad de secado en todas las muestras tratadas a  $40\text{KHz}/130\text{W}/30^\circ\text{C}$  respecto a las muestras control. Así mismo, se obtuvo una reducción promedio del 27% en el tiempo de secado por la aplicación de US; alcanzando una pérdida de peso del 45% respecto del peso inicial (320 a 176g.). El tratamiento con US de 30 min fue el que presentó la mayor disminución en el tiempo de secado con 49% (1,45 h).



**Figura 1.** Cinéticas de secado convectivo de fresas ( $60^\circ\text{C}$  y  $2 \text{ ms}^{-1}$ ) con aplicación de ultrasonidos de potencia (130W, 40 kHz).

### Modelización de las cinéticas de secado

Los resultados de la modelización de las cinéticas de secado de las rodajas de fresas con y sin la aplicación de US se muestran en la tabla 1. Se observa que el ajuste del modelo a los datos experimentales fue mejor en las muestras tratadas con US, como corroboran los valores del porcentaje de varianza explicada de 98.5 a 99.3%; mayor a la control. Se observa que el modelo proporciona una buena descripción de la cinética de secado debido a la cercanía entre los valores experimentales y calculados.

**Tabla 1.** Resultados de la modelización de las cinéticas de secado convectivo de fresas (60°C y 2 ms<sup>-1</sup>) con la aplicación de ultrasonidos.

PARAMETROS ESTIMADOS	Control	TRATAMIENTOS (40KHz/130W/30°C)		
	Sin US	10 min	20 min	30 min
De (10 <sup>-10</sup> m <sup>2</sup> /s)	3.08±0.62 <sup>a</sup>	6.40±1.21 <sup>b</sup>	7.03±1.0 <sup>b</sup>	8.53±0.89 <sup>c</sup>
VAR (%)	97.3	99.3	99.2	98.5

## DISCUSIÓN

Este estudio sobre el efecto del pretratamiento con US en el secado convectivo a 60°C y 2 ms<sup>-1</sup> de fresa (*fragaria vesca*). Se observa que al aplicar una frecuencia de 40KHz/130W/30°C durante 30 min., se aumenta la velocidad de secado casi a la mitad del tiempo; debido probablemente a la formación de microcanales por la compresión sistemática, alterna y la descompresión del material (llamado “efecto esponja”) (18, 2), que facilita la salida de agua de la matriz en forma de vapor por sublimación causan un aumento en las velocidades de secado (2).

La formación de microcanales causa la separación y la interrupción de las células como respuesta a la aplicación de US, sin originar desintegración de las células como lo corroboran experimentos previos con melones, papayas y piñas (19, 20, 21). Fresas sometidas a pretratamiento con US en una deshidratación osmótica mostraron que la textura de la fruta estaba modificada debido a la disolución de pectina y el desglose de células después de 30 min de los períodos de tratamiento previo (22, 6). Además, esta reducción se puede atribuir a la energía mecánica que el US genera en el proceso de cavitación; provocando la disminución de la resistencia interna y externa a la transferencia de materia y la aparición de fenómenos como la generación de microcorrientes en las interfases o las compresiones y descompresiones en el material sólido contribuyen a facilitar la salida de agua de la matriz (2).

Los resultados encontrados son coherentes con algunos autores que han evaluado el efecto del US en el secado de diferentes frutas y vegetales como: en fresas se observó un efecto positivo sobre la velocidad de secado convectivo a 70°C y 60W de potencia, logrando una reducción del 35% (23) y del 50% en inmersión de solución de sacarosa (6), en papa a 200W/25 kHz la disminución fue del 32% en tiempo de secado (24); en cascara de limón a

90W/21.7 kHz se redujo un 53% (25); en manzanas a 50W/21.9 kHz se obtuvo una de descenso medio del tiempo de secado por la aplicación del US del 55% para alcanzar una pérdida de peso del 80% respecto del peso inicial y de 80,3% a -10 ° C y 75 W (2); en berenjena a 90W una disminución del 72% (26); en zanahorias fue del 41-53% en el tiempo de secado (27); en hojas de perejil a 21 kHz/12 W/g, contribuyó a una reducción significativa del tiempo de secado de hasta 29,8% (28); en mora la velocidad de secado se incrementó en casi cinco veces cuando las muestras se trataron con US a 90 micras/20 min (29).

Los resultados de la modelización de las cinéticas de secado a 60°C de la fresa con y sin la aplicación de US de potencia fueron adecuadas; ya que los porcentajes de varianza explicada fueron mayores al 97%, mostrando que las condiciones experimentales son correspondientes al modelo difusivo. En este caso, la resistencia externa a la transferencia de agua probablemente no sea despreciable frente a la interna debido a que la aplicación de ultrasonidos disminuye mucho esta última (2). De los valores (de 3.08 a 8.53 x 10<sup>-10</sup> m<sup>2</sup> / s) se encontraban dentro de los rangos se informó anteriormente para el secado por convección de fresas y también en el rango común para los productos alimenticios (entre 10<sup>-11</sup> y 10<sup>-9</sup>) (30), lo que muestra el potencial del US para acelerar la pérdida de agua en condiciones de secado a presión atmosférica. Por otra parte, los valores de *De* son similares a los de investigación que aplicaron un pretratamiento de US en el secado de varias frutas y verduras como: manzana (2), papa (24), zanahorias (27); hojas de perejil (28); mora (29). Este efecto se debe probablemente a la variación de las expansiones y contracciones de los ciclos producidos por el poder del US en los materiales, fenómeno que causa una aceleración del movimiento de agua interior, siendo esta manifiesta en el aumento de la *De* (23, 31).

## CONCLUSIONES

La aplicación de ultrasonidos durante el secado convectivo de fresas reduce significativamente el tiempo del proceso aproximadamente 49% lo cual significa que se reduce el consumo de energía y los costos totales del proceso. El secado de fresa depende de la potencia el US. La modelización mostro que el US tiene un efecto positivo en el *De* y en el *VAR*, al aumentar significativamente su valor y logra un mejor ajuste del modelo de secado; convirtiéndose en una apropiada alternativa para acelerar los procesos de secado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ertekin C, Yaldiz O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering*. 2004; 63: 349-359.
- Santacatalina JV, Cárcel JA, Fernández J, Mulet A, y García JV. Impact of applied ultrasonic power on the low temperature drying of apple. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2016; 28: 100-109.
- Mayor L, Sereno AM. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. *Journal of Food Engineering*. 2004; 61: 373-386.
- Alves-Filho O, Eikevik T, Mulet A, Garau C, Rosselló C. Kinetics and mass transfer during atmospheric freeze drying of red pepper. *Drying Technology*. 2007; 25 (7-9): 1155-1161.
- Mulet A, Cárcel JA, Sanjuán N, García-Pérez JV. Food dehydration under forced convection conditions. En: *Recent Progress in Chemical Engineering*, J. Delgado (ed), Studium Press LLC, Houston, TX, USA. 2010.
- García-Noguera J, Oliveira IP, Gallão M, Weller L, Rodrigues S, y Fernandes A. "Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration of Strawberries: Effect of Pretreatment Time and Ultrasonic Frequency". *Drying Technology*. 2010; 28: 294-303.
- Ortuño C, García-Pérez JV, Cárcel JA, Femenía A, Mulet A. Modelling of ultrasonically assisted convective drying of eggplant. 2010.
- Hassini L, Azzouz S, Peczkalski R, Belghith A. Estimation of potato moisture diffusivity from convective drying kinetics with correlation of shrinkage. *Journal of Food Engineering*. 2007; 79: 47-56.
- Doymaz I, Convective drying kinetics of strawberry. *Chemical Engineering Processing*. 2007; 47: 914-919.
- Fernandes F, Rodrigues S. Application of ultrasound and ultrasound-assisted osmotic dehydration in drying of fruits. *Drying Technology*. 2008; 26: 1509-1516.
- Majid I, Ahmad G, and Nanda V. Ultrasonication and food technology: A review. *Cogent Food & Agriculture*. 2015; 1: 107-1022.
- Xu H, Zhang M, Duan X, Mujumdar A, Sun J. Effect of power ultrasound pretreatment on edamame prior to freeze drying. *Drying Technology*. 2009; 2: 186-193.
- García-Pérez JV, Cárcel JA, Riera E, Mulet A. Influence of the applied acoustic energy on the drying of carrots and lemon peel. *Drying Technology*. 2009; 27: 281-287.
- Restrepo A, Cortés M, Rojano B. Determinación de la vida útil de fresa (fragaria Ananassa duch.) fortificada con vitamina E. *Dyna*, 2009; 159: 163-175.
- Pinto M, Lajolo M, Genovese M. Bioactive compounds and quantification of total ellagic acid in strawberries (Fragaria x ananassa Duch.). *Food Chemistry*. 2008; 107: 1629-1635.
- Özcan M, Haciseferogullar H. The Strawberry (Arbutus unedo L.) fruits: Chemical composition, physical properties and mineral contents. *Journal of Food Engineering*. 2007; 78: 1022-1028.
- Vega-Gálvez A, Miranda N, Bilbao-Sáinz C, Uribe E, Lemus-Mondaca R. Empirical modeling of drying process for apple (cv. Granny Smith) slices at different air temperatures. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2008; 32: 972-986.
- Wiktor A, Sledz M, Nowacka M, Rybak K, Witrowa-Rajchert D. The influence of immersion and contact ultrasound treatment on selected properties of the apple tissue. *Applied Acoustics*. 2016; 103:136-142.
- Fernandes F, Gallão M, Rodrigues S. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *LWT – Food Science and Technology*. 2008; 41: 604-610.
- Fernandes F, Gallão M, Rodrigues S. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. *Journal of Food Engineering*. 2009; 90: 186-190.
- Rodrigues S, Oliveira F, Gallão M, Fernandes F. Effect of immersion time in osmosis and ultrasound on papaya cell structure during dehydration. *Drying Technology*. 2009; 27: 220-225.
- Prinzivalli C, Brambilla A, Maffi D, Scalzo R, Torreggiani D. Effect of osmosis time on structure, texture and pectic composition of strawberry tissue. *European Food Research and Technology*. 2006; 224: 119-127.
- Gamboa-Santos J, Montilla A, Soria A, Cárcel J, García-Pérez J, & Villamiel M. Impact of power ultrasound application on the quality of convective dried Strawberries. Tesis doctoral. Universidad Autónoma De Madrid. 2013; 232- 250.
- Kroehnke J, Musielak G, Boratynska A. Convective drying of potato assisted by Ultrasound. 2014; 57-65.
- Mulet A, Cárcel J, Fuente-Blanco S, Riera-Franco E, García-Pérez J. Convective drying of lemon peel assisted by power ultrasound: influence of ultrasonic power applied. *Proceedings of the International Congress on Ultrasonics*, Vienna, April 9-13, 2007; 1-4.
- García-Pérez J, Ozuna C, Ortuño C, Cárcel J, & Mulet A. Modelling ultrasonically assisted convective drying of eggplant. *Drying Technology*. 2011; 29(13): 1499-1509.
- Chen Z, Guo X, Wu T. A novel dehydration technique for carrot slices implementing ultrasound and vacuum drying methods. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2016; 30: 28-34.
- Sledz M, Wiktor A, Rybak K, Nowacka M, Witrowa-Rajchert D. The impact of ultrasound and steam blanching pre-treatments on the drying kinetics, energy consumption and selected properties of parsley leaves. *Applied Acoustics*. 2016; 103: 148-156.
- Romero J, y Yépez B. Ultrasound as pretreatment to convective drying of Andean blackberry (*Rubus glaucus* Benth). *Ultrasonics Sonochemistry*. 2015; 22: 205-210.
- Doymaz I, Convective drying kinetics of strawberry. *Chemical Engineering and Processing*. 2008; 47: 914-919.
- Riera E, García-Pérez J, Cárcel J, Acosta V, & Gallego-Juárez J. Computational study of ultrasound-assisted drying of food materials. *Innovative Food Processing Technologies: Advances in Multiphysics Simulation*. John Wiley & Sons Ltd. 2011; 265-301.

# CARACTERÍSTICAS VISCOELÁSTICAS Y CONDICIONES DE GERMINACIÓN DE TRES VARIEDADES DE MAÍZ

## VISCOELASTIC CHARACTERISTICS AND GERMINATION CONDITIONS OF THREE MAIZE VARIETIES

Leidy M. MONTOYA. Dr (c) <sup>1\*</sup>, Aida R. STOUVENEL. Ph.D<sup>2</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes:** El objetivo de este trabajo fue evaluar las características viscoelásticas de masas elaboradas a partir de maíz amarillo común, maíz blanco y maíz QPM así como su viabilidad para la germinación. **Métodos:** Los granos utilizados correspondieron a maíz (*Zea mays*) de tres variedades, amarillo común (MA), blanco común (MB) y QPM amarillo (QPM). Se elaboraron harinas a partir de los granos y se mezclaron con agua para formar masas, realizando pruebas de relajación y de análisis de perfil de textura. Se establecieron las condiciones óptimas de germinación de los granos de maíz. Las curvas de relajación resultantes se ajustaron de acuerdo a los modelos de Peleg y Maxwell. Las diferencias significativas se determinaron usando análisis de varianza con el paquete estadístico SPSS (LEAD Technologies, US). **Resultados:** Los valores de dureza fueron significativamente mayores para muestras QPM ( $5.99 \pm 0.29$  N) respecto a maíz amarillo ( $3.74 \pm 0.28$ ) y blanco ( $3.33 \pm 0.33$ ). Las constantes obtenidas mediante el modelo de Maxwell presentaron buen ajuste ( $R^2$  0.995-0.998 y RMSE 0.031-0.032). El maíz blanco mostró valores más bajos de  $E_1$ ,  $E_2$ , y  $E_3$ , indicando un comportamiento sólido elástico inferior respecto al maíz amarillo común y amarillo QPM. El menor valor de  $a$  se presentó para el maíz QPM, indicando un comportamiento viscoelástico sólido. Las tres variedades de maíz estudiadas mostraron buena capacidad para germinar, siendo mayor para el maíz amarillo común (98%), seguido por maíz blanco (97%) y maíz QPM (92%). **Conclusión:** El

maíz QPM amarillo presenta un comportamiento más sólido elástico que el maíz blanco y amarillo común. Las propiedades viscoelásticas de QPM permitirían un mejor funcionamiento de sus masas para el desarrollo de productos libres de gluten. Las condiciones de germinación adecuadas para estas variedades de maíz corresponden a temperaturas de 28°C y humedad relativa de 87%. El uso de temperaturas de 55°C es adecuado en el secado de maíz que será objeto de investigaciones académicas.

**Palabras clave:** Maíz, relajación, germinación.

### ABSTRACT

**Background:** The viscoelastic characteristics of dough made of maize (*Zea mays*) and the germination viability of the grains was measured. **Methods:** Three varieties of maize was used: common yellow (MA), common white (MB) and QPM yellow (QPM) maize. Texture profile analysis and stress relaxation test were performed. The suitable conditions for germination of maize were set. The stress relaxation test were adjusted according to Peleg and Maxwell models. The results were expressed as the mean of 3 replicates and the standard deviation. Significant differences were determined using an analysis of variance (ANOVA) using the SPSS statistical package (LEAD Technologies, US). **Results:** QPM samples had significantly higher hardness values ( $5.99 \pm 0.29$  N) than yellow ( $3.74 \pm 0.28$ ) and white ( $3.33 \pm 0.33$ ) maize. The constants Maxwell had a good fit ( $R^2$  0.995-0.998 and 0.031-0.032). White maize showed lowest values of  $E_1$ ,  $E_2$  and  $E_3$ , which indicates an

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería. Grupo de Investigación GIPAB. Universidad del Valle, Colombia.

<sup>2</sup> Profesora de la Escuela de Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ingeniería. Grupo de investigación GIPAB Universidad del Valle, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: leidy Marcela montoya@gmail.com

elastic solid behavior lowest than yellow and QPM maize. The lowest value of the coefficients “a” and “b” was found in QPM samples. It indicates a higher solid viscoelastic behavior than other samples. The three varieties of maize showed a good ability to germinate. The germination viability was higher in MA (98%) than MB (97%) and QPM (92%). **Conclusions:** The yellow QPM has a stronger elastic behavior than the common yellow and white maize. The viscoelastic properties of QPM can favor the baking processes of gluten-free products. Temperature 28°C and relative humidity 87% are adequate for the germination of these varieties of maize. Temperature 55°C is suitable for drying maize which will be academic research.

**Keywords:** Maize, stress relaxation, germination.

Nomenclatura	
A	Área (m <sup>2</sup> )
a y b	Constantes de Peleg
E	Módulo de elasticidad (kPa)
Ee	Módulo de elasticidad en equilibrio (kPa)
EA	Módulo de elasticidad asintótico residual (kPa)
λ	Tiempo de relajación (s)
η	Coefficiente de viscosidad (kPa·s)
σ	Esfuerzo (kPa)
γ	Deformación (cm ó m)

## INTRODUCCIÓN

Al reemplazar el trigo por cereales libres de gluten se producen cambios en la calidad de los productos de panificación (1,2). La germinación de cereales y pseudocereales es una técnica sencilla que aumenta el contenido de nutrientes, mejora la disponibilidad de proteínas, almidones y minerales, reduce el contenido de antinutrientes y mejora las propiedades funcionales de las harinas, representando un potencial en el desarrollo de productos libres de gluten (3–6). Diferentes factores contribuyen al desarrollo óptimo de las masas libres de gluten, entre ellos la variedad del cereal y las condiciones de procesamiento. El objetivo de este trabajo fue evaluar las características viscoelásticas de masas elaboradas a partir de maíz amarillo común, maíz blanco y maíz QPM así como su viabilidad para la germinación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia prima

Los granos utilizados corresponden a maíz (*Zea mays*) adquiridos en la Federación Nacional de Cerealeros (FENALCE) de las variedades FNC 8134 (Amarillo común), FNC 3056 (Blanco común) y FNC 31AC (QPM amarillo).

### Preparación de masas para pruebas viscoelásticas

Los granos sin germinar se sometieron a molienda en molino de martillos, pasando las muestras a través de un tamiz #100. Las harinas se empacaron en bolsas de polietileno y se almacenaron en refrigeración a 4°C. Las muestras se obtuvieron mezclando harina y agua durante 15 minutos. Las masas tuvieron un tiempo de reposo de 30 minutos después de formar los cilindros.

### Análisis de perfil de textura (TPA)

El TPA se determinó en un equipo de análisis de textura (EZ Text, Shimadzu Corp., Kioto, Japan) con celda de carga de 500 N, equipado con una sonda cilíndrica (5 cm de diámetro). Se formaron cilindros de masas de 25 mm de diámetro y 22 mm de altura. La masa se ubicó sobre una base plana de aluminio y se comprimió usando dos ciclos de compresión del 40%, con una velocidad de cabezal constante de 50 mm/min.

### Relajación

Cilindros de masas de 25 mm de diámetro y 22 mm de altura, se comprimieron hasta un 40% de su altura a una velocidad de 10 mm/min, por 600 segundos (7,8). Los modelos utilizados para explicar la relajación de las muestras corresponden a Maxwell (Ecuación 1) y Peleg (Ecuación 2).

$$\sigma(t) = \gamma \left[ E_e + \sum E_i \exp(-t/\lambda_i) \right] \quad (1)$$

$$\frac{\sigma_0 * t}{\sigma_0 - \sigma(t)} = \frac{1}{ab} + \frac{t}{a} \quad (2)$$

Donde:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

$$\eta = \lambda * E \quad (4)$$

Las curvas de relajación resultantes fueron linealizadas de acuerdo al método de Peleg, haciendo uso de la hoja de cálculo Microsoft Excel. Los paráme-

tros del modelo de Maxwell se calcularon mediante el uso del software Matlab R2014a.

**Viabilidad de las semillas a la germinación**

El maíz se germinó estableciendo modificaciones a las metodologías sugeridas por Chaparro *et al.*, 2011 (9) y Bhattacharyya *et al.*, 2007 (10). Los granos se sometieron a limpieza manual para remover impurezas y posterior lavado con agua a temperatura ambiente para remover las saponinas. Las semillas se lavaron con agua potable, se desinfectaron con TEGO 51 y se enjuagaron con agua potable. Las semillas destinadas a germinación se pusieron en remojo durante 24 horas, luego se escurrieron y se ubicaron sobre bandejas previamente limpias y desinfectadas a temperatura y humedad controladas.

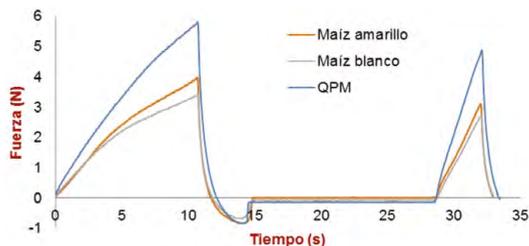
**Análisis estadístico**

Los resultados se expresaron como el promedio de los triplicados y su desviación estándar. Las diferencias significativas se determinaron usando análisis de varianza con el paquete estadístico SPSS (LEAD Technologies, US).

**RESULTADOS**

**Análisis de perfil de textura**

En la figura 1 se presentan las curvas de perfil de textura. Los valores de dureza (fuerza máxima en el primer ciclo de compresión) fueron significativamente mayores para muestras QPM (5.99±0.29 N) indicando una mayor firmeza de las masas en esta variedad de maíz respecto a maíz amarillo (3.74±0.28) y blanco (3.33±0.33).

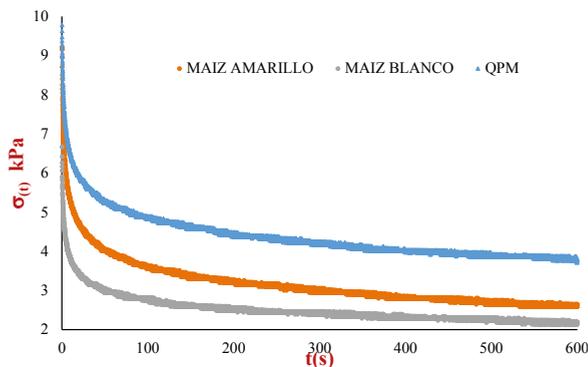


**Figura 1.** TPA de masas elaboradas a partir de diferentes variedades de maíz

**Relajación**

Las curvas de relajación para masas de maíz (Figura 2) presentaron una tendencia decreciente del

esfuerzo respecto al tiempo de relajación indicando un comportamiento viscoelástico.



**Figura 2.** Curvas de relajación para masas de maíz

*Modelo de Maxwell.*

Las constantes obtenidas mediante el modelo de Maxwell se muestran en la tabla 1. Éstas presentaron buen ajuste ( $R^2$  0.995-0.998 y RMSE 0.031-0.032).

**Tabla 1.** Constantes del modelo de Maxwell

Constantes	Muestras		
	MA	MB	QPM
$E_c$ (kPa)	2.55±0.16 <sup>a</sup>	2.02±0.02 <sup>a</sup>	3.95±0.37 <sup>b</sup>
$E_1$ (kPa)	1.86±0.05 <sup>b</sup>	1.18±0.07 <sup>a</sup>	1.92±0.20 <sup>b</sup>
$\lambda_1$ (s)	22.13±1.70 <sup>a</sup>	30.10±2.15 <sup>b</sup>	22.12±2.30 <sup>a</sup>
$E_2$ (kPa)	1.73±0.08 <sup>b</sup>	0.99±0.09 <sup>a</sup>	1.93±0.19 <sup>b</sup>
$\lambda_2$ (s)	251.57±47.63 <sup>a</sup>	306.60±25.29 <sup>a</sup>	257.37±20.73 <sup>a</sup>
$E_3$ (kPa)	2.81±0.11 <sup>b</sup>	1.98±0.13 <sup>a</sup>	2.82±0.35 <sup>b</sup>
$\lambda_3$ (s)	2.00±0.04 <sup>a</sup>	2.53±0.09 <sup>b</sup>	2.04±0.17 <sup>a</sup>
$R^2$	0.998	0.995	0.998

Los valores con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

*Modelo de Peleg*

Los datos ajustaron adecuadamente al modelo de Peleg con un  $R^2$  de 0.999. Los valores de las constantes a y b se presentan en la tabla 2.

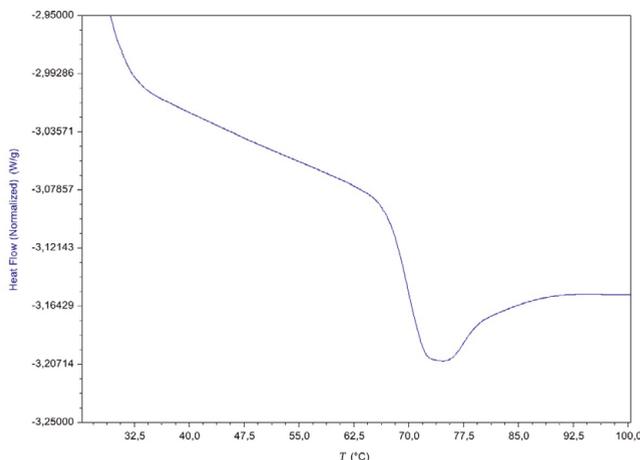
**Tabla 2.** Parámetros del modelo de Peleg

Muestra	$F_{max}$ (N)	a	b
MA	4.692±0.163 <sup>b</sup>	0.735±0.003 <sup>c</sup>	0.049±0.002 <sup>ab</sup>
MB	3.358±0.144 <sup>a</sup>	0.697±0.015 <sup>b</sup>	0.056±0.004 <sup>b</sup>
QPM	5.558±0.551 <sup>c</sup>	0.651±0.007 <sup>a</sup>	0.045±0.001 <sup>a</sup>

Los valores con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

### Germinación

Las tres variedades de maíz estudiadas presentaron buena capacidad para germinar, siendo mayor para el maíz amarillo común (98%), seguido por maíz blanco (97%) y maíz QPM (92%). La figura 3 corresponde al termograma para harina de maíz obtenido a través del uso de DSC (Calorímetro diferencial de barrido), donde se observa que la temperatura de inicio de gelatinización fue de 67.6°C y la temperatura pico fue de 72.7°C.



**Figura 3.** Termograma obtenido por calorimetría diferencial de barrido (DSC) para harina de maíz.

## DISCUSIÓN

### Textura y relajación

Las curvas de relajación para masas presentaron un comportamiento viscoelástico típico de este tipo de alimentos, como sucede con masas de yuca (8) y pan de trigo (11). Los parámetros del modelo de Maxwell y Peleg permiten explicar con mayor detalle el comportamiento viscoelástico de un alimento. El esfuerzo residual ( $E_r$ ) que corresponde al esfuerzo después de un largo tiempo de relajación (12), presentó valores significativamente mayores en masas de QPM, indicando que el alimento permanece no relajado (Tabla 1). Las constantes  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  representan los componentes elásticos y suministran una medida de la elasticidad del material alimentario. El maíz blanco presentó valores más bajos de  $E_1$ ,  $E_2$ , y  $E_3$  indicando un comportamiento sólido elástico inferior respecto al maíz amarillo común y amarillo QPM.

La constante  $a$  obtenida por el modelo de Peleg representa el nivel al que el esfuerzo disminuye durante la relajación, encontrándose entre 0 y 1. En el primer caso, indica que el esfuerzo no se relaja, comportamiento típico de sólidos elásticos, mientras que en el segundo caso, se relaja completamente, típico de líquidos viscosos (12). Por otro lado, la constante  $b$  está relacionada con la velocidad a la cual el esfuerzo se relaja.

El menor valor de  $a$  se presentó para el maíz QPM, indicando un comportamiento viscoelástico sólido (Tabla 2). En maíz QPM el comportamiento próximo a sólido-elástico se incrementa, a la vez que disminuye la velocidad de relajación al presentar un valor menor del parámetro  $b$  (Tabla 2). De las tres variedades estudiadas, el maíz QPM presentó mejores características viscoelásticas, lo cual puede deberse a que este híbrido, presenta mayor cantidad de proteína con relación a las demás variedades estudiadas. Pérez et al., 2009 (13) the granule structure, and the natures and amounts of the lipid and protein molecules present in granules vary with the botanical source of the starch. Starch granules are mainly found in seeds, roots, and tubers, but are also found in stems, leaves, fruits, and even pollen. They occur in all shapes and sizes (spheres, ellipsoids, polygons, platelets, irregular tubules indicaron que la presencia de proteínas y lípidos en la superficie de los gránulos de almidón mejora las propiedades viscoelásticas y de horneado de masas. La proteína presente en el QPM podría estar favoreciendo el establecimiento de redes que aumentan la viscoelasticidad de las masas.

### Germinación

La germinación de cereales representa una herramienta potencial en el desarrollo de productos libres de gluten, debido al mejoramiento de las propiedades nutricionales y texturales de productos de panificación. La viabilidad para la germinación es uno de los parámetros que permite establecer si el maíz es apto o no para el proceso. Aunque la germinación puede darse de manera natural en condiciones ambientales, es necesario garantizar condiciones controladas para reducir al mínimo la influencia de factores externos sobre las variables de respuesta.

La germinación se realizó en cámara ambiental, resultando adecuadas para la germinación de maíz, temperatura de 28°C y humedad relativa de 87%. Dependiendo del objetivo de la germinación se

pueden establecer tiempos desde 24 hasta 96 horas. Las tres variedades de maíz presentaron buena capacidad para germinar. Una vez finalizada la germinación, el proceso se detiene mediante el secado de los granos, evitando el uso de temperaturas mayores a las temperaturas de gelatinización del maíz. Se recomienda el uso de temperaturas menores a la temperatura de inicio de gelatinización de la harina de maíz, que para este caso fue de 67.6°C, mientras que la temperatura pico fue de 72.7°C (Figura 3).

## CONCLUSIÓN

El maíz QPM amarillo presenta un comportamiento más sólido elástico que el maíz blanco y amarillo común. Las propiedades viscoelásticas de QPM permitirían un buen funcionamiento de sus masas para el desarrollo de productos libres de gluten. Las condiciones de germinación adecuadas para estas variedades de maíz corresponden a temperaturas de 28°C y humedad relativa de 87%. El uso de temperaturas de 55°C es adecuado en el secado de maíz cuando se quiere evitar cambios en la matriz alimentaria al alcanzar la temperatura de gelatinización.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por L'Oréal-UNESCO (Programa Nacional de becas L'Oréal – UNESCO For Women in Science).

## REFERENCIAS

1. Miñarro B. Development of gluten-free bread formulations (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Barcelona, España; 2013. 164 p.
2. Sciarini L. Estudio del efecto de diferentes aditivos sobre la calidad y la conservación de panes libres de gluten (Tesis doctoral). Universidad Nacional de La Plata; 2011. 212p.
3. Afify AE, El-Beltagi HS, El-Salam SMA, Omran AA. Protein solubility, digestibility and fractionation after germination of sorghum varieties. *PLoS One*. 2012 Jan;7(2):1-6.
4. Omary MB, Fong C, Rothschild J, Finney P. Effects of Germination on the Nutritional Profile of Gluten-Free Cereals and Pseudocereals: A Review. *Cereal Chem*. 2012 Jan;89(1):1-14.
5. Bellaio S, Kappeler S, Zamprogna E, Jacobs M. Partially germinated ingredients for naturally healthy and tasty products. *Cereal Foods World*. March-April 2013;58(2):55-9.
6. Elkhalfa AEO, Bernhardt R. Influence of grain germination on functional properties of sorghum flour. *Food Chem*. Elsevier Ltd; 2010 Jul;121(2):387-92.
7. Bhattacharya S. Stress relaxation behaviour of moth bean flour dough: Product characteristics and suitability of model. *J Food Eng [Internet]*. Elsevier Ltd; 2010 April;97(4):539-46.
8. Rodríguez SE, Fernández QA, Cuvelier G. Stress relaxation of reconstituted cassava dough. *LWT - Food Sci Technol*. 2009 Jan; 42(1):202-6.
9. Chaparro D, Pismag R, Elizalde A. Efecto de la germinación sobre el contenido de hierro y calcio en amaranto, quinua, guandul y soya. *Biotechnol en el Sect Agropecu y Agroindustrial*. 2011;9(1):51-9.
10. Bhattacharyya P, Ghosh U, Gangopadhyay H, Raychaudhuri U. Effects of thermal treatments and germination on physico-chemical properties of corn flour. *African J Biotechnol*. 2007;6(8):994-9.
11. Del Nobile MA., Chillo S, Mentana A., Baiano A. Use of the generalized Maxwell model for describing the stress relaxation behavior of solid-like foods. *J Food Eng*. 2007 Feb; 78(3):978-83.
12. Steffe JF. *Rheological methods in food process engineering*. 2.<sup>a</sup> ed. Freeman Press, editor. East Lansing, Michigan, USA; 1992. 428 p.
13. Pérez S, Baldwin PM, Gallant DJ. *Structural Features of Starch Granules I*. *Starch*. Third Edit. Elsevier Inc.; 2009. 149-92 p.

# ESTABILIDAD FÍSICA DE ADEREZOS EMULSIONADOS CON ADICIÓN DE UCHUVA (*Physalis peruviana L.*)

PHYSICAL STABILITY OF EMULSIFIED DRESSINGS WITH THE ADDITION OF CAPE GOOSEBERRY (*Physalis peruviana L.*)

M.I.SÁNCHEZ TAMAYO MSc,<sup>1\*</sup>, C.A. VÉLEZ PASOS Ph.D<sup>1</sup>, A. FERNÁNDEZ QUINTERO, Ph.D<sup>1</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** El desarrollo de nuevos productos a partir de los frutos de uchuva representa una alternativa para su explotación y promoción de nuevos canales de exportación teniendo en cuenta sus propiedades nutricionales y el aumento de la producción en Colombia. Las salsas y aderezos son una alternativa para el uso de la uchuva debido a su alto consumo en diferentes preparaciones alimenticias y a la tendencia de alimentación saludable. **Objetivos:** Estudiar la estabilidad física de un aderezo emulsionado con adición de jugo de uchuva, yema de huevo deshidratada, aceite vegetal y goma xantán en función del índice de cremado y microscopía. **Métodos:** Para la preparación de los aderezos se utilizó jugo de uchuva con 14,5°Brix, aceite vegetal, goma xantán, yema de huevo deshidratada y vinagre comercial. Las muestras se almacenaron durante 28 días a 8°C. Se desarrollaron 19 tratamientos usando un diseño de mezclas con vértices extremos y tres repeticiones en puntos centrales. Se utilizó un análisis de varianza con niveles de significancia mayores del 95% para determinar la influencia de las concentraciones de los ingredientes y se planteó un modelo de segundo orden para predecir el punto óptimo. El índice de cremado se utilizó para determinar la estabilidad de los aderezos y con la microscopía se observó la distribución de las gotas de aceite durante el almacenamiento. **Resultados:** Con el índice de cremado se descartaron las muestras que presentaron separación de fases, el análisis de varianza mostró influencia significativa de las interacciones de la goma xantán y yema de huevo con los demás componentes en la estabilidad de los aderezos. En el análisis de distribución de las gotas de aceite se identificó el fenómeno de coa-

lencia. **Conclusiones:** La goma xantán influyó significativamente en la estabilidad de los aderezos, inhibiendo la separación de fases. El mecanismo de desestabilización física predominante fue el cremado, ocasionado principalmente por la coalescencia de las gotas de aceite.

**Palabras clave:** Uchuva, estabilidad, microscopía, emulsión, aderezo

## ABSTRACT

**Background:** The development of new products from the cape gooseberry fruit is an alternative to exportation, considering its nutritional properties and increased production in Colombia. Sauces and dressings are an option for adding cape gooseberry due to its high consumption in various food preparations and the healthy eating trend. **Objectives:** The study focuses on the physical stability of an emulsified dressing with the addition of cape gooseberry juice, vegetable oil and xanthan gum based in the creaming index and microscopy. **Methods:** Cape gooseberry juice with 14.5 ° Brix, vegetable oil, xanthan gum, dehydrated egg yolk and vinegar was used for the preparation of dressings. Samples were stored for 28 days at 8 °C. An extreme vertices mix design with 19 trials and three replications at central points were developed. An analysis of variance with higher significance levels of 95% was used to determine the influence of the concentrations of the ingredients and a second order model was proposed to predict the optimum point. The creaming index was used to determine which samples exhibited showing the phenomenon of destabilization, and microscopy was used to observe the distribution of the oil droplets during storage. **Results:** Using the creaming index, the samples

<sup>2</sup> Grupo de Investigación Ingeniería de Procesos Agroalimentarios y Biotecnológicos (GIPAB). Escuela de Ingeniería de Alimentos. Universidad del Valle Calle 13 #100-00. Cali, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: martha.isabel.sanchez@correounivalle.edu.co

presenting phase separation were discarded. Analysis of variance showed a significant influence of the interactions of xanthan gum and egg yolk with the other components in the stability of the dressings. Coalescence of the oil droplets was identified in the microscopy analysis. **Conclusions:** Xanthan gum influenced the stability of dressings significantly which inhibited inhibiting phase separation. The predominant mechanism of physical destabilization was creaming, and was caused principally by the coalescence of the oil droplets.

**Keywords:** Cape gooseberry, stability, emulsion, microscopy, dressing

## INTRODUCCIÓN

Actualmente Colombia es uno de los principales productores de uchuva a nivel mundial con exportaciones mayormente hacia el mercado Europeo. Sin embargo, el excedente de la fruta no destinada a la exportación puede alcanzar hasta el 50 % del total de la producción debido principalmente a la vida útil y a las características de calidad del fruto, lo que dificulta su comercialización como fruta fresca (1). Esto ha generado el desarrollo de nuevos productos a partir de la uchuva, como “snacks”, mermeladas, salsas y aderezos (2).

Se han realizado diferentes estudios relacionados con la adición de ingredientes derivados de frutas a los aderezos emulsionados con el propósito de modificar su sabor o disminuir contenido de aceite. Entre los ingredientes se encuentran la incorporación de fibra de pulpa de naranja para la fortificación de los aderezos con fibra dietaria (3); la adición de pulpa de banano verde como estabilizante en una emulsión tipo mayonesa (4) o la incorporación de estabilizantes naturales como la harina de lenteja tratada térmicamente (5).

Estos aderezos presentan comportamiento pseudoplástico y por su carácter de emulsión de aceite en agua son inestables en el almacenamiento, siendo propicios a la separación de fases mediante cremado, sedimentación o coalescencia de las gotas de aceite. El objetivo de este proyecto es estudiar la estabilidad física de un aderezo emulsionado con adición de uchuva en función del índice de cremado y microscopía para determinar la influencia de las concentraciones de jugo de uchuva, aceite vegetal, goma xantan y yema de huevo en la estabilidad física del aderezo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron frutos de uchuvas (*Physalis peruviana L.*) con un estado de madurez grado 4 según NTC 4530 (6). Los demás ingredientes, aceite vegetal de girasol, goma xantan y yema de huevo deshidratada se obtuvieron de proveedores locales. Se utilizó vinagre comercial (5% de ácido acético) para controlar el pH el cual fue de 3,45- 3,50 para todos los aderezos. Las uchuvas se lavaron con agua y se realizó un lavado adicional con solución de hidróxido de sodio aplicando acción mecánica con el propósito de retirar la capa de cera que tiene la fruta. Posteriormente se pasaron por una despulpadora (ESSEN D-50-KH, Colombia) para obtener un jugo libre de semillas y piel con una concentración de 13°Brix y un pH de 3,36 a 20°C. Finalmente el jugo se concentró hasta 14,5°Brix a una temperatura controlada de 65°C.

Para la elaboración de las emulsiones inicialmente se realizó la preparación de la fase acuosa con un equipo Ultra turrax (IKA+18, Alemania) basic para la mezcla de jugo de uchuva, vinagre y goma xantan, con agitación a una velocidad de 15500 rpm durante 2 min. Posteriormente se adicionó la yema de huevo previamente hidratada y se agitó durante 2 min a la misma velocidad. Una vez obtenida la fase acuosa se adicionó gradualmente el aceite durante 6 min. Finalmente la mezcla se agitó a 20.000 rpm durante 1 min para garantizar la homogeneidad de la emulsión. Los aderezos obtenidos se almacenaron en recipientes plásticos a 8°C durante 28 días.

La estabilidad física de los aderezos se determinó mediante el índice de cremado para lo cual se tomaron 10 ml de cada aderezo y se pasaron a tubos de ensayo según procedimiento descrito por Chatsisvilly (3), expresado mediante la Ecuación 1.

$$H(\%) = \frac{H_t}{H_0} \times 100 \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde  $H$  (%) es el índice de cremado,  $H_t$  es la altura visible de la capa separada y  $H_0$  es la altura inicial de la emulsión. Las mediciones se realizaron cada 7 días durante 28 días.

Para el análisis del tamaño de gota, se utilizó un microscopio óptico (Olympus CX-31, Japón) y una cámara digital (Nikon One Coolpix, Japón). Se tomaron muestras de 0,5 ml de los aderezos cada 7 días durante 28 días y se observaron utilizando el objetivo de 40X.

Para la selección del aderezo físicamente más estable se tuvo en cuenta un índice de cremado de 0% y una distribución uniforme de las gotas de aceite durante el almacenamiento sin aparición de los fenómenos de coalescencia o floculación.

Los valores máximos y mínimos de cada componente se seleccionaron de acuerdo a la norma NTC 4580 (7). Mediante el programa *Minitab 16* se realizó un diseño de mezclas de vértices extremos y 3 repeticiones en puntos centrales, para un total de 19 tratamientos con combinaciones de fracciones altas, medias y bajas (Tabla 1). Los pseudocomponentes mostrados en la tabla se convirtieron a los pesos correspondientes.

Se utilizó un análisis de varianza con significancia mayor al 95% ( $p < 0,05$ ). Adicionalmente se planteó un modelo de segundo orden, Ecuación 2, para predecir el punto óptimo.

$$Y = \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_3 C + \beta_4 D + \beta_5 AB + \beta_6 AC + \beta_7 AD + \beta_8 BC + \beta_9 BD + \beta_{10} CD \quad \text{Ecuación (2)}$$

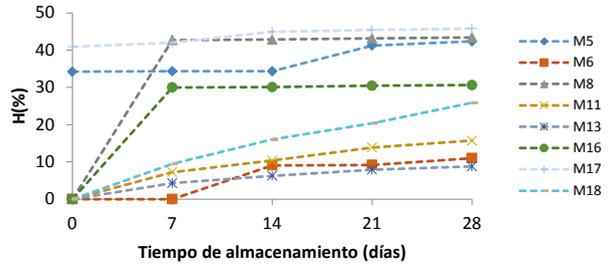
Donde  $Y$  es la variable de respuesta,  $\beta_i$  son los coeficientes de estimación y  $A, B, C$  y  $D$  son los componentes estudiados.

**Tabla 1.** Diseño de mezclas para la elaboración de aderezos (pseudocomponentes)

Tratamiento	Tipo	Jugo	Aceite	Xantán	Yema huevo
M1	0	0,694	0,302	0,002	0,003
M2	1	0,628	0,362	0,004	0,006
M3	1	0,755	0,241	0,004	0
M4	-1	0,721	0,271	0,003	0,004
M5	1	0,638	0,362	0	0
M6	-1	0,666	0,332	0,001	0,001
M7	-1	0,724	0,271	0,003	0,001
M8	1	0,753	0,241	0	0,006
M9	-1	0,664	0,332	0,003	0,001
M10	0	0,694	0,302	0,002	0,003
M11	-1	0,726	0,271	0,001	0,001
M12	1	0,634	0,362	0,004	0
M13	-1	0,663	0,332	0,001	0,004
M14	0	0,694	0,302	0,002	0,003
M15	1	0,749	0,241	0,004	0,006
M16	1	0,632	0,362	0	0,006
M17	1	0,759	0,241	0	0
M18	-1	0,723	0,271	0,001	0,004
M19	-1	0,661	0,332	0,003	0,004

## RESULTADOS

En la Figura 1 se observan los aderezos que presentaron cremado y que son considerados inestables. La Tabla 2 muestra el análisis de varianza para la selección del modelo.



**Figura 1.** Evolución del cremado  $H$  (%) para los aderezos a 8°C

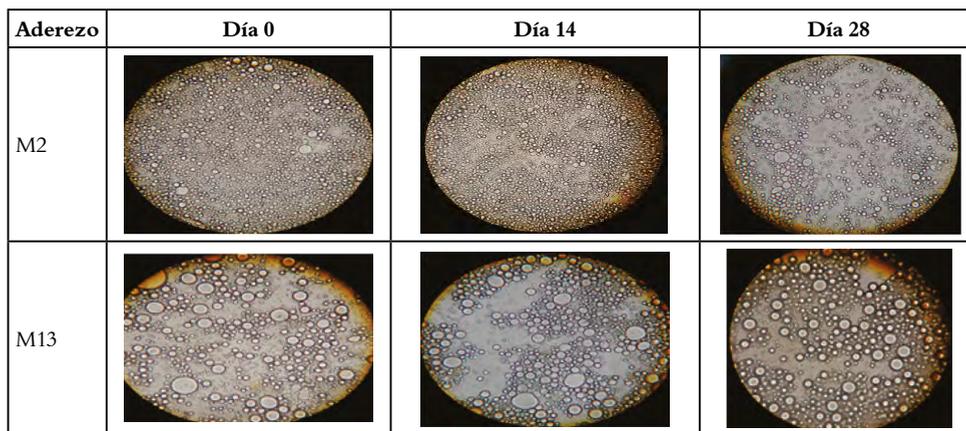
**Tabla 2.** Análisis de varianza para el índice de cremado  $H$  (%) a 8°C

Fuente	Valor P
Lineal	0,068
Cuadrática	0
jugo *aceite	0
jugo *goma	0,293
jugo *yema	0,125
aceite *goma	0,323
Falta de ajuste	0,08
$R^2 = 95,91\%$	

La Ecuación 3 muestra el modelo para el índice de cremado ( $H$ ) para los componentes aceite ( $A$ ), jugo de uchuva ( $J$ ), yema de huevo ( $Y$ ) y goma xantán ( $G$ )

$$H = 482,2J + 2337A + 238234 G - 10653,5 Y - 4828,3 JA - 255412JG + 12765,4JY - 239366AG \quad \text{Ecuación (3)}$$

La Figura 2 muestra el análisis de microscopía para dos aderezos. Los círculos en las imágenes representan las gotas de aceite y los espacios vacíos representan la fase acuosa de los aderezos.



**Figura 2.** Imágenes microscópicas de la emulsión M2 (Estable) y M13 (Con presencia de cremado) a 8°C. Magnificación de 40X.

## DISCUSIÓN

En la Figura 1 se observa que los aderezos sin yema de huevo y sin goma xantán (M5 y M17) fueron inestables desde el inicio del almacenamiento. Los aderezos que no presentaron cremado se consideran físicamente estables. Esta estabilidad se atribuye a las concentraciones adecuadas de yema de huevo y al aumento de la viscosidad de la fase acuosa debido a la goma xantán, lo cual impide el movimiento de las gotas de aceite disminuyendo la posibilidad de floculación o coalescencia (8).

El análisis de varianza muestra que el modelo cuadrático planteado presentó efecto significativo, así como la interacción Jugo\*Aceite. En la ecuación 5 se observa que la yema de huevo y las interacciones jugo\*goma y aceite\*goma ejercen un efecto negativo en el índice de cremado  $H$  (%), contribuyendo a la disminución de este parámetro.

En el análisis de microscopía de la Figura 2 se muestra el aderezo M2 como el más estable físicamente, debido a que no presenta separación de fases y mantiene una distribución uniforme de las gotas de aceite en el almacenamiento. También se observa que los espacios vacíos (sin gotas) tienden a ser más grandes en M13 que para M2, por tanto es posible sugerir un debilitamiento de los vínculos en el sistema emulsionado (5). Un aumento en el tamaño de las gotas de aceite en la muestra M13 indica la aparición del fenómeno de coalescencia.

Debido a la inestabilidad de los aderezos emulsionados, además de la estabilidad física también es necesario realizar estudios de estabilidad química y de comportamiento de flujo de este tipo de productos.

## CONCLUSIONES

El mecanismo de desestabilización predominante en los aderezos fue el cremado, el cual fue auspiciado principalmente por la coalescencia de las gotas de aceite durante el almacenamiento. Esta inestabilidad fue de origen físico, debida a las proporciones de los ingredientes en la emulsión.

El aumento de la proporción de goma xantán por encima de 0,002 genera emulsiones físicamente estables debido al aumento de la viscosidad de la fase acuosa lo que ocasiona disminución en el movimiento de las gotas de aceite.

El aderezo más estable físicamente en el almacenamiento fue el M2 con proporciones de jugo de uchuva 0.628, aceite 0.362, goma xantán 0.0040 y yema de huevo 0.0060.

## REFERENCIAS

1. Castro A, Rodríguez L, Vargas E. Secado de uchuva (*Physalis peruviana L*) por aire caliente con pretratamiento de osmodehidratación. Vitae. 2008;15(2):226–31.
2. Puente L a., Pinto-Muñoz C a., Castro ES, Cortés M. *Physalis peruviana Linnaeus*, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. Food Res Int. Elsevier Ltd; 2011;44(7):1733–40.
3. Chatsisvili NT, Amvrosiadis I, Kiosseoglou V. Physicochemical properties of a dressing-type o/w emulsion as influenced by orange pulp fiber incorporation. LWT - Food Sci Technol. Elsevier Ltd; 2012 Apr ;46(1):335–40.
4. Izidoro DR, Scheer AP, Sierakowski M-R, Haminiuk CWI. Influence of green banana pulp on the rheological behaviour and chemical characteristics of emulsions (mayonnaises). LWT - Food Sci Technol. 2008;41(6):1018–28.
5. Ma Z, Boye JI, Fortin J, Simpson BK, Prasher SO. Rheological, physical stability, microstructural and sensory properties of salad dressings supplemented with raw and thermally treated lentil flours. J Food Eng. 2013;116(4):862–72.
6. NTC 4530. Norma Técnica Colombiana. Industrias alimentarias. Salsas o aderezos para ensaladas.
7. NTC 4580. Norma Técnica Colombiana. Frutas frescas. Uchuva. Especificaciones.
8. Arancibia C, Jublot L, Costell E, Bayarri S. Flavor release and sensory characteristics of o/w emulsions. Influence of composition, microstructure and rheological behavior. Food Res Int. Elsevier Ltd; 2011;44(6):1632–41.

# EVALUACIÓN DE LOS EXTRACTOS CRUDOS DE ALOE VERA *BARBADENSIS* RECOLECTADAS EN DOS PERIODOS DEL DÍA

## EVALUATION OF CRUDE EXTRACTS OF ALOE VERA *BARBADENSIS* COLLECTED IN TWO PERIODS OF THE DAY

Hugo de Jesús HENAO MEJÍA<sup>1\*</sup>, Germán GIRALDO G<sup>2</sup>, Zaira T. MARIN-ARANGO<sup>3</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes:** El Aloe vera ha presentado un comportamiento similar a las plantas con metabolismo CAM (metabolismo ácido de las crasuláceas); estas plantas han crecido en sitios donde la disponibilidad de agua ha sido irregular y la temperatura se ha convertido en una gran limitante. Se ha buscado conocer cada día el comportamiento y la respuesta de adaptación de algunas plantas ante situaciones adversas. **Objetivo:** Se han analizado los extractos crudos de la pulpa Aloe vera, de hojas de plantas cultivadas y recolectadas en periodo de luminosidad y oscuridad. **Métodos:** Se han tomado las hojas de Aloe vera de plantas recolectadas a las 6 am y 6 pm y se les ha quitado la corteza con un cuchillo previamente esterilizado hasta dejar sólo la pulpa, se han colocado en una superficie de plástico para ser cortados los cristales en forma de cubos, los cuales se les han evaluado las características fisicoquímicas como: actividad de agua, color, sólidos solubles, para pH y acidez, se requiere que estén en solución, los cubos se han macerado en un mortero. Y se vierten en un recipiente para su valoración. Las pruebas realizadas se han hecho por triplicado. Los resultados se han analizado empleando el paquete estadístico Statgraphics centurión. Evaluando la influencia e interacción de los factores con respecto a los parámetros fisicoquímicos. **Resultados:** Los cristales de aloe vera recolectados en la mañana presentaron diferencias significativas en el pH y la acidez, siendo el pH menor en la mañana y consecuentemente la acidez alta, la actividad de agua y los sólidos solubles fueron mayores en la mañana y el color (en b\*) presentó diferencias, siendo mayor a las 6 de la tarde. **Conclusiones:** Los productos de

interés que se encuentran en las hojas de Aloe vera *Barbadensis* presentaron mayor concentración en la mañana, en especial oligosacáridos, Se sugiere su recolección en este periodo de tiempo.

**Palabras clave:** Metabolismo CAM, luminosidad, cristales, Aloe vera, Oligosacáridos

### ABSTRACT

**Background:** Aloe vera has presented a behavior similar to plants with CAM metabolism (Crassulaceae acid metabolism) These plants have been grown in areas where water availability has been irregular and the temperature become a major constraint. You searched meet everyday behavior and adaptive response of some plants to adverse situations. **Objective:** We analyzed the crude extracts of Aloe vera pulp, leaves from plants grown and harvested in a period of light and darkness. **Methods:** We have taken leaves of Aloe vera plant collected at 6 am and 6 pm and has taken away the bark with a knife previously sterilized until only the pulp, They have been placed on a plastic surface crystals to be cut into cubes, which were evaluated as the physicochemical characteristics: water activity, color, soluble solids, pH and acidity, are required to be in solution, the cubes were macerated in a mortar. And pour into a container for evaluation. The tests were done in triplicate. The results were analyzed using the statistical package Statgraphics Centurion. Assessing the influence and interaction of factors regarding the physicochemical parameters. **Results:** aloe vera crystals collected in the morning showed significant differences in pH and acidity, with lower pH in the morning and consequently high acidity, water activity and soluble solids were higher in the morning

<sup>1</sup> Candidato a Magister en Química Grupo de Investigación Agroindustria de Frutas Tropicales. Universidad del Quindío.

<sup>2</sup> Doctor en Tecnología de Alimentos, Docente Investigador, Universidad del Quindío

<sup>3</sup> Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Docente Investigador, Universidad del Quindío

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

and color ( $b^*$ ) presented differences, being higher at 6 pm. **Conclusions:** Items of interest to be found in the leaves of Aloe vera *Barbadensis* showed higher concentration in the morning, especially oligosaccharides, harvesting is suggested in this period.

**Keywords:** CAM metabolism, light, glass, Aloe vera. oligosaccharides

## INTRODUCCIÓN

El aloe vera al igual que las plantas CAM crece en las zonas semiáridas, para ello presentan cutículas gruesas, pocos estomas y bastante succulencia. El cierre estomático durante el día evita la transpiración, conservando el agua captada en la noche (1).

Durante la fase nocturna, el ácido málico se forma a partir de carbohidratos de reserva tales como almidón, glucanos o hexosas solubles, y la captación de  $\text{CO}_2$ , que se almacenan en la vacuola central (2). La succulencia y grosor de la hoja son componentes anatómicos importantes en las plantas CAM, resultantes de la presencia de grandes vacuolas para almacenar ácidos orgánicos acumulados durante la noche (3). Un mayor grado de succulencia puede resultar en una reducción en el espacio intercelular de aire que limita la conductancia interna para  $\text{CO}_2$  (4). La apertura de estomas genera un menor déficit de presión de vapor, este es un mecanismo que la planta utiliza para evitar la pérdida de agua debido a un menor gradiente de presión de vapor entre el estoma y el aire; asimismo, al estar los estomas abiertos, éstos permiten la entrada de  $\text{CO}_2$  (5). El objetivo de este trabajo es analizar los extractos crudos de la pulpa *Aloe vera Barbadensis*, en hojas de plantas recolectadas en periodos de luminosidad y oscuridad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material vegetal

Las hojas de aloe vera se recolectaron de plantas de 2 años de edad, a las 6 am y a las 6 pm, se protegieron con papel periódico y se almacenaron en una caja de poliestireno hasta su traslado al laboratorio, donde se procesaron para su análisis.

### Preparación de muestras de Aloe vera

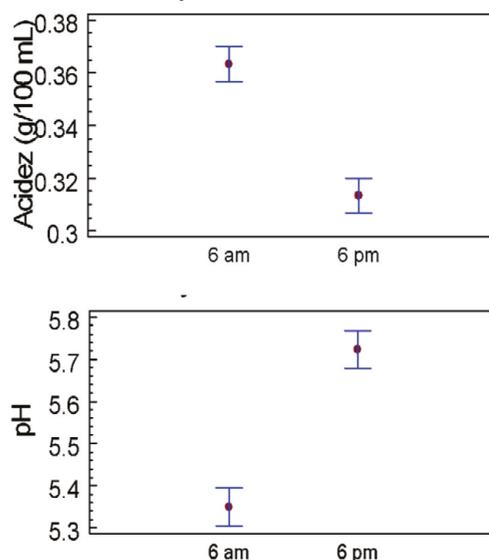
Las hojas de Aloe vera se lavaron con agua destilada, se le retiraron las puntas y la cutícula externa con un cuchillo de acero inoxidable, los cristales extraídos se trozaron en cubos.

## Análisis fisicoquímico

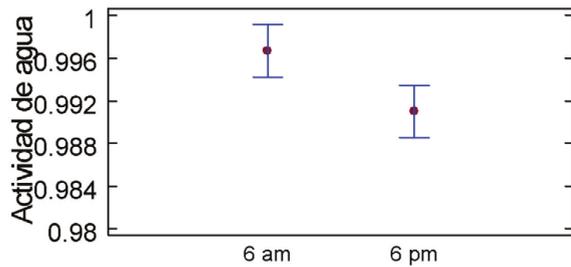
Actividad de agua ( $a_w$ ) fue realizada por el método AOAC 978.18, utilizando un higrómetro de punto de rocío marca AQUALAB DECAGÓN 3TE, a  $25^\circ\text{C}$  (6). El pH se midió con un potenciómetro IQ-240, introduciendo 1.0 cm el electrodo para sólidos en la pulpa, el pHmetro se calibró previamente con soluciones buffer de pH 4 y 7, según método (AOAC 981.12/90 (AOAC, 1990) (7). El color se determinó por medio de un colorímetro Minolta CR-10 en el sistema CIE-LAB, con el cual se obtuvieron las coordenadas de color CIE  $L^* a^* b^*$ , tono o matiz ( $h^*$ ) y el croma o saturación ( $C_{ab}^*$ ), lecturas se realizaron en diferentes zonas superficiales de la pulpa, los valores triestimulo  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  fueron suministrados en forma directa por el equipo, según el método de AOAC 920.43 (8). Los sólidos solubles ( $^\circ\text{Brix}$ ) se determinaron en un refractómetro de mesa Thermo Electron Corporation (ABBE-3L) a una temperatura de  $20^\circ\text{C}$  según método A.O.A.C. 932.12 (9). La acidez titulable se realizó por el método AOAC 942.15 (AOAC, 1990) (10), tomando un macerado de los cristales de Aloe vera y diluido al 10% se tituló con NaOH al 0.1M estandarizado.

Los resultados del análisis fisicoquímicos se evaluaron empleando el paquete estadístico statgraphics centurion, utilizando análisis de varianza (ANOVA) mediante comparación de muestras por el método de diferencia mínima significativa de Fisher (LSD) con un 95,0% de nivel de confianza, evaluando muestras de Aloe vera recolectadas a las 6 am y 6 pm.

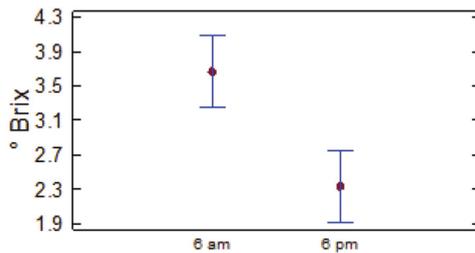
## RESULTADOS



**Figura 1.** Muestra los resultados de la acidez (g/100mL) y pH en cristales de Aloe vera recolectados a las 6 am y 6 pm.



**Figura 2.** Presenta los resultados del parámetro Actividad de agua en cristales de Aloe vera recolectada a las 6 am y 6 pm.



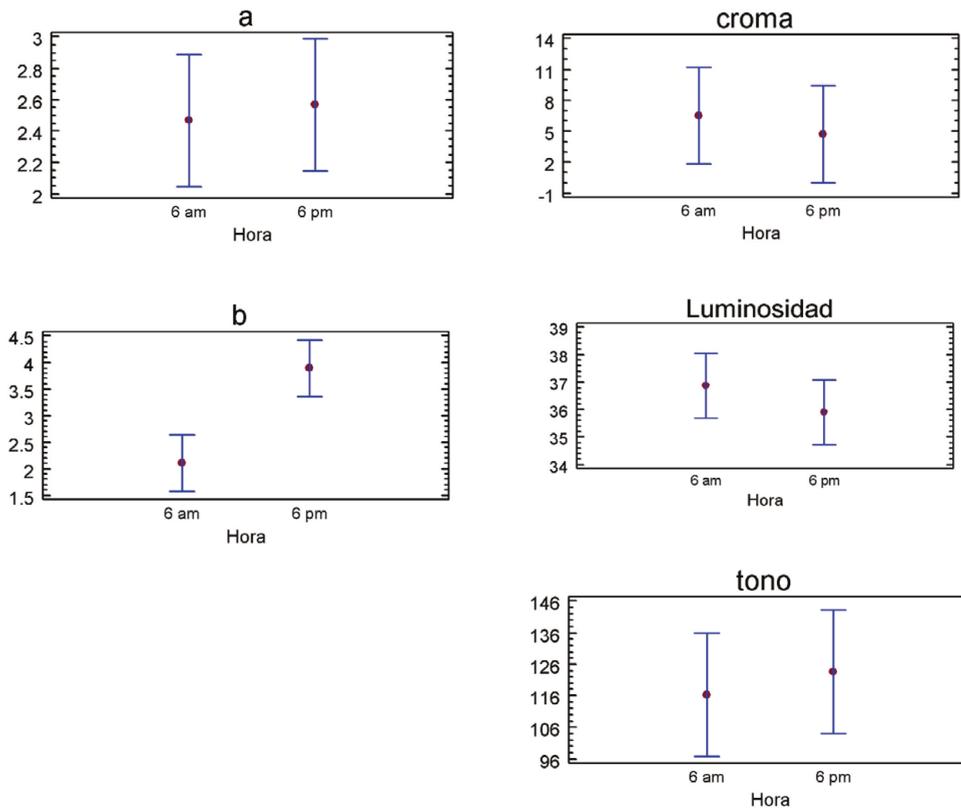
**Figura 3.** Muestra los resultados del ANOVA de los °Brix.

## DISCUSIÓN

Los resultados del ANOVA evidencian fuertes diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los cristales de Aloe vera, las muestras recolectadas a las 6 am presentaron una mayor acidez y por ende un menor pH (figura 1), este resultado se debe a que las plantas CAM fijan  $CO_2$  y lo acumulan para sintetizar ácidos orgánicos en la vacuola durante la fase nocturna, predominantemente en ácido málico (11).

El incremento en la acidez tisular es proporcional a la concentración de ácido málico en las vacuolas de las células, ya que por cada molécula de  $CO_2$  fijada por una planta CAM se produce una molécula de ácido málico y dos iones de hidrógeno (12). Por otra parte se presenta un incremento de acemanano relacionado con la producción de ácido málico (13).

La actividad de agua en la figura 2 presentó diferencias estadísticas significativa ( $p < 0,05$ ) entre las muestras de Aloe vera tomadas a las 6 am y 6 pm, mostraron que los cristales recolectados a las 6 am tuvieron mayor cantidad de agua libre, esta diferencia es debido a que la planta de Aloe vera



**Figura 4.** Muestra los resultados de color en cristales de Aloe de Vera recolectadas a las 6 am y 6 pm.

presentó apertura estomática nocturna, captando agua y dióxido de carbono (14). En el Aloe vera, se encontró que en el día se induce un incremento de la fotorrespiración, como mecanismo de protección del sistema y que no conlleva fijación del CO<sub>2</sub> diurno (15).

En la figura 3 los grados °Brix en los dos periodos del día evidenciaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). En las muestras de Aloe vera recolectadas a las 6 am presentaron un mayor valor de °Brix, debido a que las plantas CAM desdoblan carbohidratos de reserva tales como almidón, glucanos o hexosas solubles en la fase nocturna (16).

El estrés al que se ve sometida el Aloe vera debido a la radiación incrementa carbohidratos solubles los cuales protegen a las células mediante la estabilización de las membranas y proporcionar ajuste osmótico (17).

En la figura 4 se observa que la muestra analizada para las variables luminosidad, tono, croma y  $a^*$  no presentaron diferencias estadísticas significativas, mientras que para  $b^*$  se presentó diferencias en el tiempo de recolección siendo más amarillo en la tarde que en la mañana (18). Esto es debido probablemente a que la concentración de aloína, se da principalmente en las horas de la tarde.

## CONCLUSIONES

Los parámetros que presentaron una mayor significancia en las muestras recolectadas a las 6 am fueron: el pH, la acidez, y sólidos solubles, debido a la mayor concentración de ácidos orgánicos y azúcares como acemanano y glucanos, que son propios del metabolismo de las plantas CAM y se puede decir que en la tarde se da la mayor acumulación de aloína.

## REFERENCIAS

1. Pérez J, Rodríguez R. Conductancia estomática y asimilación neta de CO<sub>2</sub> en sábila (aloe vera) bajo sequía. *rev. fitotec. Mex.* 2010, 33, (4):305-314.
2. Andrade J. De la Barrera E, Reyes-García C, Ricalde M, Vargas C. El metabolismo ácido de las crasuláceas: diversidad, fisiología

- ambiental y productividad Boletín de la Sociedad Botánica de México 2007. Bol. Soc.Bot.Méx. 81: 37-50.
3. Klaus W, Joseph A, Holtum M. Facultative crassulacean acid metabolism (CAM) plants: powerful tools for unravelling the functional elements of CAM photosynthesis. *Journal of experimental botanic.* 2014 March : 2-17
  4. Zambrano A, Lawson T, Olmos E, Fernandez- García N. Leaf anatomical traits which accommodate the facultative engagement of crassulacean acid metabolism in tropical trees of the genus *Clusia*. *J Exp Bot.* 2014 65 (13): 3513–3523.
  5. Holtum J, Edward W, Crassulacean acid metabolism (CAM) in an epiphytic ant-plant, *Myrmecodia beccarii* Hook.f. (Rubiaceae). *Tropical Biology, James Cook University, Townsville, QLD, 4811, Australia.* 2012 September, 113, (1): 311-320.
  6. AOAC, “Water Activity of Canned Vegetables” in *Official Methods of Analysis (AOAC, Gaithersburg, MD, 1995), method number 978.18.*
  7. Barrera J, Arazola G. Physical-chemist and physiologic characterization in the Harton plantain ripening process (*Musa AAB Simmonds*) in organic and conventional production systems. *Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.* 2010. Enero-,Marzo 59 (1).
  8. AOAC International. *Official Methods of Analysis.* Available online: <http://www.coma.aocac.org/> (accessed on 9 July 2013).
  9. AOAC, Association of Official Analytical Chemist; *Official methods of analysis, USA.* 2000.
  10. Programa conjunto fao/oms sobre Normas alimentarias comitè del codex sobre frutas y hortalizas elaboradas. [Internet] [Washington USA.11-15 de septiembre de 2000]. Disponible en: [ftp://ftp.fao.org/codex/Meetings/CCPFV/ccpfv20/pf00\\_07s.pdf](ftp://ftp.fao.org/codex/Meetings/CCPFV/ccpfv20/pf00_07s.pdf)
  11. Moreno, F. Plant responses to water deficit stress. A review. *Agron. colomb.* 2009. 27(2): 179-191.
  12. Cushman, J. Crassulacean Acid Metabolism. A Plastic Photosynthetic Adaptation to Arid Environments. 2001. *Plant Physiology.* 2001 December 127 (4): 1439-1448.
  13. Winter K, Holtum J. Cryptic crassulacean acid metabolism (CAM) in *Jatropha curcas*. *Func Plant Biology.* 2015. 42 (8): 711-717.
  14. Herrera, A, Ballestrini C, Montes E. What is the potential for dark CO<sub>2</sub> fixation in the facultative crassulacean acid metabolism species *Talinum triangulare*? *Journal of Plant Physiology.* 2015. 174 (1):55-61
  15. Carvajal M, Alcaraz -López C, Mota C, Iglesias M, Martínez-Ballesta M, Carvajal M. Investigación sobre la absorción de CO<sub>2</sub> por los cultivos más representativos de la región de Murcia. [Ponencia-cisc-Español]. [Murcia, España]. LESS CO<sub>2</sub>: 2007. 41p
  16. García Y. López M. Fructanos en *Agave fourcroydes*, potencialidades para su utilización en la alimentación animal. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola,* 2009.43 (2):175-177.
  17. Domínguez, R. Aloe vera gel: structure, chemical composition, processing, biological activity and importance in pharmaceutical and food industry. *Mexico Rev. Mex. Ing. Quím* 2012 .11 (1): 23-43.
  18. Slewinski, T. Diverse Functional Roles of Monosaccharide Transporters and their Homologs in Vascular Plants: A Physiological Perspective. *Mol Plant* 2011 July. 4(4): 641–662.

# MODELADO DEL SECADO POR CAPA DELGADA DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) VARIEDAD SAN ISIDRO, SANTA ISABEL Y ALCALÁ

MODELING OF THIN LAYER DRYING OF PEA (*Pisum sativum* L) VARIETIES SANTA ISABEL, SAN ISIDRO AND ALCALÁ.

Darío C. PANTOJA I. Al<sup>1\*</sup>, Oswaldo OSORIO P. hD<sup>1</sup> y Henry A. VAQUIRO P. hD.<sup>2</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** El secado es una alternativa de conservación de arveja, considerando su naturaleza perecedera, sin embargo el proceso posee complejidad debido a fenómenos implicados. Es así como el modelado del proceso, al igual que el cálculo del coeficiente de difusividad efectiva (Deff) es conveniente para describir el comportamiento del alimento durante el proceso y así contribuir al mejoramiento de las condiciones de secado. No se reportan estudios en el secado de las variedades de arveja cultivadas en el departamento de Nariño. **Objetivo:** Ajustar datos experimentales del secado de arveja variedad San Isidro (SIO), Santa Isabel (SIL) y Alcalá (ALC) a modelos matemáticas, estimando la calidad de ajuste y determinar la difusividad efectiva. **Métodos:** Se realizó el secado por triplicado de arveja variedades SIO, SIL y ALC a temperaturas de secado de 55 y 60°C con velocidad de aire 1.5 m/s. Los datos experimentales se ajustaron a 6 modelos empíricos, considerando el coeficiente de determinación ajustado  $R^2_{adj}$ , error medio relativo MRE e intervalos de confianza IC. La Deff se calculó por medio de la solución analítica de la segunda ley de Fick para esferas. **Resultados:** La temperatura de secado incidió en la humedad de equilibrio y tiempo de secado. Los modelos evidenciaron un buen ajuste debido a que se obtuvo  $R^2_{adj}$  mayores que 0.97 y MRE inferiores al 10%,

sin embargo modelo Page se destacó puesto que los términos de la expresión tuvieron significancia estadística en la predicción de datos experimentales según cada temperatura y variedad (los IC no incluyeron a cero). Por su parte la Deff se incrementó conforme se aumentó la temperatura de secado. **Conclusiones:** Las variedades de arveja estudiadas describieron un comportamiento similar durante el secado, el cual fue descrito por el modelo Page. La Deff y la temperatura de secado describieron una relación directamente proporcional.

**Palabras clave:** *Pisum sativum*, secado, modelado, difusividad efectiva

## ABSTRACT

**Background:** Drying is an alternative of pea conservation, considering its spoiled nature, however the process carries a complexity due to the implicated phenomena. Thus the process modeling, as well as the estimation of effective diffusivity coefficient (Deff) is appropriate to describe the food behavior during the process and indeed to contribute to drying conditions improvement. There are no studies reported on drying of pea varieties cultivated in Nariño Department. **Objective:** To fit the experimental data of the pea varieties drying, San Isidro SIO, Santa Isabel SIL y Alcalá ALC, to mathematical models, calculating the fit goodness and to calculate the effective diffusivity. **Methods:** It was carried

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

<sup>2</sup> Grupo de investigación (CEDAGRITOL). Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima, Ibagué. Colombia.

\* Autor de correspondencia: camilopantojaes@gmail.com.

out a drying by triplicated, of pea varieties SIO, SIL and ALC at drying temperatures of 55 and 60°C with an air velocity of 1.5m/s. It was fitted the experimental data to 6 empirical models, considering the adjusted coefficient of determination  $R^2_{adj}$ , mean relative error MRE and confidence intervals IC. Deff was calculated through the analytical solution of Fick Second Law for spheres. **Results:** Drying temperature influenced the equilibrium moisture and drying time. The models showed a good fit due to it were obtained  $R^2_{adj}$  higher than 0.97 and MRE lower than 10%, however Page model was pointed out because its parameters had statistical significance on the experimental data prediction, for each temperature and variety (IC did not include 0) On the other hand, Deff increased with a drying temperature increasing. **Conclusions:** The pea varieties studied showed a similar behavior during the drying, which was described by Page Model. Deff and drying temperature described a directly proportional relation.

**Keywords:** *Pisum sativum*, drying, modeling, effective diffusivity

## INTRODUCCIÓN

El secado con aire caliente es una alternativa de conservación y diversificación de arveja, considerando sus pérdidas postcosecha (1), sin embargo se debe realizar un estudio que considere fenómenos de transferencia de masa y calor a lo largo del proceso. El modelado de secado por capa delgada puede describir el comportamiento de alimentos por medio de modelos teóricos y empíricos, ajustes de gran aplicabilidad en el control y estudio de ciertas variables de secado ligadas con la calidad del producto y la eficiencia del proceso. Los modelos teóricos consideran principios físicos y soluciones analíticas; por su parte los modelos empíricos, son obtenidos de análisis estadístico y matemático de datos experimentales. Ambos tipos de modelos poseen aplicabilidad en el sector del secado (2).

El cálculo de la difusividad efectiva por medio de modelos basados en la segunda ley de Fick, es importante considerando la difusión líquida como el principal fenómeno de transferencia de agua en el interior de alimentos durante el secado. Investigaciones consultadas resaltan el papel de dicha propiedad en el diseño, construcción y operación de sistemas de secado (3).

No se han llevado a cabo investigaciones relacionadas con el modelado de secado de las variedades de arveja producidas y comercializadas en Nariño y Colombia: “San Isidro”, “Santa Isabel” y “Alcalá”. El presente estudio pretende determinar la cinética de secado de las tres variedades de arveja y realizar el ajuste de los datos experimentales a modelos matemáticos.

## MATERIALES Y METODOS

### Obtención y adecuación de materia prima

Se adquirió arveja (*Pisum sativum* L.) var. San Isidro (SIO), Santa Isabel (SIL) y Alcalá (ALC) de productores regionales. Los granos se adecuaron y se sometieron a condiciones constantes de temperatura y humedad relativa (20°C y 60% HR) por 12 h previas al secado.

### Secado, modelado matemático y cálculo de difusividad efectiva

Se realizó el secado de arveja (360 g) por triplicado a 55 y 60°C. El cambio de humedad con respecto al tiempo se evaluó con un Determinador Electrónico de Humedad (Versión 1.1, Kern DBS, KERN & Sohn GmbH, Alemania). Se calculó la razón de humedad MR considerando a la humedad de equilibrio  $H_{eq}$  como la obtenida en tiempos prolongados de proceso (4). Se realizó el ajuste a 6 modelos matemáticos: Newton, Logarítmico, Page, Henderson y Pabis, Dos términos y Aproximación a la difusión; se consideró el coeficiente de determinación ajustado  $R^2_{adj}$  y error medio relativo MRE, empleando el software Matlab® R2011b (The MathWorks Inc., Natick, MA, USA). La difusividad efectiva (Deff) se calculó por con la solución analítica de la segunda ley de Fick para cuerpos esféricos, según investigaciones previas en arveja (5)

### Contenido de humedad (Hf) y actividad de agua final (Hf)

Tras un empaque y almacenamiento de 12 h, se midieron dichos parámetros en los granos secos, la aw se midió empleando un Hygrolab C1.

## RESULTADOS

En las figuras 1, 2 y 3 se puede apreciar el efecto de la temperatura en el descenso de humedad con respecto al tiempo según la temperatura de secado, para las variedades estudiadas.

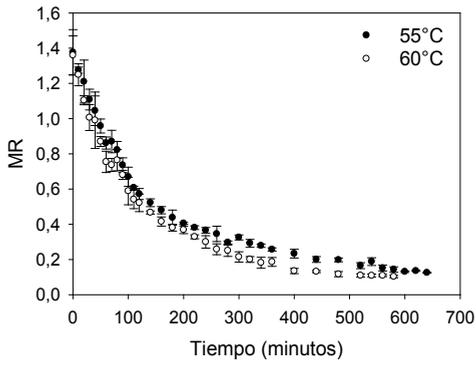


Figura 1. Curvas de secado var. San Isidro

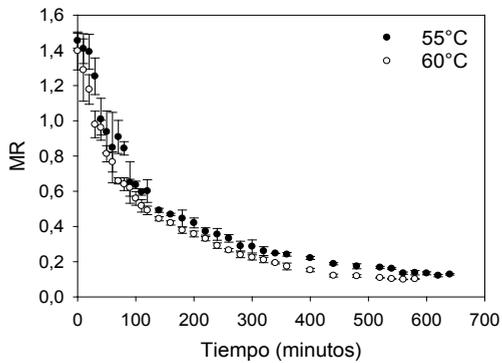


Figura 2. Curvas de secado var. Santa Isabel

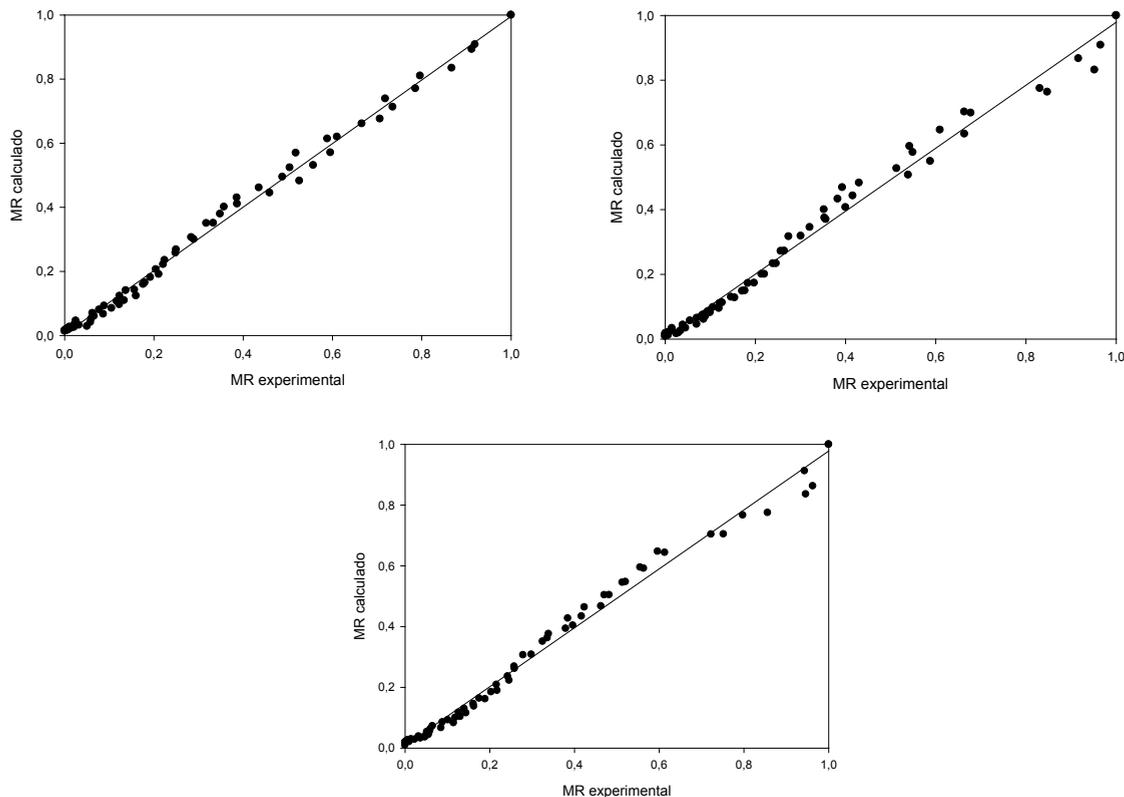


Figura 3. Curvas de secado var. Alcalá

Los valores de humedad de equilibrio, así como humedad y actividad de agua final (resultados no presentados) se vieron afectados por las condiciones de proceso debido a que disminuyeron conforme la temperatura de secado se incrementó.

**Modelado**

Los modelos evaluados presentaron valores de  $R^2_{adj}$  y MRE que fluctuaron respectivamente entre los intervalos 0.993-0.996 y 1.41-2.16% para la SIO; 0.980-0.996 y 1.42-3.22% para SIL; 0.977-0.994 y 1.52-3.98% para ALC. El análisis de IC (resultados no mostrados) resaltó que los términos de los modelos Newton, Henderson y Pabis, y Page, tuvieron significancia estadística en la predicción de la razón de humedad en todos los factores evaluados (temperatura y variedad de arveja). Es así como el modelo Page mostró el mejor ajuste puesto que obtuvo valores entre el rango 0.984-0.996, con errores comprendidos entre 1.47-2.86%. Para la variedad SIO,  $R^2_{adj}$  y MRE fluctuaron entre 0.995-0.996 y 1.47-1.82%; para SIL entre 0.984-0.994 y 1.78-2.86%; y para ALC entre 0.989-0.990 y 2.18-2.15%. Figuras 4, 5 y 6.

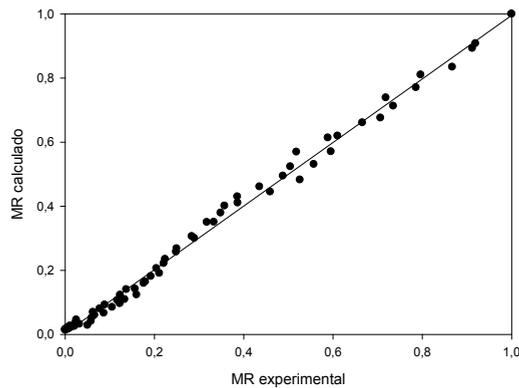


Figura 4. Ajuste de datos var. SIO

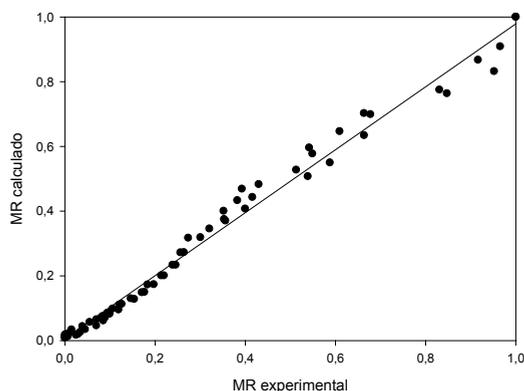


Figura 5. Ajuste de datos var. SIL

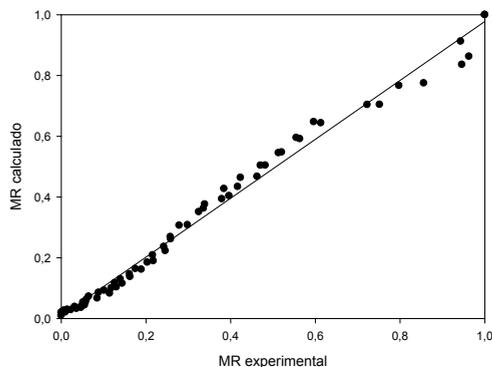


Figura 6. Ajuste de datos var. ALC

### Difusividad efectiva

Para tratamientos a 55 y 60°C se obtuvo respectivamente  $2.058 \times 10^{10}$  y  $2.598 \times 10^{10}$  m<sup>2</sup>/s para la variedad SIO,  $2,324 \times 10^{10}$  y  $2.616 \times 10^{10}$  m<sup>2</sup>/s para SIL,  $2,201 \times 10^{10}$  y  $2,602 \times 10^{10}$  m<sup>2</sup>/s para la ALC. El coeficiente de determinación fluctuó entre 0.9813 y 0.9807 para SIO; 0.9643 y 0.9843 para SIL; y entre 0,9688 y 9818 para ALC.

## DISCUSION

### Secado

La temperatura de proceso incrementó la velocidad de transferencia de masa, esto se reflejó en el tiempo de proceso y la humedad de equilibrio. El incremento en la presión de vapor afectó el contenido de agua en enlaces y en la estructura interna del grano, por ello los valores de Hf y AWf disminuyeron por debajo del 13% y 0.6 (6). La difusión fue el mecanismo de transferencia de humedad dentro del grano de arveja puesto que no se observó un periodo de velocidad constante durante el secado (5, 7).

### Modelado

Los valores para  $R^2_{adj}$  fueron mayores e iguales a 0.97, por su parte los valores MRE fueron menores al 10%, aspectos que diversos autores resaltan como indicadores de buena calidad de ajuste (8,9). Los intervalos de confianza destacaron los modelos Newton, Henderson y Pabis, y Page, sin embargo este último resultó apropiado en términos de índices de ajuste y significancia estadística de sus parámetros. El modelo Page es reportado en investigaciones en secado de arveja por aire caliente y microondas (8,10,11). No se observó variación entre las constantes del modelo Page, con la temperatura puesto que los parámetros de las ecuaciones no poseen interpretación física de los fenómenos internos durante el secado, pero sí relacionan el contenido de humedad con respecto al tiempo, aspecto relevante en el sector (5)

### Difusividad efectiva

Los valores se incrementaron conforme se elevó la temperatura de secado debido a que se asume una disminución de la resistencia a la migración de agua dentro del sólido. Se obtuvieron valores diferentes entre las variedades de arveja evaluadas debido a aspectos genéticos, el contenido de humedad inicial y variaciones experimentales (12). Sin embargo los valores obtenidos se asemejan a los reportados en literatura (13).

## CONCLUSIONES

La temperatura afectó el comportamiento de la arveja durante el secado, las variedades estudiadas evidenciaron un comportamiento similar en la cinética de secado.

Los modelos evaluados presentaron un buen ajuste, sin embargo el modelo Page obtuvo buenos resultados para  $R^2_{adj}$  y MRE; de igual forma, los parámetros del modelo fueron estadísticamente significativos en la predicción de los datos experimentales.

La difusividad efectiva se incrementó con el aumento de la temperatura de secado, considerando la disminución de la resistencia interna a la transferencia de masa.

## AGRADECIMIENTOS

A la Fundación CEIBA por la financiación de la investigación bajo el programa Jóvenes Investigadores e Innovadores, a la Universidad de Nariño y al Grupo de Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario GAIDA por permitir la ejecución del presente trabajo.

## REFERENCIAS

1. CODECYT, SENA, Colciencias. Diagnóstico prospectivo de la cosecha de hortalizas en Nariño DIPPHNAR, documento de apoyo. Pasto: UNED; 2004. 184 p.
2. Bezerra CV, Meller da Silva LH, Corrêa DF, Rodrigues AMC. A modeling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of passion fruit peel. *Int J Heat Mass Transf.* Elsevier Ltd; 2015;85:750-5.
3. Deng S, Wang X, Tan H, Mikulčić H, Li Z, Cao R, et al. Experimental and modeling study of the long cylindrical oily sludge drying process. *Appl Therm Eng.* 2015;91:354-62.
4. Guiné RPF, Barroca MJ. Effect of drying on the textural attributes of bell pepper and pumpkin. *Dry Technol.* 2011;29(16):1911-9.
5. Pantoja DC, Osorio O, Mejía DF, Váquiro HA. Procesamiento de arvejas (*Pisum sativum* L.). Parte 1: Modelado de la cinética de secado por capa delgada de arveja, variedades Obonuco Andina y Sureña. *Inf tecnológica.* 2016;27(1):en prensa.
6. Chkir I, Balti MA, Ayed L, Azzouz S, Kechaou N, Hamdi M. Effects of air drying properties on drying kinetics and stability of cactus/brewer's grains mixture fermented with lactic acid bacteria. *Food Bioprod Process.* 2015;94:10-9.
7. Santacruz-Vázquez V, Santacruz-Vázquez C, Toxqui-López S, Laguna-Cortés JO. Cambios en la textura de la superficie de esferas de melón (*Cucumis melo cantalupensis*) durante el secado por fluidización. *Rev la Fac QUímica Farm.* 2013;20(3):161-71.
8. Doymaz İ, Kocayigit F. Drying and Rehydration Behaviors of Convection Drying of Green Peas. *Dry Technol.* 2011;29(11):1273-82.
9. Corrêa P, Mendes F, Horta G, Duarte A, Resende O, Campos S. Mathematical modeling of the drying process of corn ears. *Acta Sci Agron.* 2011;33(4):575-81.
10. Garg M, Sharma S, Varmani S, Sadhu S. Drying kinetics of thin layer pea pods using tray drying. *Int J Food Nutr Sci.* 2014;
11. Mechlouch RF, Mahdhaoui B, Elfalleh W, Mahjoubi A. Mathematical modeling of microwave drying of beans (*Vicia faba* L.), Peas (*Pisum sativum*) and Tomatoes (*Lycopersicon*) in thin layer. *Int J Energy Eng.* 2014;4(2):25-32.
12. Chinenye NM, Ogunlowo A, Olukunle O. Cocoa Bean (*Theobroma cacao* L.) drying kinetics. *Chil J Agric Res.* 2010;70(4):633-9.
13. Pardeshi IL, Arora S, Borker P a. Thin-layer drying of green peas and selection of a suitable thin-layer drying model. *Dry Technol.* 2009;27(2):288-95.

# EFECTO DEL ESCALDADO SERIAL DE BROCOLI (*Brassica oleracea* var. *Legacy*) EN LA ACTIVIDAD DE PEROXIDASA Y CONTENIDO DE CLOROFILA

EFFECT OF STEPWISE BLANCHING OF BROCCOLI (*Brassica oleracea* var. *Legacy*) ON PEROXIDASE ACTIVITY AND CHLOROPHYLL CONTENT.

Darío C. PANTOJA Ing.<sup>1\*</sup>, Osorio OSWALDO P. hD<sup>1</sup>; J. Gustavo GUERRERO<sup>1</sup> M. Sc.

## RESUMEN

**Antecedentes:** El brócoli (*Brassica oleracea* var. *Legacy*) es un vegetal perecedero que debe ser sometido a un tratamiento de conservación como el escaldado para prolongar sus características de calidad a lo largo de la cadena de comercialización. Se ha destacado el papel de la enzima peroxidasa (POD) como factor de degradación de este vegetal. Una alternativa de conservación es el escaldado serial debido a que se ha comprobado su eficiencia en la inactivación enzimática y conservación de color. **Objetivo:** Evaluar el efecto de escaldado serial y de escaldado convencional en la actividad enzimática de POD y contenido de clorofila de brócoli. **Métodos:** Se realizó un diseño completamente al azar, analizando el efecto del escaldado convencional EC (70°C por 3 minutos) y serial ES (55°C por 4 minutos, tiempo de retención 1 hora y 90°C por 4 minutos), en la actividad enzimática de POD y el contenido de clorofila de floretes de brócoli. El material vegetal se empacó a vacío y se almacenó a temperatura ambiente, las mediciones se hicieron por 3 días. **Resultados:** La actividad de POD se inhibió totalmente con el tratamiento ES mientras que para EC la actividad residual POD pasó del 38.31±4.90% al 2.04±0.24% el último día de análisis presentando degradación. Se obtuvo una disminución total en el contenido de clorofila de 86.93 y 81.05% para los tratamientos EC y ES. Las muestras con ES presentaron un mayor contenido de pigmento en el segundo día con diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) respecto a las muestras tratadas por EC, pero finalmente se obtuvieron dis-

minuciones drásticas. Se resalta la conservación de la integridad del producto con ES. **Conclusiones:** El tratamiento ES resulta apropiado para una inhibición total de POD, pero no para la conservación del contenido de clorofila, es necesario implementar un tratamiento sinérgico de conservación como refrigeración o congelación.

**Palabras clave:** Brócoli, escaldado serial, peroxidasa, clorofila

## ABSTRACT

**Background:** Broccoli (*Brassica oleracea* var. *Legacy*) is a perishable vegetable that has to be subjected to a conservation treatment as blanching to extend its quality characteristics across trade chain. It has been pointed out the role of peroxidase enzyme (POD) as a spoiling factor on this vegetable. An alternative to traditional blanching is the stepwise blanching whose effectiveness on enzymes inactivation and color conservation has been tested. **Objective:** Evaluate the effect of the stepwise and conventional blanching on enzyme activity of POD and chlorophyll content of broccoli. **Methods:** A completely randomized design was used, assessing the effect of conventional blanching EC (70°C for 3 minutes) and stepwise blanching ES (55°C for 4 minutes, retention time of 1 hour and blanching at 90°C for 4 minutes), on the POD enzyme activity and chlorophyll content of broccoli florets. The treated samples were vacuum packed and stored at room temperature; the measures were carried out for 3 days. **Results:** POD activity was completely inhibited with ES treatment, while on EC treatment

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

\* Autor de correspondencia: camilopantojaes@gmail.com

the residual activity decreased from  $38.31 \pm 4.90\%$  at the first test day to  $2.04 \pm 0.24\%$  the last day. It were obtained a total loss on chlorophyll content of 86.93 and 81.05% for EC and ES respectively. ES samples showed a bigger chlorophyll content at the second day with significant differences ( $P < 0,05$ ) than EC samples, but finally a pronounced decrease was observed. It is highlight the integrity of the product with ES. **Conclusions:** The ES treatment resulted suitable for total inhibition on POD, but it was not for chlorophyll maintenance, it is necessary to use a synergic method of preservation as refrigeration or freezing.

**Keywords:** Broccoli, stepwise blanching, peroxidase, chlorophyll

## INTRODUCCION

El brócoli es una crucífera de gran importancia a nivel nacional. Es un producto percedero que tiende al amarillamiento luego de 3-4 días(1). Debido a esto el escaldado serial surge como alternativa de procesamiento de brócoli considerando los efectos en la inactivación enzimática y conservación de color, textura y calidad nutricional, parámetros usualmente afectados con un tratamiento convencional (2). El blanqueado serial consiste en someter al alimento a diferentes condiciones de escaldado con el respectivo choque térmico; es importante considerar la actividad enzimática de peroxidasa (POD), una enzima empleada como un indicador de la efectividad de tratamientos térmicos ya que es un factor responsable del amarillamiento del brócoli y pérdida de calidad en general(3-6)the widely used traditional hot water blanching has many disadvantages such as nutrients loss during blanching and pollution caused by waste blanching water. Therefore to alleviate these problems, the traditional hot water blanching method should be replaced by new blanching technologies without using water as the thermal media. Superheated steam impingement blanching (SSIB).

Diversos estudios, entre los cuales se encuentran dos patentes (7,8), resaltan los resultados obtenidos empleando escaldado serial en la calidad de vegetales. Sin embargo no existen estudios del tema en brócoli variedad Legacy producida y comercializada en el departamento de Nariño. Es así como se propone la presente investigación cuyo objetivo es determinar cuán efectivo es el escaldado serial en

comparación con el método convencional, evaluando la actividad enzimática de POD y el contenido de clorofila en el material producido en la región.

## MATERIALES Y METODOS

### Materia prima, tratamiento térmico y adecuación del material vegetal procesado

El material se adquirió en Catambuco (Pasto, Nariño), se adecuó el brócoli en floretes de 2.54 cm de grosor (9). Los tratamientos fueron: escaldado convencional EC (70°C por 3 min), tratamiento serial ES (3 etapas: 55°C por 4 minutos, retención de 1 hora y 90°C por 4 minutos) y control (sin tratamiento). Se usó un baño termostatado (EYELA OSB 2000) con una relación 1:30 producto: agua. Finalmente 25 g de muestra fueron empacados a vacío en empaques calibre 4. Las muestras fueron dejadas al ambiente junto con la muestra control (sin tratamiento) para realizar pruebas por 3 días.

### Determinación de la actividad enzimática POD y actividad residual AR

Se llevó a cabo teniendo en cuenta estudios de brócoli (5, 10).

#### Medición del contenido de clorofila

La obtención del extracto de pigmentos fotosintéticos y la medición de su contenido se llevó a cabo según estudios previos (5, 11).

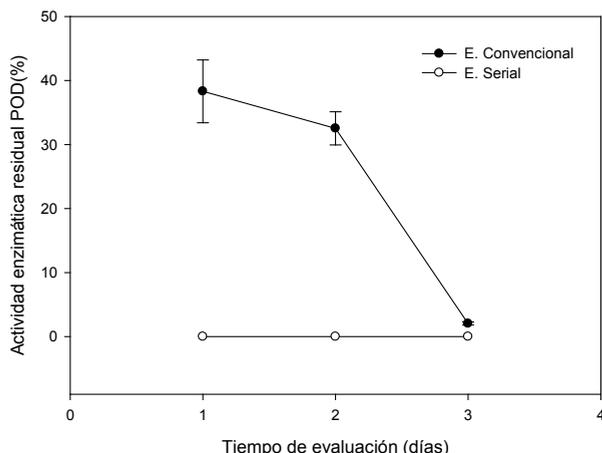
#### Diseño experimental

Por medio del software Statgraphics® Plus 5.1 (2000) se realizó un diseño completamente aleatorizado. Se analizaron los datos por cada día (1, 2 y 3) por medio del análisis de varianza ANOVA, usando la prueba LSD de Fisher (95%). Se realizaron 3 repeticiones por cada prueba.

## RESULTADOS

### Actividad enzimática residual POD

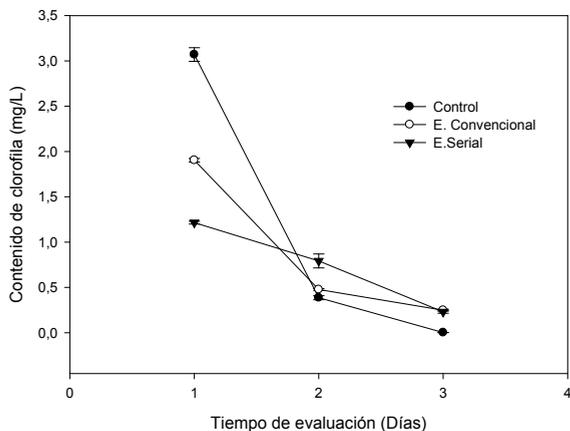
En la figura 1 se puede apreciar el cambio de AR de POD. La actividad enzimática en  $\Delta\text{Abs}/\text{min}$  (resultados no mostrados) evidenció un incremento total acumulado en la muestra control de 112.10%. Hubo diferencias estadísticamente significativas ( $p\text{-valor} < 0.05$ ) entre tratamientos por cada día evaluado.



**Figura 1.** Cambio de la actividad enzimática residual de POD de brócoli con respecto a los días de almacenamiento, según el tratamiento aplicado

### Contenido de clorofila

La figura 2 presenta la disminución en el contenido de clorofila según los tratamientos empleados, para los días de estudio. El segundo día de estudio, el tratamiento ES provocó una reducción del 34.77% con respecto al inicial, mientras que con el tratamiento EC se redujo en 75.96%. Sin embargo los tratamientos presentaron finalmente una reducción total de 86.93 y 81.05% con respecto al contenido inicial de clorofila, para EC y ES respectivamente.



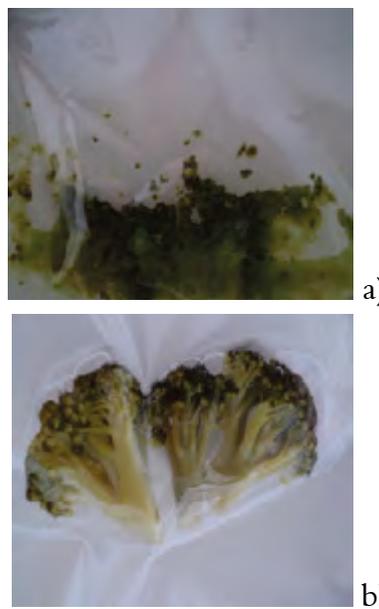
**Figura 2.** Cambio del contenido de clorofila de brócoli con respecto a los días de almacenamiento, según el tratamiento aplicado

## DISCUSIÓN

### Actividad enzimática POD

La enzima actuó normalmente en la muestra control debido a la oxidación de los compuestos del

brócoli (12). Pese a superar los 50°C, las condiciones de EC (temperatura y tiempo) no fueron suficientes para obtener una AR nula para POD (13). El tratamiento EC permitió obtener un descenso en la actividad enzimática conforme transcurría el tiempo de prueba. Investigaciones previas afirman que la fase inicial de ES no inactiva POD, sin embargo se estimula la enzima PME, esto se evidencia en la figura 3, donde se aprecia la conservación de la integridad del vegetal (14). En la etapa final de ES, al llegar a los 60°C, existe un rompimiento de enlaces de la estructura terciaria y se afectó el grupo heme proteico de POD (15,16).



**Figura 3.** Fotografía de brócoli con EC (a) y ES (b) en el tercer día de almacenamiento.

### Contenido de clorofila

La muestra control presentó una pérdida significativa de clorofila debido al curso normal de degradación, el amarillamiento observado en el segundo día de análisis se generó por alteraciones fisiológicas y la oxidación de compuestos (12). Hubo una lixiviación de clorofila debido a la solubilidad del anillo de porfirina de la molécula en EC y ES (7); los rangos de temperatura (entre 45 y 90°C) y tiempos de exposición (más de 2 min) generaron las pérdidas del pigmento y la formación de feofitinas (17). Según investigadores citados, el rompimiento de membranas celulares generó el contacto entre enzimas y sustratos, no solo de clorofilasas, sino también lipoxigenasas (6,17). El tiempo de retención de ES generó una precocción que alteró el sabor y olor, así como lixiviación de vitamina C y clorofila, (18).

## CONCLUSIONES

El tratamiento ES resulta adecuado para la inhibición total de la actividad POD. El tratamiento EC no fue suficiente para inhibir completamente dicha actividad enzimática, las condiciones deben ser específicas para cada producto hortofrutícola, según características de color, forma y composición.

Al igual que el tratamiento EC, el tratamiento ES no resulta eficiente para la preservación del contenido de clorofila, pese a que permitió obtener un contenido mayor del pigmento en comparación con los demás tratamientos evaluados en el segundo día de estudio, debe existir una tecnología complementaria de conservación.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Nariño y al Grupo de Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario GAIDA por permitir la ejecución del presente trabajo.

## REFERENCIAS

- Trejo Escobar DM, Mejía DF, Osorio O. Efecto del tratamiento con aire caliente sobre la conservación del brócoli (*Brassica oleracea* L.) variedad Legacy. *Acta Hort.* 2014;151-6.
- 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. *Int J Refrig.* 2015;7:11-25.
- Xiao HW, Bai JW, Sun DW, Gao ZJ. The application of superheated steam impingement blanching (SSIB) in agricultural products processing - A review. *J Food Eng.* 2014;132:39-47.
- Gallardo Castro MA. Validación Experimental de un Software Asistido por Internet para Describir el Proceso Combinado Escaldado - Hidroenfriado en Floretes de Brócoli (*Brassica oleracea* L. var *italica*). [Valdivia, Chile]: Universidad Austral de Chile; 2004.
- Guerrero Arteaga DN, Trejo Escobar DM. Evaluación de dos tratamientos térmicos para la inactivación de la enzima peroxidada en brócoli (*Brassica oleracea* L.) variedad Legacy. [Tesis de pregrado]. [Pasto, Colombia]: Universidad de Nariño: 2012. 105p.
- Chaparro MP, Díaz YB, Paredes MJ. Evaluation of microwave technology in blanching of broccoli (*Brassica oleracea* L. var *Botrytis*) as a substitute for conventional blanching. *Proce.* 2011;1:426-32.
- Bengtsson B, Palmlin P, Saldert B. Procedimiento para escaldar verduras. España; 532122, 1983.
- Bengtsson B, Palmlin P, Saldert B. Blanching process. *Estados Unidos*; 4521439, 1985.
- Ni L, Lin D, Barrett DM. Pectin methyltransferase catalyzed firming effects on low temperature blanched vegetables. *J Food Eng.* 2005;70:546-56.
- Thongsook T, Barrett DM. Heat inactivation and reactivation of broccoli peroxidase. *J Agric Food Chem.* 2005;53(8):3215-22.
- Rodés G, Rosa y Collazo O. Manual de prácticas fotosíntesis. 1 Ed. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México; 2006.
- Toivonen P, Sweeney M. Differences in Chlorophyll Loss at 13 degrees C for Two Broccoli (*Brassica oleracea* L.) Cultivars Associated with Antioxidant Enzyme Activities. *J Agric Food Chem.* 1998;46(1):20-4.
- Mendoza R, Herrera AO. Cinética de inactivación de la enzima peroxidasa, color y textura en papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *phureja*) sometida a tres condiciones de escaldado. *Inf tecnológica.* 2012; 23(4): 73-82.
- Palma-Zavala DJ, Quintero-Ramos A, Jiménez-Castro J, Talamás-Abbud R, Barnard J, Baladrán-Quintana RR, et al. Effect of stepwise blanching and calcium chloride solution on texture and structural properties of jalapeño peppers in Brine. *Food Technol Biotechnol.* 2009; 47(4): 464-70.
- Márquez O, Waliszewski K. Evaluación de polifenoloxidasas y peroxidadas presentes en la vaina de vainilla (*Vanilla planifolia*). XI Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. 2005
- Parra Vergara JC. Determinación de la cinética de liofilización en floretes de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *Legacy*) y evaluación del contenido de ácido L-ascórbico y actividad peroxidasa. [Trabajo de pregrado]. [Duitama, Colombia]: Universidad Nacional Abierta y a Distancia; 2013. 159p.
- Tijsskens LMM, Schijvens EPHM, Biekman ESA. Modelling the change in colour of broccoli and green beans. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 2001; 2: 303-13.
- Patras A, Tiwari BK, Brunton NP. Influence of blanching and low temperature preservation strategies on antioxidant activity and phytochemical content of carrots, green beans and broccoli. *LWT - Food Sci Technol.* 2011 ;44(1): 299-306.

# EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS FÍSICOS DE ARVEJA (*Pisum sativum*) SOMETIDA A PROCESOS DE FRITURA PLANA: ANÁLISIS DE COLOR

EVALUATION OF PHYSICAL CHANGES OF PEA (*Pisum sativum*) SUBJECTED TO PAN-FRYING PROCESSES: ANALYSIS OF COLOR

Andrea MOLINA C. MSc.<sup>1</sup>, Oswaldo OSORIO M. PhD.<sup>★2</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** En Nariño, la arveja se ha convertido en uno de los mayores productos agrícolas para el campesino minifundista de la zona, llegando a más de 30.000 ha sembradas en la región. Sin embargo su comercialización se realiza en fresco, perdiendo posibilidades de ingresos a través de la agroindustrialización de esta materia prima y dejando las mayores ganancias a los intermediarios. **Objetivo:** El objetivo de esta investigación se centró en evaluar las características físicas de un chip de arveja sometido a fritura plana. **Métodos:** Se evaluaron 3 temperaturas de fritura (185, 195 y 205° C) y 3 tiempos de exposición (2, 4 y 6 min.). Los parámetros de evaluación fueron la humedad en términos de actividad de agua ( $a_w$ ) y el color. **Resultados:** Los mejores tratamientos se obtuvieron a 185°C por 6 min y 195°C por 4 min, pues a mayores tiempos y temperatura de fritura, el producto presentaba un cambio de color muy marcado típico de un producto quemado. Aunque los tratamientos más leves no exhibieron cambios sustanciales en el color, el grado de deshidratación de las muestras no es suficiente para garantizar su estabilidad durante el almacenamiento. **Conclusiones:** La fritura plana es una buena opción industrial para este producto, sin embargo se requieren equipos que mantengan al producto en constante movimiento para no quemarlo. Los productos fritos son de buena calidad y gracias a la metodología empleada ésta se podría conservar en un buen empaque teniendo en cuenta la  $a_w$  a la que se llegó.

**Palabras clave:** Fritura plana, *Pisum sativum*, color, actividad de agua.

## ABSTRACT

**Background:** In Nariño, peas has become one of the biggest agricultural products for the smallholder farmer in the area, reaching more than 30.000 ha planted in the region. However, the marketing of this product is made fresh, losing opportunities through agro-industrialization of this raw material and leaving the higher profits to intermediaries. **Objective:** The aim of this research was to evaluate the physical characteristics of a chip pea under pan-frying. **Methods:** Three temperatures (185, 195 and 205° C) and 3 exposure times (2, 4 and 6 minutes) were evaluated. The parameters of evaluation were moisture in terms of water activity ( $a_w$ ) and color. **Results:** The best treatments were obtained at 185°C for 6 min and 195°C for 4 min. because at higher temperatures and frying times, the product had a very marked color change, typical of a burned product. Although milder treatments did not exhibit substantial changes in the color, the degree of dehydration of the samples is not enough to ensure stability during storage. **Conclusions:** Pan-frying is good industrial option for this product, however, it is necessary to have equipment to keep moving constantly the product and will not burn it. Fried products have good quality and thanks to this methodology could be kept in a good packaging considering the  $a_w$  at which it came.

**Keywords:** *Pisum sativum*, pan-frying, color, water activity

<sup>1</sup> Docente Investigadora Programa de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de San Buenaventura Cali, Colombia. Grupo de Investigación Biotecnología.

<sup>2</sup> Docente Investigador Universidad de Nariño. Grupo de Investigación GAIDA.

★ Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: Osorio\_oswaldo@hotmail.com

## INTRODUCCIÓN

En el departamento de Nariño, la arveja representa una de las mayores posibilidades de ingresos para los agricultores de la zona sur. Se estima que aproximadamente 30.000 familias dependen de este producto agrícola; desde la última década esta región se ha posicionado hasta llegar a ser el departamento de mayor producción con un promedio de 48.264 ton, representando el 55,2% del total producido en Colombia (1). Semanalmente solo del centro de acopio del municipio de Ipiales salen aproximadamente 210 t de arveja para ser comercializadas en Colombia, allí los precios son manejados por intermediarios y cadenas comerciales. Una de las posibilidades para la industrialización y valor agregado de esta leguminosa es la fritura, la cual se puede realizar ya sea por inmersión o fritura plana. Este último método se realiza en un recipiente plano y abierto, donde el producto se pone en contacto con una cantidad mínima de aceite funcionando como medio de transmisión de calor, de forma que el alimento no queda totalmente sumergido en el aceite y no se adhiere a su superficie (2). Independientemente del método de fritura que se use, estos procesos traen consigo una serie de reacciones complejas que afectan la calidad final del producto freído (chip) y sus atributos, entre ellos color y vida útil. Estas reacciones son interactuantes e influenciadas por factores como las condiciones de fritura, el material a freír y el tiempo de residencia en el proceso (3, 4). El objetivo de este estudio fue evaluar los cambios físicos asociados a las variaciones de humedad ( $a_w$ ) y de color en arveja sometida a un proceso de fritura plana a tres diferentes temperaturas en igual número de tiempos de procesamiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia prima

Se usó 20 kg de arveja fresca (*Pisum sativum*) variedad Obonuco Andina, cultivados en el SENA Agropecuario, del municipio de Pasto (Nariño). El material fue cosechado 24 horas antes de la realización de los experimentos.

### Proceso de fritura

Cada unidad experimental constituida por 5 g de arveja, se procesó por lotes en un recipiente para fritura ubicado en la Planta Piloto Agroindustrial Multipropósito de la Universidad de San Buenaventura Cali, equipo con una capacidad de

100 g. El control de temperatura se realizó con un termómetro infrarrojo compact IR, (Ref. Dt 8802). Las muestras se alistaron previamente y se procedió al calentamiento del aceite (5 ml para cada unidad experimental) hasta la temperatura deseada. El inicio de la fritura se consideró una vez se pusieron las arvejas en el recipiente con el aceite caliente. Transcurrido el tiempo de fritura, las muestras fueron depositadas en un recipiente seco y se eliminó el exceso de aceite superficial con papel absorbente. Se enfriaron hasta (aprox. 24°C) y dispusieron en bolsas resellables rotuladas, las cuales se mantuvieron en desecador hasta su respectivo análisis. Las condiciones de trabajo fueron: tres temperaturas correspondientes a 185, 195 y 205°C y tres tiempos de fritura de 2, 4 y 6 min. Se empleó aceite 100% vegetal, cero colesterol con punto de humo de 230 °C de acuerdo a los requisitos de la Norma NTC 3272 (5).

### Determinaciones analíticas

*Grado de deshidratación (GD)*: El GD se calculó a partir del contenido de humedad de las muestras frescas ( $CH_0$ ) y freídas ( $CH_f$ ) empleando la siguiente ecuación:

$$GD = \frac{CH_0 - CH_f}{CH_0} \times 100$$

Los contenidos de humedad se obtuvieron por método gravimétrico a través de una balanza OHAUS con infrarrojo MB 35, utilizando aproximadamente 1 g de la muestra, la cual fue acondicionada realizándole cortes longitudinales con una hoja de bisturí.

*Actividad de agua ( $a_w$ )*: Se utilizó un medidor de  $a_w$  marca Rotronic. Para cada prueba se utilizó aproximadamente 1 g de muestra.

*Color*: Se utilizó un espectrofotómetro Minolta CM600D realizando tres lecturas por cada muestra. Se utilizaron aproximadamente 3 g de muestra y se depositaron en la base negra dispuesta para tal fin. El parámetro de cambio de color  $\Delta E$  se calculó a partir de las determinaciones de los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de las muestras frescas ( $_0$ ) y freídas ( $_f$ ) empleando la siguiente ecuación donde  $L^*$  es el parámetro Luminosidad,  $a^*$  indica la variación rojo/verde y  $b^*$  la variación amarillo/azul:

$$\Delta E = \sqrt{(L_f^* - L_0^*)^2 + (a_f^* - a_0^*)^2 + (b_f^* - b_0^*)^2}$$

## Diseño experimental y análisis estadístico

Se empleó un diseño completamente aleatorizado, con arreglo factorial  $3^3$  en el cual los factores de estudio y los niveles a evaluar fueron: la temperatura (185, 195 y 205°C) y el tiempo (2, 4 y 6 minutos). El efecto de estos dos factores sobre la pérdida de humedad ( $GD$  y  $a_w$ ), las coordenadas de color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y el cambio de color  $\Delta E$  se evaluó mediante análisis de varianza con un grado de confianza de 95%. Para identificar los tratamientos que presentarían diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey. Estos análisis se realizaron utilizando el programa estadístico PASW Statistics 18 (SPSS 18.0.0).

## RESULTADOS

**Pérdida de humedad:** En la tabla 1 se presentan los resultados de  $GD$  y  $a_w$

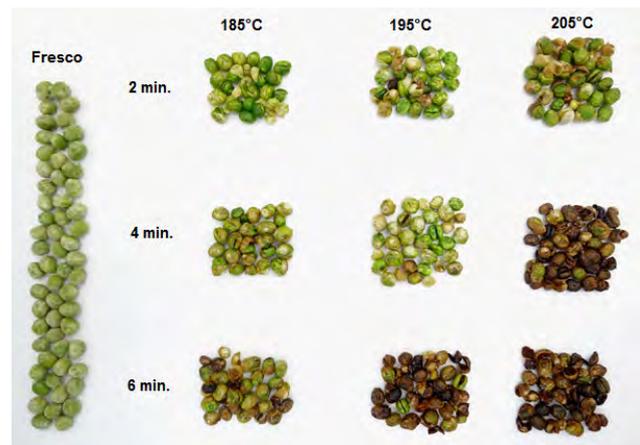
**Tabla 1.** Grado de deshidratación y actividad de agua alcanzados por muestras de arveja sometidas al proceso de fritura plana a diferentes condiciones de tiempo y temperatura.

Temperatura (°C)	Tiempo (min.)	Grado de Deshidratación (%)	Actividad de agua ( $a_w$ )
185	2	39.86 ± 5.462 <sup>a</sup>	0.979 ± 0.003 <sup>a</sup>
	4	74.42 ± 3.996 <sup>b</sup>	0.894 ± 0.014 <sup>b</sup>
	6	91.58 ± 1.615 <sup>c</sup>	0.600 ± 0.051 <sup>c</sup>
195	2	69.99 ± 1.436 <sup>d</sup>	0.870 ± 0.007 <sup>d</sup>
	4	86.52 ± 0.518 <sup>e</sup>	0.740 ± 0.004 <sup>e</sup>
	6	98.65 ± 0.160 <sup>f</sup>	0.282 ± 0.005 <sup>f</sup>
205	2	82.46 ± 1.316 <sup>g</sup>	0.721 ± 0.011 <sup>g</sup>
	4	98.49 ± 0.173 <sup>h</sup>	0.278 ± 0.055 <sup>h</sup>
	6	98.98 ± 0.095 <sup>i</sup>	0.241 ± 0.011 <sup>i</sup>

Datos reportados como promedio y desviación estándar ( $n = 3$ ). Valores con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ). La  $a_w$  de las muestras frescas fue de  $0.947 \pm 0.031$ .

Como se evidencia por el valor de  $GD$ , la humedad de las muestras se reduce conforme el proceso de fritura avanza. La deshidratación se incrementa cuanto mayor es la temperatura del medio, a una temperatura de 205°C la humedad se ha reducido un 82.46% con sólo 2 min de fritura, este valor es superior al  $GD$  alcanzado a los 4 minutos de fritura a 185°C y cercano a la deshidratación lograda en este mismo tiempo a 195°C. No obstante, el desarrollo del proceso de fritura a una temperatura de 205°C no resulta favorecedor para el producto, pues la deshidratación ocurre tan aceleradamente que a tiempos de 4 y 6 minutos, el producto sufre cambios drásticos en sus tejidos afectando su calidad.

**Cambios de color:** La figura 1 muestra la arveja a diferentes tratamientos de fritura.



**Figura 1.** Muestras de arveja freídas a diferentes tiempos y temperaturas.

Las muestras expuestas a mayor temperatura durante un mayor tiempo no solo fueron las que sufrieron el grado más alto de deshidratación (Tabla 1) sino también el mayor oscurecimiento de los tejidos. Este cambio de color es verificable al analizar los resultados correspondientes a los parámetros cromáticos  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $\Delta E$  presentados en la tabla 2, donde se puede apreciar cómo los valores de  $L^*$  se redujeron con el tiempo de procesamiento y con el incremento de la temperatura.

**Tabla 2.** Parámetros de color en arveja sometida a los diferentes tratamientos de fritura.

Temp. (°C)	Tiempo (min.)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
--	0	19.088 ± 0.916 <sup>a</sup>	-2.993 ± 0.201 <sup>a</sup>	12.785 ± 0.724 <sup>a</sup>	--
185	2	11.347 ± 2.875 <sup>b,j</sup>	-3.403 ± 0.794 <sup>b</sup>	8.483 ± 2.556 <sup>b</sup>	8.960 ± 3.591 <sup>a</sup>
	4	9.560 ± 1.316 <sup>c</sup>	-0.543 ± 0.641 <sup>c</sup>	7.293 ± 0.689 <sup>c</sup>	11.290 ± 1.353 <sup>b</sup>
	6	10.835 ± 2.270 <sup>d</sup>	0.730 ± 0.269 <sup>d</sup>	11.800 ± 1.923 <sup>a</sup>	9.227 ± 2.127 <sup>c</sup>
195	2	10.320 ± 0.966 <sup>e,k</sup>	-3.217 ± 1.137 <sup>e</sup>	9.303 ± 2.853 <sup>d</sup>	9.689 ± 1.762 <sup>d</sup>
	4	5.980 ± 0.978 <sup>f</sup>	0.160 ± 0.514 <sup>f</sup>	5.080 ± 1.172 <sup>e</sup>	15.546 ± 1.318 <sup>e</sup>
	6	7.410 ± 2.574 <sup>g</sup>	2.705 ± 0.629 <sup>g</sup>	9.065 ± 4.349 <sup>d</sup>	13.815 ± 3.087 <sup>f</sup>
205	2	12.397 ± 2.692 <sup>h,j,k</sup>	-2.920 ± 0.442 <sup>a</sup>	14.487 ± 2.817 <sup>a</sup>	7.391 ± 2.223 <sup>g</sup>
	4	4.693 ± 0.197 <sup>i</sup>	2.123 ± 0.399 <sup>h</sup>	5.970 ± 1.072 <sup>e</sup>	16.753 ± 0.283 <sup>e</sup>
	6	12.630 ± 1.061 <sup>h</sup>	4.860 ± 0.495 <sup>i</sup>	10.540 ± 1.301 <sup>f</sup>	10.477 ± 0.562 <sup>c</sup>

Datos reportados como promedio y desviación estándar ( $n = 3$ ). Valores con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ).

## DISCUSION

El aumento en  $GD$  concuerda con el comportamiento de la  $a_w$  de las muestras, de acuerdo a los resultados obtenidos, se presentó un efecto significativo de temperatura y tiempo de fritura sobre la disminución de esta variable. Pero a pesar de dicha reducción, no representa un mayor beneficio para la estabilidad de las muestras, pues el valor mínimo de  $a_w$  para el crecimiento microbiano es de 0.6 (6) y, como se observa en la Tabla 1, este valor sólo fue inferior para las muestras bajo las condiciones más severas (195°C – 6 min. y 205°C - 4 y 6 min.), correspondientes a los tratamientos con mayor  $GD$  y menor calidad.

Los resultados de color coinciden por los reportados por (7) y corresponden a un comportamiento típico de un proceso de fritura. Con respecto a los datos de la tabla 2. De acuerdo a la literatura, la luminosidad está directamente relacionada con el contenido de humedad de un cuerpo, de manera que a mayor presencia de agua se favorece la reflexión de la luz, dando como resultado valores de  $L^*$  tendientes a 100 (8, 9). Cuando la humedad disminuye, se reduce la capacidad de reflexión de la luz, ya que, al aumentar la concentración de la fase sólida del alimento, ésta la absorbe, por lo que las muestras se hacen más opacas, lo que implica pérdida de luminosidad. El comportamiento del parámetro  $a^*$ , tras 2 min de fritura a 185 y 195°C, tuvo un ligero incremento hacia la parte negativa del plano cromático; en el mismo tiempo de procesamiento a 205°C este valor fue similar al del producto fresco. Después de alcanzar los 4 y 6 minutos de

fritura, se notó un aumento gradual de los valores de  $a^*$  hacia el lado positivo de la escala cromática, siendo más marcado cuanto mayor era la temperatura del medio. Este comportamiento de  $a^*$  podría atribuirse a dos fenómenos: uno donde por acción del calor ocurre una conversión de clorofila a feofitina, lo que inicialmente acentuaría el color verde y posteriormente produce un cambio hacia un color verde-amarillento (10, 11, 12). Este fenómeno ha sido descrito por algunos autores en vegetales verdes tales como espárragos (13) y arveja (12). De hecho (14) encontraron que la degradación del color verde asociada a la pérdida de clorofila depende de la temperatura y la duración del tratamiento térmico, pero que tratamientos que incluyan altas temperaturas en tiempos cortos pueden ayudar a la retención de la clorofila (10, 15); esto concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación donde el valor de  $a^*$  a 205°C y 2 min de fritura fue el más cercano al del producto fresco. De acuerdo a lo observado en este estudio, al incrementar el efecto del calor por una exposición más prolongada a altas temperaturas de fritura, la clorofila podría ser degradada más rápidamente, mientras que de manera simultánea se da lugar a otro tipo de reacciones correspondientes al segundo fenómeno de oscurecimiento: la reacción de Maillard. Este pardeamiento ocurre por la interacción entre azúcares reductores y aminoácidos, mediado por efectos del calor, lo que provoca cambios composicionales y sensoriales que pueden ser deseables para productos fritos; estos cambios están relacionados con el oscurecimiento del alimento y el incremento del componente cromático  $a^*$  (16, 17). De los resultados obtenidos, se observa que el au-

mento en el parámetro  $a^*$  se hace más significativo a mayores tiempos y temperaturas; esto sumado a la composición de carbohidratos y proteínas de la arveja (18), permite inferir que el pardeamiento de las muestras sometidas a los tratamientos de fritura más severos puede derivarse como consecuencia de la reacción de Maillard, la cual, como se evidencia, es dependiente de la temperatura (7, 9, 19). Resultados similares fueron reportados por (20) y por (9). Es importante considerar también el bajo contenido de humedad de estas muestras, pues como lo describen (21), la reacción de Maillard puede ocurrir incluso a temperaturas bajas (entre 100 y 120°C) cuando el contenido de humedad se reduce en los procesos de fritura prolongados. De acuerdo a lo señalado por (9), el parámetro  $a^*$  es empleado como un indicador de calidad en los procesos de fritura; generalmente, altos valores de  $a^*$  son indeseables, lo que significa que los valores positivos de  $a^*$  no son recomendables pues podrían advertir que el producto está quemado. Respecto al cambio de color  $\Delta E$ , este se deriva como consecuencia de los cambios en los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  con respecto a la arveja fresca. Para todos los tres procesos de fritura el mayor cambio de color se presentó a los 4 minutos. Esto podría atender a los fenómenos paralelos de la degradación de clorofila y la reacción de Maillard, donde la pérdida del color verde y la aparición de colores pardos se hacen evidentes a temperaturas de fritura más altas. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por (11) en su investigación sobre el tratamiento térmico de puré de arveja.

## CONCLUSION

La fritura plana se puede tener en cuenta como una posibilidad regional para dar mayor valor agregado a los productos agrícolas como la arveja, sin embargo se requiere de mucho cuidado en su uso pues los productos así procesados podrían perder calidad organoléptica, especialmente asociada al color, si se exceden en tiempo o temperatura.

## AGRADECIMIENTOS

Al Sistema General de Regalías por el aporte de los recursos en el proyecto BPIN 2012000100188 con el cual se realizaron parte de los estudios. A la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de Nariño por el apoyo económico al Banco Proyectos Docentes de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico, Innovación 2014.

## REFERENCIAS

1. DANE, Estadísticas Agrícolas y Pecuarias (ENA). La fritura de los alimentos: pérdida y ganancia de nutrientes en los alimentos fritos. *Perspectivas en Nutrición Humana*. 2008; 10 (1), 77-88.
2. Qing Zhang, Ahmed S.M. Saleh, Jing Chen, Qun Shen. Chemical alterations taken place during deep-fat frying based on certain reaction products: A review. *Chemistry and Physics of Lipids*. 2012; 165, 662-681.
3. Dobarganes, M.C., Márquez-Ruiz, G., Velasco, J., Interactions between fat and food during deep-frying. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2000; 102, 521-528.
4. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). NTC 3272. Bogotá, 2 ed; 2000. 6 p.
5. Zhu, Y., Zhang, M., & Wang, Y. Vacuum frying of peas: effect of coating and pre-drying. *Journal of Food Science and Technology*. 2015; 52, 3105-3110.
6. Teruel, M., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J., Linares, M., & Garrido, M. Use of vacuum-frying in chicken nugget processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2014; 26, 482-489.
7. Özkan, M., Kirka, A., & Cemeroglu, B. Effect of moisture content on CIE color values in dried apricots. *European Food Research and Technology*. 2003; 216, 217-219.
8. Heredia, A., Casatelló, M. L., Argüelles, A., & Andrés, A. Evolution of mechanical and optical properties of french fries obtained by hot air-frying. *LWT - Food Science and Technology*. 2014; 57, 755-760.
9. Koka, N., Karadeniz, F., & Selen Burdurlu, H. Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas. *Food Chemistry*. 2006; 100, 609-615.
10. Icier, F., Yildiz, H., & Baysal, T. Peroxidase inactivation and colour changes during ohmic blanching of pea puree. *Journal of Food Engineering*. 2006; 74, 424-429.
11. Garrote, R., Silva, E., Roa, R., & Bertone, R. Kinetic parameters of surface color degradation of canned fresh green peas sterilized in a rotary retort. *LWT - Food Science and Technology*. 2008; 41, 408-413.
12. Lau, M., Tang, J., & Swanson, B. Kinetics of textural and color changes in green asparagus during thermal treatments. *Journal of Food Engineering*. 2000; 45, 231-236.
13. Schwartz, S., & Lorenzo, T. Chlorophyll stability during continuous aseptic processing and storage. *Journal of Food Science*. 1991; 56, 1059-1062.
14. Kim, M., Lee, J., & Choe, E. Effects of the number of fryings on pigment stability in frying oil and fried dough containing spinach powder. *Journal of Food Science*. 2003; 68(3), 866-869.
15. Zyzak, D., Sander, R., Stojanovic, M., Tallmadge, D., Eberhart, B., Ewald, D. Villagran, M. Acrylamide formation mechanism in heated foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003; 51, 4782-4787.
16. Delgado-Andrade, C., Seiquer, I., Haro, A., Castellano, R., & Navarro, M. Development of the Maillard reaction in foods cooked by different techniques. Intake of Maillard-derived compounds. *Food Chemistry*. 2010; 122, 145-153.
17. De Almeida Costa, G., Da Silva Queiroz-Monici, K., Pissini Machado Reis, S., & Costa de Oliveira, A. Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food Chemistry*. 2006; 327-330.
18. Pedreschi, F., Moyano, P., Kaack, K., & Granby, K. Color changes and acrylamide formation in fried potato slices. *Food Research International*. 2005; 38, 1-9.
19. Gökmen, V., & Senyuva, H. Study of colour and acrylamide formation in coffee, wheat flour and potato chips during heating. *Food Chemistry*. 2006; 99, 238-243.
20. Gökmen, V., Palazoglu, T., & Senyuva, H. Relation between the acrylamide formation and time-temperature history of surface and core regions of french fries. *Journal of Food Engineering*. 2006; 77, 972-976.

# EFFECTO DEL ULTRASONIDO Y CAMPOS MAGNÉTICOS SOBRE LA DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* EN CARNE DE LOMO DE ATÚN (*katsuwonus pelamis*)

EFFECT OF ULTRASOUND AND MAGNETIC FIELDS IN VITRO DIGESTIBILITY IN LOIN MEAT TUNA (*Katsuwonus pelamis*)

Lorenzo FUENTES. M.Sc.<sup>1\*</sup>, Víctor M. GÉLVEZ. Ph.D.<sup>2</sup>, Carlos J. MÁRQUEZ. Ph.D.<sup>3</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** La digestibilidad *in vitro* es una forma de medir el aprovechamiento de un alimento, es decir determinar la facilidad de convertirlo en el aparato digestivo en sustancias útiles para la nutrición. Comprende dos procesos, la digestión que corresponde a la hidrólisis de las moléculas complejas de los alimentos, y la absorción de pequeñas moléculas (aminoácidos, ácidos grasos) en el intestino. Las tendencias de consumo y la exigencia de alimentos seguros, naturales, mayor vida útil y saludables ha generado la necesidad de estudiar nuevas formas de procesamiento y conservación. **Objetivos:** Evaluar el efecto del ultrasonido de alta intensidad y los campos magnéticos sobre la digestibilidad *In Vitro*, en la carne de lomo de atún (*katsuwonus pelamis*). **Métodos:** Las muestras de atún congeladas y empacadas al vacío, se transportaron en cavas con geles refrigerantes (Artic pack) hasta la ciudad de Pamplona Norte de Santander. Se aplicaron ondas de ultrasonido de alta intensidad (37kHz, 25W/cm<sup>2</sup>) utilizando agua desionizada de alta pureza en un generador de ondas ultrasónicas (Elmasonic E, modelo E60H). y campos magnéticos con una intensidad de 1T en un equipo (Scoli, 8A N240, R=2,8 Ω Ohmio). Se realizó un diseño completamente al azar con un solo factor (tiempo de exposición a ultrasonido y campos magnéticos) en 4 niveles (0, 3, 4, y 5 min). **Resultados:** Los resultados obtenidos mostraron que el tratamiento con ultrasonido y los campos magnéticos en la digestibilidad *In Vitro* presentó diferencias significativas con respecto

al control (p<0,05). **Conclusiones:** Es posible utilizar las tecnologías emergentes ultrasonido y campos magnéticos como una nueva alternativa para procesos de conservación, transformación y absorción de los alimentos de los productos derivados de pescados.

**Palabras clave:** Alta intensidad, digestibilidad *in Vitro*, ultrasonido, atún.

## ABSTRACT

**Background:** The *in vitro* digestibility is a way of measuring the use of a food, that is to say determine the ease of making it the digestive system useful for nutrition substances. It comprises two processes, digestion corresponding to the hydrolysis of complex food molecules, and the absorption of small molecules (amino acids, fatty acids) in the intestine. Consumer trends and demands for safe, natural, longer life and healthy foods has generated the need to explore new ways of processing and preservation. **Objective:** To evaluate the effect of high intensity ultrasound and magnetic fields on the digestibility *in vitro*, in the tenderloin tuna (*Katsuwonus pelamis*). **Methods:** Samples of frozen tuna and packed under vacuum, detail transported cava with cooling gels (Artic pack) to the city of Pamplona Norte de Santander. Waves of high intensity ultrasound (37kHz, 25W / cm<sup>2</sup>) using deionized high purity water in a ultrasonic wave generator (Elmasonic E model E60H) were applied. And magnetic fields with an intensity of 1T on a computer (Scoli, 8A N240, R = 2.8 Ohm Ω).

<sup>1</sup> Profesor Universidad de Cartagena - Facultad de Ingeniería

<sup>2</sup> Profesor Asociado. Universidad de Pamplona – Norte de Santander, Pamplona – Colombia.

<sup>3</sup> Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agrarias.

\* Correspondencia: lfuentesb@unicartagena.edu.co

A design completely random with one factor (time of exposure to ultrasound and magnetic fields) in 4 levels (0, 3, 4, & 5 min). **Results:** The results showed that treatment with ultrasound and fields magnetic in Vitro digestibility significantly different from control ( $p < 0.05$ ). **Conclusions:** It is possible to use emerging technologies ultrasound and magnetic fields as a new alternative for conservation processes, transformation and absorption of food products derived from fish.

**Keywords:** Divisibility in Vitro, high intensity, ultrasonic, tuna

## INTRODUCCIÓN

La conservación de los alimentos ha sido el objetivo primordial de la industria procesadora de alimentos, puesto que garantiza la seguridad y la calidad de estos (1). La aplicación en la última década las tecnologías no térmicas que se utilizan para inactivar microorganismos se han desarrollado en respuesta al interés de ser utilizado en productos frescos y naturales. Este tipo de tecnologías Las nuevas tecnologías no térmicas, como ultrasonido (US), campos magnéticos (CM), alta presión hidrostática (HHP), Campos eléctricos pulsados (PEF) y el calentamiento óhmico (OH) tienen la capacidad de inactivar microorganismos a temperaturas cercanas a la del ambiente evitando la degradación de los componentes en los alimentos, y por lo tanto la preservación de la calidad sensorial y nutricional de los productos alimenticios (2). Especialmente en los últimos años, algunos investigadores han examinado el potencial de los US, por sí mismo en combinación con otros métodos para aplicaciones que van desde la mejora de los criterios de calidad con la modificación de las propiedades funcionales de las proteínas, la mejora de la vida útil, la reducción del cloruro de sodio y el aumento del rendimiento de cocción para determinar características de la canal y la composición de la carne. Por lo tanto se puede destacar que el US ha sido objeto de interés para la industria de la carne, sin embargo hay muy poca información disponible sobre los efectos del US en las características de la calidad de carnes y de los agentes patógenos (3, 4). El tratamiento con CM y electromagnéticos es una de las alternativas que se propone para el tratamiento de alimentos, especialmente en la eliminación de los microorganismos patógenos que se presentan en los mismos (5). De la mayoría de los métodos de conservación no tér-

micas, sólo el campo magnético puede aplicarse en la estimulación de microorganismos de interés y en la variación de varias propiedades físico-químicas como la densidad y viscosidad (6). El pescado es bien conocido como una fuente saludable de proteínas dietéticas ricas en aminoácidos esenciales, grasas, vitaminas y ácidos grasos insaturados que están asociados con la reducción de contraer trastornos neuronales y enfermedades cardiovasculares (7). El pescado es una valiosa fuente de microelementos esenciales como el Na, K, P y Mg, que desempeñan un papel clave en la salud humana (8). El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del US de alta intensidad y los CM sobre Digestibilidad *In Vitro*, de la carne de lomo de atún (*Katsuwonus pelamis*).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención de la materia prima

La carne de lomo de atún de la especie *Katsuwonus pelamis*, fue adquirida en la plaza de mercado de la Ciudad de Cartagena-Bolívar.

### Acondicionamiento de la muestra

La carne fue empacada en bolsas plásticas y de inmediato se transportó refrigerada a 4 °C a los laboratorios de la Universidad de Pamplona para los análisis, después se adecuó retirando tendones y piel, posteriormente se acondicionó en cubos de 2 cm<sup>3</sup>; luego se empacaron al vacío en un equipo Henkovic<sup>®</sup> y se almacenaron en refrigeración a 4 °C.

### Aplicación de US de alta intensidad y CM

La carne de lomo de atún se expuso a US de alta intensidad (37kHz, 25W/cm<sup>2</sup>) durante 0, 3, 4 y 5 min, con una potencia de calentamiento de 400 W, utilizando el equipo (Elmasonic E Modelo: E60H<sup>®</sup>) con regulación de tiempo de intensidad y temperatura, empleando como medio de transmisión agua desionizada de alta pureza. Estos ensayos se realizaron por triplicado. En la aplicación de CM se usó el equipo (Scoli, 8A N240, R=2,8 Ω Ohmio<sup>®</sup>) a una intensidad de 1 Tesla, estos ensayos se realizaron por triplicado y los tiempos de tratamiento fueron de 0, 3, 4 y 5 minutos a temperatura de 18°C.

### Digestibilidad proteica in vitro con pepsina

La digestibilidad proteica fue evaluada siguiendo la metodología A.O.A.C. (971.09) con la modificación propuesta por el Laboratorio de Torry. Se tomaron muestras de un 1g; las cuales se secaron en una mufla (Vulcan 3-500 NDI)

y luego se desengrasaron por el método Soxhlet AOAC (971.09). En un Erlenmeyer, se midieron 150 ml de HCl al 0,075 N, se les adicionó pepsina al 0,002 %. Esta solución fue incubada en baño de maría a temperatura de 42 – 45 °C en agitación constante durante 16 horas. El precipitado formado fue filtrado y lavado con H<sub>2</sub>O y luego se secó con cetona; en el residuo obtenido se determinó el contenido de proteína por el método de Kjeldahl AOAC (13 th Edition, 1984.), el porcentaje de digestibilidad proteica, La medición fue realizada por triplicado para cada una de las muestras control y tratadas. La digestibilidad se calculó de acuerdo a la Ecuación 1.

$$\% \text{Digestibilidad} = \frac{(p_i - p_f)}{p_i} \times 100$$

$p_i$  = % inicial de proteína

$p_f$  = % final de proteína

### Análisis estadísticos

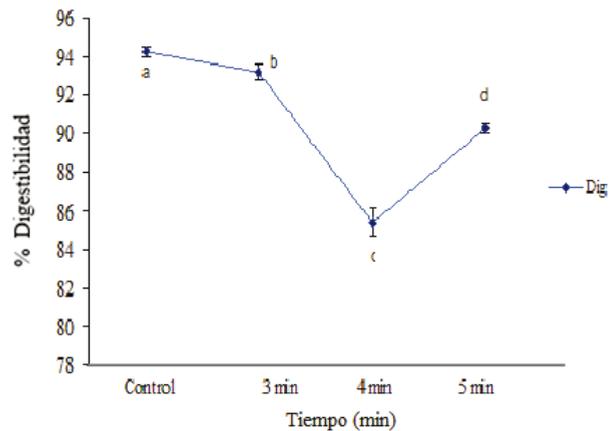
Se realizó un diseño completamente al azar con un solo factor (tiempo de exposición a US y CM en 4 niveles correspondientes a 0, 3, 4, y 5 min), con tres repeticiones para cada tratamiento de US y CM, teniendo un total de 24 unidades experimentales (9). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y se aplicó la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) fijando un nivel de significancia a  $p < 0,05$ . Los resultados fueron procesados utilizando el paquete de software estadístico (SPSS versión. 14).

## RESULTADOS

### Efecto del ultrasonido sobre Digestibilidad proteica in vitro de la Carne de Atún

Los resultados encontrados para la prueba de digestibilidad *in Vitro* en la carne de lomo de atún (*Katsuwonus pelamis*) se pueden observar en la Figura 1. Donde se muestra una disminución de la digestibilidad por efecto del tratamiento con US en las muestras tratadas.

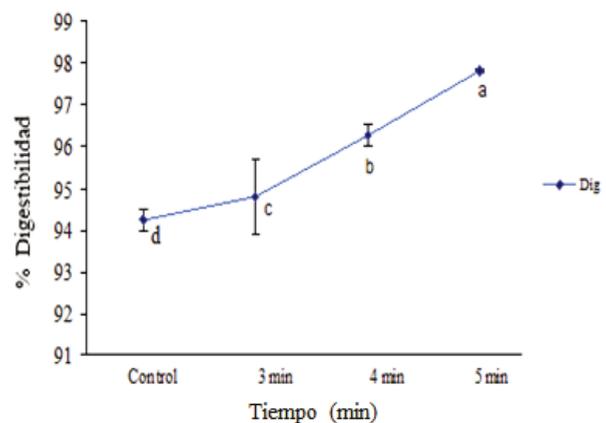
Como se observa en la figura 1, entre la muestras control y las tratadas existen diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ). Al realizarse la prueba de DMS, se establecieron 4 grupos homogéneos. El primero representado por el control y los otros tres constituidos por las muestras tratadas con US.



**Figura 1.** Efecto del ultrasonido sobre la digestibilidad *In Vitro* de la carne de lomo de atún.

### Efecto de los campos magnéticos sobre Digestibilidad proteica in vitro de la Carne de Atún

Los resultados de la aplicación de los CM se presentan en la figura 2. Al aplicar la prueba de DMS, se establecieron 3 grupos homogéneos. El primero representado por el control y los otros dos constituidos por las muestras tratadas con CM a 4 y 5 min.



**Figura 2.** Efecto de los campos magnéticos con tiempo de exposición 3.4 y 5 minutos sobre la digestibilidad *in Vitro* de la carne de lomo de atún

## DISCUSIÓN

La disminución de la digestibilidad de la proteína por tratamiento US, pudo deberse a las desnaturalización de las proteínas (pérdida de la estructuras secundarias y terciarias), por lo cual pierden su actividad biológica, de ahí la

disminución de la digestibilidad cuando se trata con ultrasonido Güzey D (10). Otro aspecto importante es la formación de enlaces peptídicos entre dos aminoácidos, los cuales forman las reacciones de condensación que sufren los aminoácidos ocasionando pérdida de la biodisponibilidad Hernández *et al.* (11). Si bien es cierto que existe diferencia desde el punto de vista del origen de la carne, es importante aclarar que debido al alto contenido proteico de las mismas, el comportamiento de las proteínas es común, por lo que se puede establecer comparaciones basadas en la similitud del cambio de la estructura de la proteínas; debido a que no existen estudios entre material del mismo origen (carne de atún), y este análisis se enmarca en el contenido proteico. Se presentó un aumento de la digestibilidad por el tratamiento CM, lo que puede deberse a la existencia de ciertos mecanismos de resonancia (enlaces peptídicos) del tipo ciclotrón debido a algunas formas iónicas de los aminoácidos (histidina, lisina, metionina, prolina, serina, treonina, triptófano y tiroxina) que le dan características intrínsecas de solvente (fase acuosa) cambiando las características estructurales de la proteínas, este tratamiento altera el escudo de hidratación de la proteína; y en estas condiciones el enlace peptídico es altamente susceptible al ataque de la molécula de agua alrededor de la proteína por el cambio en la estructura de esta que conduce a una modificación en la posición de algunos grupos ionizables Gambuteanu *et al.*, (12) Además se puede correlacionar el efecto del campo magnético con el pH, el movimiento de iones hidronio de la carne, generado por el campo, favorece la digestión, asumiendo que el tratamiento permite desestabilización del contenido de hidrogeniones libres, a situación que conlleva a una mayor disposición de estos al momento de la digestión Novikov y Fesenko, (13).

## CONCLUSIONES

La aplicación de ultrasonido en la carne de lomo de atún disminuye significativamente ( $p \geq 0.05$ ) su digestibilidad, pero esta disminución no es lineal con el tiempo de tratamiento. Por su parte el tratamiento con campos magnéticos aumenta

significativamente ( $p \leq 0.05$ ) la digestibilidad de las proteínas de lomo de atún cuando el tiempo de tratamiento es superior a 4 min. El estudio reveló que a partir de 4 min de tratamiento se eleva en dos unidades el porcentaje de digestibilidad por cada minuto adicional (comparada con la muestra control), alcanzando un 98% cuando se trata con CM durante 5 min.

## REFERENCIAS

1. Pereira R.N., Vicente A.A. Environmental impact of novel thermal and non-thermal technologies in food processing. *Food Research International*. 2010 September 21; 43(7): 1936-1943.
2. Alarcón Rojo A.D., Janacua H., Rodríguez Panivnyk L., Mason T.J. Power ultrasound in meat processing. *Meat science*. 2015 May 12; 107: 86-93.
3. Condón S., Mañas P., Cebrián G. Manothermo sonication for microbial inactivation. In *Ultrasound technologies for food and bioprocessing*, Springer. 2011 November 4; 223: 287-319.
4. Haughton P. N., Lyng J.G., Morgan D.J., Cronin D.A., Noci F., Fanning S. An evaluation of the potential of high-intensity ultrasound for improving the microbial safety of poultry. *Food and bioprocess technology*. 2012 February 15; 3(5): 992-998.
5. Mesa Y. Efecto de un campo electromagnético de 40 Gauss a 60 Hz en la viabilidad del cultivo bioyogurt en las fases de crecimiento bacteriana. *Investigación y Saberes*. 2012 July 22; 1(3): 65-70
6. FDA. Food and Drug Administration, Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies—Oscillating Magnetic Fields, [Internet] Estados Unidos: 2008 [Actualizado 18 de Diciembre de 2014; Citado 18 Julio 2015]. Disponible en: <http://www.fda.gov/Food/Food Science Research/Safe Practices for Food Processes/ucm103131.htm>.
7. Jump D.B., Depner C.M., Tripathy S. Omega-3 fatty acid supplementation and cardiovascular disease Thematic Review Series: New lipid and lipoprotein targets for the treatment of cardio metabolic diseases. *Journal of lipid research*. 2012 December; 53(12), 2525-2545.
8. Boufleur L.A., Lochins D.C., Debastiani R., Yoneama M.L., Amaral L., Ferraz D. J. Elemental characterization of Brazilian canned tuna fish using particle induced X-ray emission (PIXE). *Journal of Food Composition and Analysis*. 2013 May 18; 30(1): 19-25.
9. A.O.A.C. Official Methods of Analysis. (971.09), 12a Ed, Association of Official Analytical Chemists. 1990; 1094.
10. Güzey D. Modification of Protein Structure and Functionality Using High-Intensity Ultrasound. [Masters of Science]. [Knoxville, Tennessee], The University of Tennessee: 2002 December. 68 p.
11. Hernández M., Hernández R., Sastre, A. Tratado de nutrición, España, Madrid; 2007; 454 p.
12. Gambuteanu C., Filimon V., Alexe P. Effects Of Ultrasound On Technological Properties Of Meat A Review. *Food Science And Technolog*, 2013 octubre 23; 14(2): 176-182.
13. Novikov V. V., Fesenko E. E. Hydrolysis of Some Peptides and Proteins in a weak combined. *Biofizika*. 2001 September 12; 46(2): 235-241.

# EVALUACIÓN DE RESIDUOS DE CADMIO, COBRE Y PLOMO EN CEBOLLÍN, LECHUGA Y REPOLLO COSECHADOS EN TOLEDO NORTE DE SANTANDER

EVALUATION OF RESIDUES OF CADMIUM, COPPER AND LEAD IN CEBOLLÍN, LETTUCE AND CABBAGE HARVESTED IN TOLEDO NORTH OF SANTANDER

Alexandre. ARRIETA S. M.Sc.<sup>1</sup>, Arnulfo A. TARON D. M.Sc.<sup>2</sup>, Lorenzo FUENTES B. M.Sc.<sup>3</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** El municipio de Toledo Norte de Santander se encuentra influenciado por explotaciones mineras de extracción y refinación de hidrocarburos, la explotación de estos elementos está generando problemas de salud como resultado de los desechos que se emiten al aire, suelo y al agua, que contaminan el ambiente y específicamente los suelos agrícolas. Los vegetales cultivados cerca de estas explotaciones presentan afectaciones por contaminantes químicos, especialmente metales pesados. **Objetivo:** Determinar cuantitativamente los niveles de Cd, Cu y Pb en los sub productos hortícolas “cebollín, lechuga y repollo” cosechados en el municipio de Toledo Norte de Santander. **Métodos:** En el presente estudio se realizó un muestro intencional en cinco veredas del municipio en el cual se tomaron muestras por triplicado de cebollín, lechuga y repollo y se les determinó la presencia de Cadmio, Cobre y Plomo mediante espectrofotometría de absorción atómica. **Resultados:** Los resultados mostraron una mayor concentración de Cd y Pb en lechuga cultivada en la vereda Juan Pérez (85 y 72%), mientras que en las veredas Gilbratar y Samore se encontraron menores concentraciones de Cd y Pb en repollo y cebollín (68 y 44%). Superando los límites permisibles. La concentración de Cobre en las muestras de las veredas estudiadas se encontraron en el rango de los límites permisibles por la unión europea. **Conclusión:** El cebollín, la lechuga y el repollo cosechados en las veredas

objeto de estudio están afectadas por la presencia de los metales Cadmio y Plomo, los cuales deben ser cuidadosamente monitoreados considerando el riesgo de entrada de estos metales a la cadena alimentaria y causar daños a la salud de los habitantes del municipio.

**Palabras clave:** Horticultura, brócoli, cadmio, cobre

## ABSTRACT

**Background:** The municipality of Toledo Norte de Santander is influenced by mining extraction and refining of hydrocarbons, the exploitation of these items is causing health problems as a result of the waste that is released into the air, soil and water, specifically agricultural soils. The vegetables grown near these farms have effects caused by chemical pollutants, especially heavy metals. **Objective:** To quantitatively determine the levels of Cd, Cu and Pb in the sub horticultural products “onion, lettuce and cabbage” harvested in the municipality of Toledo Norte de Santander. **Methods:** In the present study an intentional sampling was conducted in five villages in the municipality in which samples were taken in triplicate chives, lettuce and cabbage and was determined the presence of cadmium, copper and lead by atomic absorption spectrophotometry. **Results:** The results showed a higher concentration of Cd and Pb in lettuce grown in the village of Juan Perez (85 and 72%), while in Gilbratar and Samore sidewalks lower concentrations of Cd and

<sup>1</sup> En Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Universidad de Pamplona, Pamplona Norte de Santander-Colombia Km. 1 Vía Bucaramanga.

<sup>2</sup> En Biotecnología. Universidad de Cartagena, Cartagena-Colombia Piedra de Bolívar Av. del Consulado, Calle 30 N° 48-157

<sup>3</sup> Ciencia y Tecnología de los Alimentos Universidad de Cartagena, Cartagena-Colombia Piedra de Bolívar Av. del Consulado, Calle 30 N° 48-157

\* Autor de correspondencia: javier23-0411@hotmail.com

Pb in cabbage and onions (68 were found and 44%) exceeding the permissible limits. The concentration of copper in the samples studied were in the villages found in the range of permissible limits by the European Union. **Conclusions:** The onion, lettuce and cabbage harvested in the villages under study are affected by the presence of the metals cadmium and lead, which must be carefully monitored considering risk of entry of these metals to the food chain and cause damage the health of the inhabitants of the municipality.

**Keywords:** Horticulture, broccoli, cadmium, copper

## INTRODUCCIÓN

Los vegetales aportan a nuestra dieta vitaminas y minerales, además de fibra, la cual ayuda a la digestión, beneficiando a la población, generando empleo, mejorando la eficiencia de uso de los recursos, armando redes de comercialización y produciendo mejoras en la salud poblacional mediante su mayor consumo (1). Los metales que se encuentran en alimentos proceden de forma natural de la solución de las rocas, aunque algunos deben su presencia a las prácticas de cultivo como el uso de plaguicidas o fertilizantes. La producción de hortalizas en Colombia, en términos generales, es una actividad riesgosa caracterizada por cultivos pequeño, dispersos, uso de mano de obra no calificada, carencia de tecnología, mal manejo pos cosecha entre otros (2). Los metales pueden acumularse en los cultivos, ya sea a través de su absorción por el agua de regadío contaminada, por la tierra a través de las raíces o por la deposición en el follaje de partículas aerotransportadas (3). La capacidad de las plantas para bioacumular metales y otros posibles contaminantes varía según la especie vegetal y la naturaleza de los contaminantes. Estos daños se traducen en cambios que afectan la calidad de vida y la salud de los seres que habitan la tierra, debido a alteraciones en el aire, el suelo, las aguas y el conjunto de los ambientes urbanos y rurales (4 y 5). Los metales pesados suponen una preocupación importante en Salud Pública por su toxicidad aguda y crónica y por la amplia variedad de fuentes de exposición. Entre los metales que generan preocupación por su exposición ambiental, vía alimentaria principalmente, se encuentran el plomo y el cadmio entre otros (6). El cadmio es considerado cancerígeno por la Agencia de Investigación sobre el Cáncer de la OMS, mientras que el plomo

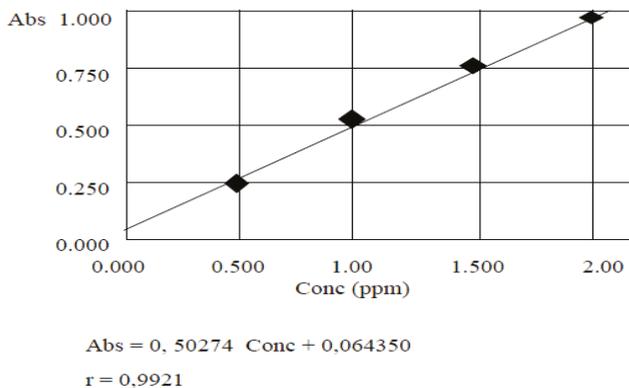
preocupa especialmente por su neurotoxicidad. la principal ruta de exposición de la población humana a los metales pesados son los alimentos, dada la difusión en el ambiente y la acumulación a través de las cadenas trófica, la cual tiene su origen en la actividad industrial y a la capacidad que tienen estos elementos de bioacumularse (7). La presencia de los metales pesados en los productos alimenticios es importante para evaluar los riesgos a la salud de la población en general causando efectos a la salud, como el cáncer, efectos inmunológicos, reproductivos, de desarrollo y neurológicos (8). Los niveles altos en las concentraciones de estos metales en las zonas permiten determinar el nivel de toxicidad de los mismos, su potencial ingreso y afectación en la cadena trófica (9). Las plantas han desarrollado mecanismos para absorber, translocar y acumular sustancias, sin embargo, algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, translocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos (10). La fitotoxicidad de los metales pesados se manifiesta particularmente en los suelos ácidos y afecta al crecimiento y la formación de raíces laterales y secundarias (11). Por otra parte, los cambios estructurales del sector pecuario, tales como el aumento de los sistemas de producción intensiva, el incremento de la producción mono específica, la integración vertical, el desarrollo de una distribución a nivel mundial y el establecimiento de sistemas pecuarios intensivos cercanos a centros urbanos han creado una conexión entre la contaminación - personas - ecosistemas que aumenta el riesgo de aparición de nuevas enfermedades infecciosas o la intensificación de las ya conocidas(12). Sin embargo, hace falta realizar más estudios sobre la problemática generada por la disposición de metales pesados y su impacto sobre el recurso pecuario, el deterioro de ecosistemas y la salud humana (13).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Muestreo de vegetales

El estudio se llevó a cabo en cinco veredas del municipio de Toledo Norte de Santander, Colombia, zona influenciada por la industria petroquímica, tanto de extracción como de procesado. A partir de 150 gramos de cebollín, lechuga y repollo obtenidas los días de recolección, las muestras fueron

lavadas con agua potable, para eliminar los restos de tierra y disponerlas tal cual se consumen, luego se sub dividieron en 3 sub muestras de 50 gramos, las cuales fueron sometidos a calentamiento en un mechero bunsen durante una hora, produciendo una carbonización parcial, luego fueron llevadas a mufla a 105° durante 2 horas. Pasado esto se realizaron las medidas de peso y los cálculos posteriores para la determinación de las cenizas y la humedad. La determinación analítica de las muestras se realizó siguiendo la metodología propuesta por la AOAC 999.11 (14). La calcinación de las muestras fue incompleta se procedió a adicionarle 3 ml de ácido clorhídrico (HCL) 3N para disolver las sales, y luego someterlo a calentamiento por espacio de 10 minutos a fuego lento, las muestras fueron filtradas y transferidas a balón volumétrico de 25 ml. Las concentraciones de los metales pesados por se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica de llama en un espectrofotómetro SHIMADZU AA7000 con llama aire-acetileno. Las curvas de calibración se realizaron utilizando estándares Merk. Se utilizó un diseño un diseño intencional aleatorio y se empleó la prueba t-studen para comparación de medias. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando en el programa SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0 a un nivel de significancia  $p < 0.05$ . Los resultados de expresan en mg/kg. Ver figura 1



**Figura 1.** Curva de calibración Absorbancia vs concentración para Cd, Cu y Pb en cebollín, lechuga y repollo.

## RESULTADOS

Los resultados arrojaron que las concentraciones de Cobre en las veredas Juan Pérez, Gibraltar, Samore, Toledito y Rionegro, se encontraron en

los rangos permitidos por la unión europea para este metal que es 0,1 mg/kg. El Pb el 85% de las muestras de lechuga, el 45% de las muestras cebollín y el 59% de las muestras repollo procedentes de la vereda Juan Pérez superaron los valores indicados por la normativa que es de 0,3 mg/kg para hortalizas del género Brassica. Las veredas toledito y rio negro se encontraban en los límites permitidos para estos metales. El Cd en las muestras de lechugas producidas en la vereda Juan Pérez superaron en un 72% los parámetros establecidos por la Unión Europea, mientras que en el repollo y el cilantro se encontraron concentraciones menores (58 y 39%) superando los límites permisibles por la Unión Europea que para este metal es 0,2 mg/kg. En las veredas Toledito y Rio negro las muestras estuvieron dentro los parámetros permitidos por la Unión Europea (15) Ver tabla 1

**Tabla 1.** Concentración de Cd, Cu y Pb en Toledo municipio de Norte de Santander

Mg/kg de Cadmio					
	Gibraltar	Juan Pérez	Rionegro	Samore	Toledito
CEBOLLIN	0,23	0,27	0,02	0,22	0,04
LECHUGA	0,31	0,46	0,04	0,29	0,06
REPOLLO	0,22	0,24	0,01	0,28	0,02
U. E	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Mg/kg de Cobre					
	Gibraltar	Juan Pérez	Rionegro	Samore	Toledito
CEBOLLIN	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
LECHUGA	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
REPOLLO	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002
U. E	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Mg/kg de Plomo					
	Gibraltar	Juan Pérez	Rionegro	Samore	Toledito
CEBOLLIN	0,035	0,39	0,01	0,31	0,02
LECHUGA	0,38	0,44	0,01	0,34	0,02
REPOLLO	0,34	0,37	0,01	0,36	0,01
U. E	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

## DISCUSIÓN

En general la mayor acumulación se presentó en la vereda Juan Pérez, zona influenciada por explotaciones petroleras. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Bergmann, W y colaboradores (16) en la cual, reporta la mayor a acumulación de metales en lechuga en comparación con el repollo y el brócoli. Por otro lado Mengel, K y colaboradores (17) encontraron que la lechuga es una planta capaz

de absorber grandes cantidades de Pb de suelos que se encuentren altamente contaminados. Estos resultados fueron comparados con los estudios realizados por Kötschau A y colaboradores (18) donde se demostró que la lechuga es un bioacumulador de dichos metales.

## CONCLUSIONES

No se encontró contaminación excesiva por cobre en las hortalizas de las veredas investigadas. La problemática verificada por este estudio es relevante debido a que los pequeños y medianos productores proveen a las principales centrales de abasto de estos productos en la región. En este sentido es urgente establecer controles de contaminación por metales pesados en este tipo de alimentos.

## REFERENCIAS

- Mubarik A. Horticulture Revolution for the Poor: nature, challenges and opportunities. FAO. World Development Report. 2008; 44 p.
- Vallejo F. Hortalizas en Colombia. [Trabajo de pregrado]. [Palмира, Valle]: Universidad Nacional de Colombia: 2004. 72 p.
- Mor F, Ceilan S. Cadmium and lead contamination in vegetables collected from industrial, traffic and rural areas in Bursa Province Turkey. Food Additives & Contaminants. 2008 May; 5 (25): 611-615.
- Adeniyi A. Determination of cadmium, iron, lead, manganese and zinc in water leaf (*Talinum Triangulare*) in dumpsites, Environmental International. 1999 Dic;8(22): 259-262.
- Kumar A, Sharma I, Sharma A, Sarita V, Verma P. Heavy metals contamination in Jaipur (India). Electronic Journal of environmental agricultural and food chemistry 2009; 2 (8): 96-101 p.
- Viveros F, Ventura A, Muhammad E, Rodriguez A, Vargas J, Landero V. Contenido de Cd Y Pb en suelo y plantas de diferentes cultivos irrigados con aguas residuales en el Valle del Mezquital. Revista internacional de contaminación ambiental 2015 Sep; 2(31):127-132.
- Wang X, Ma Y, Zhuo R. Screening of Cd tolerant genotypes and isolation of metallothionein genes in alfalfa (*Medicago sativa* L.). Environ. Pollut. 2011 Ago; 24(159):3627-3633.
- Zhihao W, Chenghua L, Shan L, Bing Z. Factor Pantothenate kinase associated neurodegeneration: insights from a Drosophila model. Revista Human Molecular Genetics. 2009 Jul;13 (19): 3659- 3672.
- Mitch M. Lasat The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soil. Science Environmental Protection Agency.2000; 33 p.
- Catala R, Montoya R, Bañez N. Contaminación por metales pesados de los productos cárnicos. Rev. Agroquim. Tecnol. Aliment. 1982; 23 p.
- Tadeo F, Gómez A, Azcón J, Talón M. Fundamentos de fisiología vegetal. 2a ed. McGraw-Hill Interamerican: Madrid 2008 Ago: 577 - 597.
- Código de prácticas de higiene para las frutas y hortalizas frescas. (53): 2007: 162-192.
- Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, 15 th Edition. (1): 1990.
- Contenidos máximos de determinados contaminantes. Unión Europea.008. Reglamento (CE) No 1881/2006 de la Comisión: 2006. 34 p.
- Marschner H. Mineral nutrition of higher plants. 3 ed. London. 2012. 650 p.
- Bergmann W, Gustav Fischer Verlag, Jena, Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. 3 ed. Alemania: 1993. 10 p.
- Mengel K, Kirkby E, Kosegarten H y Appel, T. Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 5 ed. 31 Jul 2001.
- Kötschau A, Büchel G, Einax J, Meißner R., Tümpling V y Merten D. Element pattern recognition and classification in sunflowers (*Helianthus annuus*) grown on contaminated and non-contaminated soil. Microchemical. 2014 May 16; 10 (114):164-174.

# ESTUDIO DE COMPOSICIÓN CENTESIMAL Y PROPIEDADES TERMO - FÍSICAS PARA LA PULPA DE AÇAÍ

## STUDY OF COMPOSITION AND THERMO - PHYSICAL PROPERTIES FOR AÇAÍ PULP

Sebastián ARIAS-GIRALDO, IA.<sup>1\*</sup>; Adela M. CEBALLOS-PENALOZA, MSc.<sup>2</sup>, Luis F. GUTIÉRREZ-MOSQUERA, PhD.<sup>3</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes:** El açaí es una fruta brasilera de alto valor económico, nutritivo y sensorial, que se comercializa principalmente en forma de pulpa demandando en su procesamiento el uso de diferentes métodos de conservación. El conocimiento de sus propiedades termodinámicas y físicas contribuye a mantener un control eficaz de estas operaciones.

**Objetivos:** Determinar la composición centesimal de la pulpa de açaí y evaluar teóricamente las propiedades termo-físicas del producto fresco. **Materiales y métodos:** Se caracterizó bromatológicamente la pulpa, empleando los métodos brasileiros oficiales de análisis de alimentos; mientras que las propiedades térmicas y físicas se estimaron aplicando expresiones matemáticas basadas en la composición. Los resultados se organizaron en un diseño experimental completamente aleatorio con tres lotes de producto, interpretados mediante ANOVA y pruebas de comparación de medias, con un nivel de significancia del 5%. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS (Statistical Analysis System) versión 9.2. **Resultados:** La caracterización fisicoquímica arrojó en promedio los siguientes resultados: humedad 85,624%, proteínas 1,895%, lípidos 6,933%, cenizas 0,623% y carbohidratos 4,925%. La densidad determinada en laboratorio fue de 960,783 kg/m<sup>3</sup>. Para la pulpa, se calculó un calor específico de 3,807 KJ/kg.°C y 1,913 KJ/kg.°C, por encima y por debajo del punto de congelamiento respectivamente; una conductividad térmica de 0,526 W/m.°C y 2,128 W/m.°C antes y después de alcanzar congelación; y una difusividad térmica de  $1,43 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ . **Conclusiones.** Los valores fueron

similares a los reportados en otras investigaciones. Se recomienda finalmente el uso de modelos teóricos que involucren la totalidad de los nutrientes presentes en los alimentos, puesto que pueden afectar la magnitud de las propiedades térmicas y el desempeño de la matriz durante su conservación.

**Palabras clave:** açaí, bromatología, composición centesimal, propiedades termo-físicas.

### ABSTRACT

**Background:** Açaí is a brazilian fruit of high economic, nutritional and sensory value, which is marketed primarily as pulp demanding different preservation methods. Knowledge of their thermodynamic and physical properties helps maintain an effective control of these operations. **Objective:** Determine the percentage composition of açaí pulp and evaluate theoretically the thermo-physical properties of the fresh product. **Methods.** Food analysis was conducted using the official brazilian methods; while thermal and physical properties were estimated using mathematical expressions based on composition. The results were organized in a randomized experimental design with three batches of product, performed by ANOVA and means comparison tests, with a significance level of 5%. Statistical analyzes were performed using SAS program (Statistical Analysis System) version 9.2. **Results:** The physicochemical characterization showed the following mean results: 85,624% moisture, 1,895% protein, 6,933% lipids, 0,623% ash and 4,925% carbohydrates. The determined density was 960,783 kg/m<sup>3</sup>. For the pulp, a specific heat of 3,807 KJ/kg.°C and 1,913 KJ/kg.°C was calculated

<sup>1</sup> Ingeniero de Alimentos. Investigador. Grupo de investigación Alimentos y Agroindustria. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

<sup>2</sup> Ingeniera Química. Investigadora. Grupo de investigación Alimentos y Agroindustria. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

<sup>3</sup> Ingeniero Químico. Profesor asistente, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingeniería. Grupo de investigación Alimentos y Agroindustria. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

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

above and below the freezing point respectively; thermal conductivity gives values of 0,526 W/m.°C and 2,128 W/m°C before and after reaching freezing point; and the thermal diffusivity results in  $1.43 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ . **Conclusions:** The values were similar to those reported in other studies. It is recommended to use theoretical models involving all the nutrients in food, since they can affect the thermal properties and the performance of the matrix during storage.

**Keywords:** açaí, food science, percentage composition, thermo-physical properties.

## INTRODUCCIÓN

El açaí es el fruto del açaizeiro (*Euterpe olerácea*), palmera típica brasilera que crece en los estados de Amazonas, Pará y Maranhão. Su pulpa presenta alto valor nutricional y calórico, siendo buena fuente de vitamina E, fibra, cobre, calcio, magnesio y potasio (1, 2, 3); y es calificada como alimento funcional gracias a su alto contenido de antocianinas, incluyendo efecto anti-cancerígeno y anti-inflamatorio (2). Además, el aceite del fruto contiene ácidos grasos de buena calidad, 60% mono insaturados y 13% poli insaturados (3). En el año 2011, el açaí presentó una producción en Brasil de 215.381 toneladas, movilizand o cifras económicas de 304,5 millones de reales (4).

El derivado más común del açaí es su pulpa, que requiere del empleo de métodos de preservación por calentamiento o enfriamiento, con el fin de evitar reacciones de deterioro físico, oxidación y/o reducción del contenido de antocianinas (1).

Para el estudio de los métodos de conservación en alimentos, se requiere conocer sus propiedades térmicas y físicas. Se destacan la conductividad y la difusividad térmica, el calor específico y la densidad, las cuales pueden ser estimadas usando modelos predictivos dependientes de la temperatura y de la composición del producto (5). Los estudios de dichas propiedades se enfocan a las carnes, lácteos, frutas y vegetales (6); sin embargo, productos como el açaí, no presentan casi ninguna información ni revisión disponible (7).

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar la composición centesimal de la pulpa de açaí, para emplear posteriormente modelos matemáticos que permitieran predecir sus propiedades termo-físicas. De esta manera, se dispuso de una información primordial para el estudio, diseño y evaluación de los procesos de conservación de frutas y vegetales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar de experimentación y materia prima

Los experimentos se desarrollaron en los Laboratorios de Calidad y Seguridad Alimentaria de la Universidad Federal de Viçosa, ubicada en Viçosa, Brasil. 3 lotes de pulpa de açaí se adquirieron en la ciudad de Belém, estado de Pará. El producto se mantuvo en congelación a  $-18 \text{ }^\circ\text{C}$  y, un día antes de los análisis, se descongeló bajo refrigeración a  $7 \text{ }^\circ\text{C}$ . Posteriormente, se llevó a temperatura ambiente para los ensayos experimentales.

### Análisis fisicoquímicos y cálculo de propiedades termo-físicas

Se analizó la composición centesimal de la pulpa de açaí, incluyendo determinación del contenido de agua, proteína, lípidos, cenizas y carbohidratos, este último por diferencia. Además, se realizaron análisis de pH, densidad y °Brix. Las metodologías experimentales utilizadas se describen en el manual de “*Métodos físico-químicos para análise de alimentos*” del Instituto Adolfo Lutz de Brasil (8). Los resultados se emplearon en el cálculo de las propiedades termo-físicas de cada lote de producto.

Para el cálculo de propiedades térmicas se utilizaron las ecuaciones de la Tabla 1.

### Diseño experimental

Todos los análisis se organizaron en un diseño experimental completamente aleatorio, con tres lotes de producto. Los ensayos bromatológicos se efectuaron por triplicado para cada lote. La determinación teórica de las propiedades del alimento se interpretó a través de un ANOVA, con significancia de 5%. Para comparar las medias de los parámetros  $\rho$ ,  $C_p$ ,  $k$  y  $\alpha$  se usó una prueba de Tukey. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS versión 9.2 (Statistical Analysis System; SAS Institute).

## RESULTADOS

Los análisis bromatológicos para la pulpa de açaí se muestran en la Tabla 2, mientras que en las Tablas 3 y 4 se presentan los resultados de cálculo para sus propiedades termo-físicas, por encima y por debajo de su punto de congelación respectivamente.

Según el Ministerio de Agricultura y Abastecimiento de Brasil (9), las pulpas de açaí se clasifican como de porte especial, medio y fino. El producto evaluado, dado su contenido promedio de sólidos de 14,376%, se catalogó como grueso o especial.

Para las propiedades termo-físicas existió diferencia entre los tratamientos a un nivel de significancia del 5%, mostrando una influencia de la cantidad y tipo de variables fisicoquímicas utilizadas por cada uno de los modelos. Además, los atributos

encontrados correspondieron a un valor medio, suposición que difiere de la realidad pues dichas propiedades dependen de la temperatura y varían durante el cambio de fase (6).

**Tabla 1.** Ecuaciones utilizadas para calcular las propiedades termo-físicas de la pulpa de açaí

Propiedad	Unidades	Modelo	Alimento	Referencia
Densidad de la pulpa	kg/m <sup>3</sup>	$\rho = 1035,3 - 0,07429 T - 0,006437 T^2$ <b>Ecuación 1</b>	Jugos y zumos de fruta	Araújo <i>et al.</i> (10)
		$\rho = 1068,65 - 0,4579 X_w - 0,3867 T$ <b>Ecuación 2</b>	Pulpa de frutas amazónicas	Pereira <i>et al.</i> (11)
Calor específico del producto sin congelar	KJ/kg.°C	$C_p = 1,424 m_c + 1,549 m_p + 1,675 m_g + 0,837 m_z + 4,187 m_w$ <b>Ecuación 3</b>	Alimentos	Singh y Heldman (12)
	Kcal/kg.°C	$C_p = 0,200 + 0,008 X_w$ <b>Ecuación 4</b>	Frutas	Okos (13)
Calor específico de pulpa congelada	KJ/kg.°C	$C_p = 0,837 + 1,256 X_w$ <b>Ecuación 5</b>	Alimentos	Siebel (14)
	Kcal/kg.°C	$C_p = 0,200 + 0,003 X_w$ <b>Ecuación 6</b>	Frutas	Okos (13)
Conductividad térmica sin congelar	W/m.°C	$k = 0,16 m_c + 0,155 m_p + 0,25 m_g + 0,135 m_z + 0,58 m_w$ <b>Ecuación 7</b>	Alimentos	Orrego (6)
	BTU/h.°F.ft	$k = \frac{0,0048 X_w + 0,0022 ((1 - m_w) * 100)}{1,488}$ <b>Ecuación 8</b>	Alimentos	Barreiro y Sandoval (15)
Conductividad alimento congelado	BTU/h.°F.ft	$k = \frac{0,021 X_w + 0,0022 ((1 - m_w) * 100)}{1,488}$ <b>Ecuación 9</b>	Alimentos	Barreiro y Sandoval (15)
Difusividad alimento sin congelar	m <sup>2</sup> /s	$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot c_p}$ <b>Ecuación 10</b>	Alimentos	Singh y Heldman (12)
		$\alpha = 0,088x10^{-6} + [\alpha_w - 0,088x10^{-6}] \left[ \frac{X_w}{100} \right]$ <b>Ecuación 11</b>	Alimentos	Riedel (16)

donde  $\rho$  es la densidad,  $T$  la temperatura en °C,  $X_w$  el porcentaje de humedad,  $C_p$  el calor específico,  $k$  la conductividad térmica,  $\alpha$  la difusividad térmica,  $\alpha_w$  la difusividad térmica del agua a la temperatura de trabajo, y  $m$  la fracción másica de: c, carbohidratos; p, proteínas; g, grasas; z, cenizas; w, agua.

**Tabla 2.** Valores medios para la caracterización bromatológica de la pulpa de açaí

Fuente	Sólidos (° Brix)		pH		Humedad (%)		Cenizas (%)		Lípidos (%)		Proteínas (%)		Carbohidratos (%)	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Este estudio	4,667	0,289	4,524	0,002	85,624	0,530	0,623	0,015	6,933	0,703	1,895	0,038	4,925	0,459
EMBRAPA (3)	-		5,80		85,00		0,53		7,20		1,95		5,33	

**Tabla 3.** Resultados de propiedades termo-físicas calculadas para pulpa de açaí, encima del punto de congelación

Fuente - Modelos	$\rho^{**}$ (kg/m <sup>3</sup> )		$C_p^*$ (KJ/kg.°C)		$k^*$ (W/m.°C)		$\alpha^*$ (m <sup>2</sup> /s)	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Araújo <i>et al.</i> (10)	1030,550 <b>a</b>	0	-	-	-	-	-	-
Pereira <i>et al.</i> (11)	1059,750 <b>b</b>	0	-	-	-	-	-	-
En este estudio	960,783 <b>c</b>	1,050	-	-	-	-	-	-
Singh y Heldman (12)	-	-	3,807	<b>a</b> 0,015	-	-	-	-
Okos (13)	-	-	3,703	<b>b</b> 0,015	-	-	-	-
Orrego (6)	-	-	-	-	0,526	<b>a</b> 0,003	-	-
Barreiro y Sandoval (15)	-	-	-	-	0,748	<b>b</b> 0,003	-	-
Singh y Heldman (12)	-	-	-	-	-	-	1,44 E-07	<b>a</b> 0
Riedel (16)	-	-	-	-	-	-	8,85 E-08	<b>b</b> 0
<b>Referencias en la literatura</b>								
Muniz <i>et al.</i> (17)	1013,6 - 1015,5	-	-	-	0,578	-	-	-
Pereira <i>et al.</i> (11)	1009,8 - 1024,9	-	-	-	-	-	-	-
Moura <i>et al.</i> (18)	-	-	3,69 - 3,86	-	0,575	-	1,38 E-07 - 1,43 E-07	-

\*Valores promedio (+/- desviación estándar DE), n=3 y significancia  $\alpha=0,05$ . Medias seguidas de una misma letra en la columna, y para cada una de las propiedades termo-físicas, no difieren entre sí por el test de Tukey.

\*\* Densidad a 22 °C.

**Tabla 4.** Resultados de las propiedades termo-físicas por debajo del punto de congelación, calculadas para la pulpa de açai

Fuente - Modelos	$C_p^*$ (KJ/kg.°C)		$k^*$ (W/m.°C)	
	Media	DE	Media	DE
Siebel (14)	1,912 a	0,006	-	-
Okos (13)	1,923 a	0,007	-	-
Barreiro y Sandoval (15)	-	-	2,128	0,012

\* Valores promedio (+/- desviación estándar DE), n=3 y significancia  $\alpha=0,05$ . Medias seguidas de una misma letra en la columna, y para cada una de las propiedades termo-físicas, no difieren entre sí por el test de Tukey.

## DISCUSIÓN

### Caracterización bromatológica

Los valores de composición centesimal del alimento fueron semejantes a los reportados por EMBRAPA (3) y presentaron una baja desviación estándar entre las muestras, pudiéndose concluir que los lotes eran homogéneos. El contenido de agua y cenizas estuvo por encima del valor reportado, evidenciándose una mayor concentración de minerales, atribuida a las condiciones agroecológicas y de cultivo de la fruta (7).

### Propiedades termo-físicas antes de la congelación

*Densidad:* el valor experimental difirió del arrojado por los modelos matemáticos. Esto se puede explicar por la alta concentración de agua en el alimento y la presencia en cantidades menores de macro nutrientes más densos que el agua, como carbohidratos y proteínas, que generan una disminución de este atributo (5).

*Calor específico:* se encontró una diferencia estadística entre los resultados de los modelos. La expresión de Singh y Heldman (12) incluye el aporte de los componentes individuales al calor específico, siendo un modelo más ajustado a las condiciones del alimento, en comparación con la propuesta de Okos (13). Ambos resultados se encontraron entre los valores reportados por Moura *et al.* (18) para jugo de açai a 40 °C.

Se pudo concluir que existe una influencia de los carbohidratos, grasas, cenizas y proteínas sobre la capacidad calorífica del alimento, y que esta no puede ser depreciada. Una subestimación de esta

propiedad puede dar lugar a tratamientos térmicos ineficientes, comprometiendo los estándares de calidad de los productos comercializados.

*Conductividad térmica:* la ecuación de Orrego (6) fue la única que arrojó resultados similares a los de otras investigaciones, demostrando la influencia de todos los macro nutrientes sobre las propiedades físicas de los alimentos.

*Difusividad térmica:* se destacó el valor proveniente de la definición de difusividad térmica puesto que se acercó más al valor reportado por Moura *et al.* (18), y tomó en cuenta indirectamente la composición centesimal del producto.

### Propiedades termo-físicas por debajo del punto de congelación

No se dispuso de reportes para las propiedades de interés, lo que imposibilitó la comparación de los modelos matemáticos con datos experimentales. No hubo diferencia significativa entre las dos ecuaciones utilizadas para la determinación del calor específico, permitiendo obtener un valor teórico medio para la fruta congelada. Por su parte, el valor de la conductividad térmica presentó un aumento, lo que correspondió a la conversión del agua en hielo, el cual posee una conductividad 80 veces mayor que la del líquido (6, 12, 15).

## CONCLUSIONES

El análisis de las propiedades de la pulpa de açai, utilizando modelos teóricos propuestos por diversos autores, permite obtener valores similares a los reportados en algunas investigaciones. Dichas propiedades tienen una influencia considerable en la descripción de los procesos de conservación y en las operaciones que involucran intercambio de calor, pues son función de la temperatura y no se mantienen constantes durante el calentamiento o enfriamiento de los alimentos.

En productos alimenticios que poseen alto contenido de agua, se pueden conocer la mayoría de sus propiedades en función de este componente. Sin embargo, es recomendable el uso de modelos de predicción que consideren todos sus nutrientes, debido a que afectan directamente el valor de las propiedades y el desempeño de la matriz en su conservación.

## AGRADECIMENTOS

A la Universidad Federal de Viçosa, Brasil, y a la Universidad de Caldas, Colombia, quienes apoyaron el presente trabajo de investigación.

## REFERENCIAS

- Oliveira PA, Da Silva IG, De Souza ML, Furtado C, Da Silva R. In natura açai beverage: quality, pasteurization and acidification. *Ciência e tecnologia de alimentos*. 2011; 31(2): 502-507.
- Menezes E, Torres A, Srur A. Valor nutricional da polpa de açai (*Euterpe oleracea*) liofilizada. *ACTA amazônica*. 2008; 38(2): 311-316.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Amazonia Oriental. Sistema de produção do açai - Sistemas de produção, No. 4. Belém, Brasil: EMBRAPA; 2006.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento do Brasil. Conjuntura mensal: açai (fruto). São Paulo, Brasil: CONAB; 2012.
- Bryan RB, Brian AF. Food thermophysical property models. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 1999; 26(5): 627-636.
- Orrego CE. Procesamiento de alimentos. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales; 2003. 321 p.
- Rogez H. Açai: Preparo, composição e melhoramento da conservação. Belém, Brasil: EDUFPA; 2000. 313 p.
- Instituto Adolfo Lutz de Brasil. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo, Brasil: Instituto Adolfo Lutz; 2008.
- Ministerio de Agricultura y Abastecimiento de Brasil. Instrução normativa numero 1 de 7 de Janeiro de 2000. Diário oficial da união. Rio de Janeiro, Brasil; 2000.
- Araújo J, Queiroz AJ, Figueirêdo RM. Massa específica da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum schum*) sob diferentes temperaturas. *Revista Brasileira de produtos agroindustriais*. 2002; 4(2): 127-134.
- Pereira EA, Queiroz AJ, Figueirêdo RM. Massa específica da polpa de açai em função do teor de sólidos totais e da temperatura. *Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental*. 2002; 6(3): 526-530.
- Singh RP, Heldman DR. Introduction to food engineering. California, EE.UU: Academic press; 2009. 864 p.
- Okos MR. Physical and chemical properties of foods. New York, EE.UU: ASAE - American Society of Agricultural Engineers; 1986. 407 p.
- Siebel E. Specific heats of various products. *Ice and refrigeration*. 1982; 2(1). 256 p.
- Barreiro JA, Sandoval AJ. Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas. Caracas, Venezuela: Equinoccio; 2006. 365 p.
- Riedel L. Measurement of thermal diffusivity of foodstuffs rich in water. *Kaltetechnik - Klimatisierung*. 1969; 21(11): 315-316.
- Muniz M, Queiroz AJ, Figueirêdo RM, Duarte ME. Caracterização termofísica de polpas de Bacuri. *Ciência e tecnologia de alimentos*. 2006; 26(2): 360-368.
- Moura SC, França V, Leal AM. Propriedades termofísicas de soluções modelos similares a sucos - Parte II. *Ciência e tecnologia de alimentos*. 2005; 25(3): 454-459.

# DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE PROPIEDADES TÉRMICAS Y FÍSICAS PARA JUGO DE CAÑA, MIEL Y PANELA

## EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THERMAL AND PHYSICAL PROPERTIES FOR CANE JUICE, CANE SYRUP AND PANELA

Sebastián ARIAS-GIRALDO, IA.<sup>1\*</sup>; Adela M. CEBALLOS-PENALOZA, MSc.<sup>2</sup>; Luis F. GUTIÉRREZ-MOSQUERA, PhD.<sup>3</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes:** Colombia ostenta el mayor consumo per cápita de panela en el mundo, y exhibe una alta participación de la actividad cañera sobre el PIB agrícola. Los procesos de agregación de valor de esta agroindustria, y la elaboración y comercialización de jugo o guarapo, miel y panela, requieren del conocimiento de las propiedades físicas de estos alimentos. **Objetivos:** Evaluar a nivel de laboratorio las propiedades termo-físicas y reológicas de jugo de caña, miel y panela. **Métodos:** Se valoraron cinco lotes de cada producto, para la determinación de sus siguientes atributos: actividad de agua, concentración de sólidos solubles, densidad, conductividad térmica, calor específico, difusividad térmica y viscosidad. Los resultados se organizaron en un diseño experimental completamente aleatorio, considerando como único factor cada lote. Las pruebas se interpretaron mediante ANOVA y pruebas de comparación de medias con un nivel de significancia del 5%, usando el programa Statgraphics Centurion XVI. **Resultados:** Los resultados fueron similares a los reportados en otras investigaciones, y presentaron variación entre lotes, con un nivel de significancia del 5%. La propiedad que más desviación tuvo fue la viscosidad de la miel. Las características térmicas se mantuvieron más o menos estables. **Conclusiones:** Las técnicas artesanales de fabricación y el escaso nivel de estandarización de la actividad panelera afectaron directamente la humedad libre en las muestras, y con esto, sus demás propiedades térmicas y reológicas.

**Palabras clave:** Caña, miel de caña, panela, propiedades termo-físicas, viscosidad.

### ABSTRACT

**Background:** Colombia has the highest per capita consumption of panela in the world, and exhibits a high participation of sugarcane activity on the agricultural GDP. The process of adding value to this industry, including the processing and marketing of juice, syrup and panela, require knowledge of the physical properties of these foods. **Objective:** Evaluate the thermo-physical and rheological properties for cane juice, syrup and panela. **Methods:** Five batches of each product were evaluated to determine their following attributes: water activity, soluble solids, density, thermal conductivity, specific heat, thermal diffusivity and viscosity. The results were organized in a completely randomized experimental design, considering each batch as variability factor. The tests were performed using ANOVA and mean comparison tests with a significance level of 5%, using the program Statgraphics Centurion XVI. **Results:** The results were similar to those reported in other studies, and showed variation between batches, with a significance level of 5%. The property with most deviation was the viscosity of syrup. The thermal characteristics remained more or less stable. **Conclusions:** Artisanal manufacturing techniques and the low level of standardization of *panela* activity directly affected the moisture in the samples, and with this, its other thermal and rheological properties.

**Keywords:** Cane syrup, *panela*, sugarcane, thermo-physical properties, viscosity.

### INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña (*Saccharum officinarum*) es una actividad de gran importancia socioeconómi-

<sup>1</sup> Ingeniero de Alimentos. Investigador. Grupo de investigación Alimentos y Agroindustria. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

<sup>2</sup> Ingeniera Química. Investigadora. Grupo de investigación Alimentos y Agroindustria. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

<sup>3</sup> Ingeniero Químico. Profesor asistente, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingeniería. Grupo de investigación Alimentos y Agroindustria. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

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

ca en Colombia, pues ocupa el cuarto puesto en participación sobre el PIB agrícola (1, 2). A partir de esta materia prima se pueden fabricar diversos alimentos, como jugo fresco o guarapo, miel, panela (en bloque o pulverizada) y productos de dulcería.

El guarapo se obtiene por medio de la compresión de cañas maduras en molinos, resultando en un líquido de color oscuro con contenido de sólidos solubles entre 17 - 20 °Brix. Por su parte, la miel proviene del calentamiento y evaporación de los jugos de caña, hasta alcanzar los 70 °Brix y temperaturas entre 97 - 98 °C (3). La panela se elabora en establecimientos artesanales denominados trapiches, concentrando las mieles a 120 - 125 °C y 90 - 92 °Brix, finalizando con un batido exhaustivo y posterior moldeo (1, 4).

Colombia ostenta el mayor consumo per cápita de panela en el mundo y es el segundo productor después de la India, con 1.276.000 Ton/año y una captación del 12% del mercado global (5, 6). Actualmente, la panela es apreciada por su aporte energético, su valor nutricional y su contribución a la seguridad y soberanía alimentaria; contiene cinco veces más minerales que el azúcar moreno y 50 veces más que el azúcar blanco (7, 8).

La creciente demanda de alimentos nutritivos y orgánicos en el mundo trae como consecuencia una mayor exigencia de modernización y calidad a lo largo de su producción. La agro cadena de caña panelera no es ajena a esta tendencia, lo que le demanda un aumento en el estudio y conocimiento de las propiedades físicas de sus productos derivados (7, 9). Se destacan la conductividad y la difusividad térmica, el calor específico, la densidad y la viscosidad, fundamentales para el diseño de equipos y procesos, y la valoración de operaciones de conservación que involucran transferencia de momento y calor (10).

Este trabajo tuvo como objetivo determinar y evaluar las propiedades termo-físicas y reológicas de jugo de caña, miel y panela; de manera que puedan ser utilizadas a futuro en el análisis de los procesos de transformación y conservación de la agro cadena panelera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar de experimentación

Los ensayos de propiedades termo-físicas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Control de Calidad de Alimentos - LABCCA - de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. La determinación de viscosidad se efectuó en la Planta de Bioprocesos de la Universidad de Caldas, ubicada en Manizales, Colombia.

## Materia prima

Las muestras de jugo de caña, miel y panela se obtuvieron de cinco producciones independientes, realizadas en un trapiche artesanal del municipio de Supía, Caldas, Colombia. El guarapo se almacenó congelado a -20 °C, y se descongeló en refrigeración hasta el momento de los análisis. Por su parte, las mieles y la panela en bloque se mantuvieron a temperatura ambiente durante toda la investigación.

## Determinación de propiedades termo-físicas y reológicas

La actividad de agua se determinó en un equipo de medición AQUA LAB, mientras que el contenido de sólidos solubles se cuantificó según NTC 440 (11), empleando un refractómetro digital (marca HANNA, modelo HI96801). La densidad ( $\rho$ ) se estimó con un picnómetro calibrado, como se indica en la NTC 587 (12).

Para la determinación de conductividad térmica ( $k$ ), calor específico ( $C_p$ ) y difusividad térmica ( $\alpha$ ), se usó un analizador de propiedades térmicas (marca DECAGON DEVICES, modelo KD2 PRO). La viscosidad ( $\mu$ ), tanto para el jugo de caña como para la miel, se evaluó en un viscosímetro rotacional FUNGILAB.

## Diseño experimental

La investigación se organizó en un diseño experimental completamente aleatorio, con cinco lotes para cada producto. Los ensayos se efectuaron por triplicado para cada lote.

Los resultados se interpretaron a través de ANOVA y prueba de Tukey con significancia de 5%, en todos los casos; a excepción de las mediciones de sólidos solubles y densidad para guarapo y panela. En este sentido, se utilizó KRUSKALL-WALLIS y test de Duncan. Los análisis estadísticos se completaron usando Statgraphics Centurion XVI.

## RESULTADOS

Los resultados de las propiedades térmicas, físicas y reológicas, determinadas para jugo de caña, miel y panela, se presentan en las Tablas 1, 2 y 3 respectivamente. Se puede observar que existió diferencia estadística significativa entre lotes para algunas propiedades, respondiendo a la escasez de estandarización de los procesos de fabricación tradicional de panela y sus derivados (13).

**Tabla 1.** Propiedades termo-físicas y reológicas para jugo de caña crudo

Propiedad	Lote 01		Lote 02		Lote 03		Lote 04		Lote 05	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Actividad de agua*	0,982 <b>b</b>	0,001	0,983 <b>b</b>	0,001	0,979 <b>b</b>	0,003	0,957 <b>a</b>	0,002	0,966 <b>a</b>	0,006
Sólidos* (°Brix)	18,367 <b>b</b>	0,115	17,600 <b>a</b>	0,529	17,933 <b>ab</b>	0,115	18,067 <b>ab</b>	0,115	17,867 <b>ab</b>	0,115
$\rho^*$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,072 <b>a</b>	5,7 E <sup>-5</sup>	1,081 <b>c</b>	0,001	1,087 <b>d</b>	3,5E <sup>-4</sup>	1,086 <b>d</b>	5,8E <sup>-5</sup>	1,073 <b>b</b>	2,6E <sup>-4</sup>
$k^*$ (W/m.K)	0,586 <b>a</b>	0,005	0,581 <b>a</b>	0,004	0,582 <b>a</b>	0,003	0,581 <b>a</b>	0,002	0,585 <b>a</b>	0,003
$C_p^*$ (MJ/m <sup>3</sup> .K)	4,228 <b>a</b>	0,022	4,194 <b>a</b>	0,029	4,234 <b>a</b>	0,051	4,154 <b>a</b>	0,038	4,242 <b>a</b>	0,036
$a^*$ (mm <sup>2</sup> /s)	0,139 <b>a</b>	0,001	0,138 <b>a</b>	0,001	0,138 <b>a</b>	0,002	0,140 <b>a</b>	0,001	0,137 <b>a</b>	0,001
$\mu^*$ (cp)	2,253 <b>a</b>	0,006	2,277 <b>b</b>	0,006	2,273 <b>ab</b>	0,012	2,270 <b>ab</b>	0,010	2,277 <b>b</b>	0,006

donde  $\rho$  es la densidad, la conductividad térmica, el calor específico, la difusividad térmica, y la viscosidad dinámica.

\* Promedios con desviación estándar DE. Significancia  $\alpha=0,05$ . Medias seguidas de una misma letra en cada fila, y para cada propiedad térmica, física o reológica, no difieren entre sí por el test de Tukey o Duncan.

**Tabla 2.** Propiedades termo-físicas y reológicas para miel de caña

Propiedad	Lote 01		Lote 02		Lote 03		Lote 04		Lote 05	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Actividad de agua*	0,774 <b>c</b>	0,001	0,766 <b>a</b>	0,001	0,770 <b>b</b>	0,001	0,774 <b>c</b>	0,001	0,781 <b>d</b>	0,001
Sólidos* (°Brix)	72,833 <b>b</b>	0,289	74,667 <b>c</b>	0,289	73,500 <b>b</b>	0	73,167 <b>b</b>	0,289	71,833 <b>a</b>	0,289
$\rho^*$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,382 <b>b</b>	0,002	1,392 <b>c</b>	0,001	1,382 <b>b</b>	5,8E <sup>-5</sup>	1,381 <b>b</b>	3,8E <sup>-4</sup>	1,375 <b>a</b>	0,003
$k^*$ (W/m.K)	0,425 <b>a</b>	0,012	0,417 <b>a</b>	0,001	0,419 <b>a</b>	0,001	0,412 <b>a</b>	0,005	0,412 <b>a</b>	0,003
$C_p^*$ (MJ/m <sup>3</sup> .K)	4,938 <b>a</b>	0,124	5,220 <b>b</b>	0,028	4,975 <b>b</b>	0,099	5,112 <b>ab</b>	0,054	5,074 <b>ab</b>	0,050
$a^*$ (mm <sup>2</sup> /s)	0,086 <b>b</b>	0,001	0,080 <b>a</b>	0	0,086 <b>b</b>	0,001	0,081 <b>a</b>	0	0,081 <b>a</b>	0,001
$\mu^*$ (cp)	1424,167 <b>b</b>	1,629	3466,400 <b>e</b>	2,848	2153,367 <b>c</b>	16,793	2305,867 <b>d</b>	7,778	1294,800 <b>a</b>	3,635

donde  $\rho$  es la densidad, la conductividad térmica, el calor específico, la difusividad térmica, y la viscosidad dinámica.

\* Promedios con desviación estándar DE. Significancia  $\alpha=0,05$ . Medias seguidas de una misma letra en cada fila, y para cada propiedad térmica, física o reológica, no difieren entre sí por el test de Tukey.

**Tabla 3.** Propiedades termo-físicas para panela en bloque

Propiedad	Lote 01		Lote 02		Lote 03		Lote 04		Lote 05	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Actividad de agua*	0,723 <b>c</b>	2,9E <sup>-4</sup>	0,722 <b>c</b>	0,001	0,722 <b>c</b>	0,002	0,694 <b>a</b>	0,001	0,718 <b>b</b>	0,001
Sólidos* (°Brix)	85,347 <b>a</b>	1,155	86,003 <b>a</b>	0	85,930 <b>a</b>	0	85,816 <b>a</b>	0	85,250 <b>a</b>	1,154
$\rho^*$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,164 <b>a</b>	0,021	1,147 <b>a</b>	0,040	1,176 <b>a</b>	0,045	1,112 <b>a</b>	0,008	1,138 <b>a</b>	0,044
$k^*$ (W/m.K)	0,343 <b>ab</b>	0,026	0,384 <b>b</b>	0,013	0,339 <b>ab</b>	0,027	0,338 <b>ab</b>	0,027	0,316 <b>a</b>	0,010
$C_p^*$ (MJ/m <sup>3</sup> .K)	3,009 <b>a</b>	0,100	3,216 <b>a</b>	0,209	2,875 <b>a</b>	0,236	2,968 <b>a</b>	0,214	2,700 <b>a</b>	0,245
$a^*$ (mm <sup>2</sup> /s)	0,117 <b>a</b>	0,008	0,119 <b>a</b>	0,007	0,118 <b>a</b>	0,007	0,114 <b>a</b>	0,006	0,125 <b>a</b>	0,001

donde  $\rho$  es la densidad, la conductividad térmica, el calor específico y la difusividad térmica.

\* Promedios con desviación estándar DE. Significancia  $\alpha=0,05$ . Medias seguidas de una misma letra en cada fila, y para cada propiedad térmica, física o reológica, no difieren entre sí por el test de Tukey o Duncan.

## DISCUSIÓN

Las variaciones entre lotes, respecto a actividad de agua y concentración de sólidos solubles, se pueden deber a la técnica artesanal con la cual el operario determinó el punto final de las mieles o

la panela (13). Cabe recordar que las propiedades de los alimentos son función de la composición, la humedad, la temperatura y la porosidad; por lo que cualquier diferencia en el contenido de agua de los productos afectará directamente el valor y la uniformidad de sus atributos físicos (10).

Las características térmicas ( $k$ ,  $C_p$  y  $\alpha$ ) fueron las que menos perturbación presentaron entre lotes. Relacionándoseles con procesos de intercambio de energía, en los cuáles todos los nutrientes del alimento (y no sólo la humedad) actúan como conductores o barreras de calor; estas propiedades no se ven afectadas considerablemente por diferencias de uno o dos grados en cuanto a actividad de agua (14). Caso contrario ocurrió con la viscosidad, un atributo que presentó grandes discrepancias entre los lotes evaluados.

La viscosidad es una propiedad de transporte definida como la resistencia interna de un fluido a fluir, por lo que se ve altamente influenciada por el contenido de agua libre (15). Se pudo notar una mayor diferencia en el caso de las mieles, donde un aumento de dos °Brix pudo más que duplicar la viscosidad del fluido. Al tenerse una etapa de evaporación la pérdida de agua es exhaustiva, y el efecto plastificante del líquido se ve reducido al acrecentar la concentración de solutos, elevándose de esta manera la viscosidad (14, 16).

Los valores de densidad, calor específico, conductividad térmica y viscosidad resultantes en este estudio, fueron similares a los reportados por otros autores, como Jagannadha Rao et al. (9) y Montoya y Giraldo (17).

## CONCLUSIONES

Las propiedades termo-físicas y reológicas de los alimentos se ven influenciadas por diversos factores intrínsecos y extrínsecos. Dentro de los primeros, se destacan la composición y el contenido de agua libre en la matriz, que afecta principalmente los atributos de flujo gracias al efecto plastificante que ejerce la humedad. Además, las prácticas de fabricación y el nivel de estandarización de los procesos influyen sobre la calidad y la uniformidad final de los productos.

A través de diferentes metodologías experimentales sencillas es posible estimar las propiedades físicas de los alimentos, arrojando resultados ajustados a la realidad; de tal manera que estas puedan aplicarse como insumo primordial en las etapas de diseño, evaluación y puesta en marcha de los procesos de transformación.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, por prestar sus instalaciones y su personal

para esta investigación. A la Universidad de Caldas, por su apoyo a través del proyecto “Implementación del Centro de Investigación, Innovación y Tecnología al sector panelero del Departamento de Caldas, Centro BEKDAU”.

## REFERENCIAS

- Osorio G. Manual: Buenas prácticas agrícolas -BPA- y Buenas prácticas de manufactura -BPM- en la producción de caña y panela. Medellín, Colombia; 2007. 200 p.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Sistema de estadísticas agropecuarias -SEA - Producción departamental y nacional por producto [internet]. Bogotá, Colombia. 2011. [citado en Octubre de 2014]. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Estad%C3%ADsticas.aspx>.
- Pérez A, Ablan E. Medición in situ de los valores de las principales variables asociadas al proceso de fabricación de miel y panela de caña de azúcar (*Saccharum spp. híbrido*). Revista de la Facultad de Farmacia y Bioanálisis, Departamento de Ciencia de Alimentos, Universidad de los Andes, Venezuela. 2009; 50(2): 2-8.
- Ministerio de la Protección Social. Resolución No. 779 de 2006. Bogotá, Colombia; 2006. 19 p.
- Solís JR, Pérez F, Orozco I, Flores JL, Ramírez E, Hernández A, Aguilar B. Descripción de un proceso tecnificado para la elaboración de piloncillo a partir de caña de azúcar. Revista digital, científica y tecnológica. 2006; 4(1): 1-8.
- García HR, Albarracín LC, Toscano A, Santana NJ, Insuasty O. Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de caña panelera. Bogotá, Colombia: CORPOICA; 2007. 154 p.
- Cabrera E, Gandón J, Díaz A. Propiedades termofísicas del guarapo deshidratado en polvo. Tecnología química. 2008; 28(3): 51-55.
- Guaman F, Guaman E, Villavicencio H. Diseño, simulación y emulación de una planta productora de panela. Guayaquil, Ecuador: Escuela Politécnica del Litoral; 2009. 5 p.
- Jagannadha Rao PVK, Das M, Sas SK. Changes in physical and thermo-physical properties of sugarcane, palmyra-palm and date-palm juices at different concentration of sugar. Journal of Food engineering. 2009; 90(1): 559-566.
- Orrego CE. Procesamiento de alimentos. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales; 2003. 321 p.
- ICONTEC. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Norma Técnica Colombiana -NTC 440-, Productos alimenticios: Métodos de ensayo. Bogotá, Colombia: ICONTEC; 2015. 38 p.
- ICONTEC. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Norma Técnica Colombiana -NTC 587-, Industrias alimentarias e industrias de bebidas: Melazas de caña. Bogotá, Colombia: ICONTEC; 1994. 8 p.
- Guerra MJ, Mujica MV. Physical and chemical properties of granulated cane sugar “panelas”. Ciencia e tecnología de alimentos. 2010; 30(1): 250 - 257.
- Rahman MS. Food Properties Handbook. Boca Ratón, EE.UU: CRC Press; 2009. 861 p.
- Fellows PJ. Tecnologia do processamento de alimentos: princípios y práctica. Porto Alegre, Brasil: Artmed; 2006. 602 p.
- Mechetti M, Gómez ADR, Balella A. Propiedades reológicas de melados de caña de azúcar. Investigación y desarrollo. 2011; 33(1): 1-8.
- Montoya CF, Giraldo PA. Propuesta de diseño de planta de procesamiento de caña para la elaboración de panela en Yolombo - Antioquia. [Trabajo de grado pregrado]. [Medellín, Colombia]: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín; 2009. 94 p.

# PELÍCULAS DE GELATINA REFORZADAS CON MICROPARTÍCULAS Y NANOPARTÍCULAS DE POLVO DE AJO

GELATIN FILMS REINFORCED WITH MICROPARTICLES AND NANOPARTICLES GARLIC POWDER.

K. J. FIGUEROA-LÓPEZ. Ing.<sup>1\*</sup>, H. ARIZA-CALDERÓN. Ph.D.<sup>1</sup>, O. L. TORRES VARGAS. Ph.D.<sup>2</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** Las películas poliméricas elaboradas a partir de materiales de fuentes renovables presentan propiedades mecánicas y de barrera inferior a los materiales petroquímicos, por lo que se han venido incluyendo refuerzos de diferentes fuentes naturales y con diferentes tamaños para mejorar dichas características y obtener películas capaces de proteger y mantener en condiciones óptimas los alimentos. **Objetivos:** Evaluar el efecto de nanopartículas y micropartículas de polvo de ajo en las propiedades mecánicas, de barrera y estructurales de películas de gelatina. **Métodos:** Se reforzaron películas de gelatina y sorbitol con nanopartículas (nPa) y micropartículas ( $\mu$ Pa) de polvo de ajo con tamaños de 20 y 50 nm respectivamente. Se evaluaron las propiedades mecánicas (esfuerzo de tensión y porcentaje de elongación), permeabilidad al vapor de agua (PVA) y propiedades estructurales. Las concentraciones de polvo de ajo fueron elegidas a partir de análisis citotóxicos previos; las pruebas mecánicas de las películas se realizaron en un texturómetro usando mordazas con una separación de 40 mm. Para la PVA se usaron celdas de permeabilidad y la microestructura se analizó por SEM. **Resultados:** La adición de polvo de ajo a la matriz polimérica mejoró las propiedades mecánicas, aumentando la elongación del material, debido a que la parte soluble del polvo de ajo rico en OH tiene gran afinidad con el plastificante. La PVA de las películas poliméricas con nPa de ajo fue menor respecto a la PVA de las películas con  $\mu$ Pa, debido a los tamaños nanométricos del polvo de ajo, los cuales ocuparon los espacios libres generados por el

sorbitol, disminuyendo así la adsorción y desorción de moléculas de agua. En la microestructura de las películas poliméricas se observó una matriz cohesiva y continua, evidenciando la asociación de los refuerzos de polvo de ajo con los demás materiales de la matriz. **Conclusiones:** Las propiedades mecánicas, de barrera y estructurales presentaron mejores resultados en las películas reforzadas con nPa de polvo de ajo en relación con las reforzadas con  $\mu$ Pa, demostrando la ventaja de usar nanopartículas en la elaboración de materiales nanoestructurados, debido a sus tamaños nanométricos que permiten una mejor organización de la estructura polimérica.

**Palabras clave:** Nanopartículas, micropartículas, ajo, gelatina.

## ABSTRACT

**Background:** Polymer films made from renewable materials have lower mechanical and barrier properties than petrochemical materials, therefore, reinforcements from different natural sources with different sizes are being included to improve these characteristics and obtain films capable of protect and preserve food in optimal conditions. **Objectives:** Evaluate the effect of garlic powder nanoparticles and microparticles in structural, mechanical and barrier properties of gelatin films. **Methods:** Gelatin and sorbitol films were reinforced with garlic powder nanoparticles (nPa) and microparticles (mPa) having sizes of 20 and 50 nm respectively. Mechanical properties (tensile strength and elongation percentage), water vapor permeability (WVP) and structural properties were evaluated. Garlic powder concentrations

<sup>1</sup> Grupo de Optoelectrónica. Instituto Interdisciplinario de las Ciencias. Facultad de Ciencias Básicas y Tecnologías. Universidad del Quindío. Carrera 15 Calle 12 Norte, Armenia, Colombia.

<sup>2</sup> Grupo de Ciencias Agroindustriales. Facultad de Ciencias Agroindustriales. Universidad del Quindío. Armenia, Colombia.

\* Autor de correspondencia: kfigueroal@uqvirtual.edu.co

were chosen from previous cytotoxic analysis. Mechanical tests of the films were performed on a texture analyzer with a clamp separation of 40 mm. Permeability cells were used for WVP and the microstructure was analyzed by SEM. **Results:** The addition of garlic powder into the polymer matrix improved its mechanical properties, increasing the elongation of the material because the garlic powder soluble part with abundant OH has great affinity with the plasticizer. WVP of polymer films reinforced with garlic nPa was lower compared to WVP of the films reinforced with mPa due to the nanometric size of garlic powder, which occupied the spaces generated by the sorbitol, decreasing the adsorption and desorption of water molecules. In the microstructure of the polymer films a cohesive and continuous matrix was observed, proving the association of garlic powder reinforcements with other matrix materials. **Conclusions:** Mechanical, barrier and structural properties had better results in polymer films reinforced with nPa compared to the ones with polymer films reinforced with mPa, demonstrating the advantage of using nanoparticles when making nanostructured materials due to their nanometer sizes, allowing a better organization of the polymer structure.

**Keywords:** Nanoparticles, microparticles, garlic, gelatin.

## INTRODUCCIÓN

Las películas poliméricas elaboradas a partir de materiales de fuentes renovables presentan propiedades mecánicas y de barrera inferior a las convencionales, por lo tanto, en los últimos años, para mejorar dichas características y encontrar el material de refuerzo que logre ocupar los espacios generados por el plastificante se ha venido empleando la inclusión de materiales con tamaños micrométricos y nanométricos obtenidos de arcilla, quitosano, almidón y fibras naturales, entre otras (1). Las nanopartículas y nanofibras disminuyen la sorción y desorción de oxígeno, vapor de agua y solutos, que son los causantes del debilitamiento de la película. La capacidad de manipular la materia a escala nanométrica permite conducir a un mejor entendimiento de la diversidad biológica, física y de procesos químicos que conllevan al aprovechamiento de materiales mejorados y estructuras novedosas. Estas aplicaciones en la industria alimentaria se han fortalecido por el desarrollo de envases, nuevos pro-

ductos, calidad, seguridad alimentaria y la mejora de los procesos de los alimentos (2). Los biopolímeros a pesar de ser biodegradables, presentan propiedades fisicoquímicas inferiores a los plásticos convencionales y las investigaciones se están enfocando al desarrollo de películas biobasadas que presenten propiedades mecánicas y de barrera similares a la de los termoplásticos comerciales (3). Es por esto que se están incluyendo refuerzos con nanofibras vegetales obtenidas de residuos agroindustriales (bagazo de caña, agave tequilano, fique, yute, entre otros) y nanopartículas obtenidas de diversas fuentes como quitosano, almidón, plata y carbón, entre otras, para el mejoramiento de las propiedades mecánicas y de barrera de dichos materiales (4). Las películas poliméricas y recubrimientos se han utilizado para mejorar la barrera contra la humedad, las propiedades mecánicas, sensoriales, la protección microbiana, la migración de aceite y grasa, el transporte de solutos y retardar el transporte de gases (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) y para lograr mantener el sabor de los alimentos. Otras aplicaciones están relacionadas con los beneficios para la salud mediante la incorporación de nutrientes tales como vitaminas, minerales y aditivos naturales dentro de la matriz polimérica que son de gran interés por su potencial para incrementar la vida útil de muchos alimentos (5). A las películas se les puede incorporar sustancias activas, lo que las convierte en envases activos para alimentos, como es el caso del uso de antimicrobianos incorporados en las películas comestibles para extender la vida útil de los alimentos, retardando el crecimiento de hongos, levaduras y bacterias durante el almacenamiento y distribución de estos (6). Se tiene que dentro de los aditivos naturales que se han venido utilizando recientemente para conformar matrices poliméricas se encuentra el ajo (*Allium sativum* L.) que pertenece a la familia de las liliáceas, con una amplia variedad morfológica y fisiológica y se caracteriza por tener interesantes propiedades saborizantes, aromatizantes, actividad antimicrobiana y beneficios al organismo, debido a sus principios activos. Se le han atribuido efectos saludables en hipocolesterolemia, problemas cardiovasculares, presión arterial, efectos antiinflamatorios (7) y posibles mecanismos de acción en el cáncer como inhibición de mutagénesis (8). En la literatura especializada se reporta la elaboración de nanocompuestos biodegradables y comestibles con almidón y polvo de ajo, donde obtuvieron una matriz polimérica enriquecida en cuanto a su sabor y

aroma, conservando las propiedades fundamentales de los materiales aplicables a la industria de envases como la permeabilidad al vapor de agua y altas deformaciones a rotura (9); matrices poliméricas (quitosano-quínoa) reforzadas con nanopartículas de arcilla y activas con aceites esenciales, donde las nanopartículas y los aceites esenciales ayudaron a disminuir la permeabilidad al vapor de agua y mejoraron notablemente las propiedades antimicrobianas (3). En este sentido, el objetivo fue realizar una investigación para evaluar el efecto de refuerzos de nanopartículas y micropartículas de polvo de ajo en una matriz de gelatina en sus propiedades estructurales, mecánicas y de barrera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Elaboración películas poliméricas

Las películas poliméricas se elaboraron por el método "casting". Se homogenizó una suspensión acuosa %p/p de gelatina (5%), sorbitol (0, 1, 2 y 3%), nanopartículas (20-50 nm) y micropartículas (400-500 nm) de polvo de ajo (0.16, 0.312, 0.625, 1.25 hasta 2.5%) (10) (11). La mezcla se llevo a 70°C con agitación constante por 45 minutos, se distribuyeron en cajas de petri y se secaron en una estufa con circulación de aire a 52°C durante dos horas.

#### Caracterización de las películas poliméricas

Para la caracterización de las películas se midió el espesor en cinco puntos de las películas con un micrómetro digital (Mitutoyo) y se utilizó el valor medio para los cálculos de permeabilidad al vapor de agua y propiedades mecánicas.

### Propiedades mecánicas

El esfuerzo de tensión (ET) y el porcentaje de elongación (% E) de las películas fueron medidos siguiendo la norma ASTM D882-09 (12) en un texturómetro TA.XT plus. Las películas (previamente acondicionadas a  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $50 \pm 5\%$  HR por 48 h), cortadas en tiras de  $2 \times 6$  cm fueron sometidas a tensión con separación de 40 mm entre las mordazas.

### Permeabilidad al vapor de agua

La Permeabilidad al Vapor de Agua (PVA) fue determinada siguiendo la norma ASTM E96-95 (13) (5). Las películas se acondicionaron previamente a ( $50 \pm 5\%$  HR durante 48 h) se colocaron en celdas de permeabilidad conteniendo agua destilada

y fueron llevadas a una cabina desecadora provista de una solución de NaCl que provee 75% HR. Se registró el peso de las celdas cada hora por nueve horas.

### Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

La microestructura de las películas poliméricas se realizó empleando Microscopía Electrónica de Barrido-MEB (FEI QUANTA 250, USA), se obtuvieron imágenes transversales y superficiales. de muestras en fragmentos de  $4 \times 4$  mm (14).

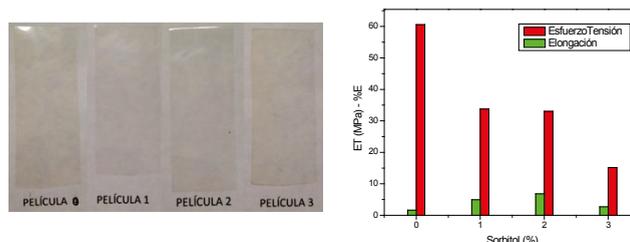
### Diseño experimental

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor con 3 réplicas con un nivel de significancia del 95% ( $p \leq 0,05$ ) a las películas reforzadas con los polvos de ajo, donde el factor de entrada fueron las concentraciones (0.16, 0.312, 0.625, 1.25, 2.5%) y las variables de respuesta fueron esfuerzo de tensión, elongación y permeabilidad al vapor de agua. Los datos fueron analizados con el paquete estadístico Statgraphics Centurion XV.

## RESULTADOS

### Propiedades mecánicas películas poliméricas con plastificante

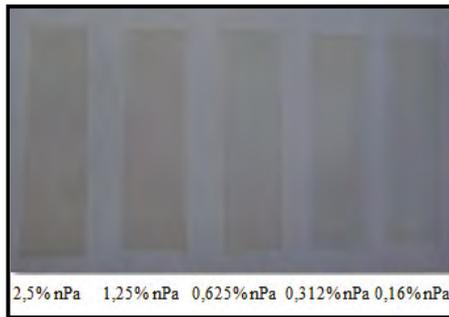
En la Figura 1 se presentan las películas con concentraciones de 0, 1, 2 y 3% sorbitol y sus valores de esfuerzo de tensión (ET) y porcentaje de elongación (%E); la película cero contenía gelatina 5% y 0% sorbitol, la cual presentó resultados de ET muy altos y %E bajo. La adición de plastificante (1, 2 y 3%) a la matriz polimérica mejoró notablemente el esfuerzo de tensión y la elongación de las películas mostrando diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). La concentración de plastificante con mejores resultados de ET y %E fue la película con 2% de sorbitol la cual presentó una mejor relación entre el esfuerzo a su ruptura y la capacidad de elongación.



**Figura 1.** Películas poliméricas variando concentración de sorbitol.

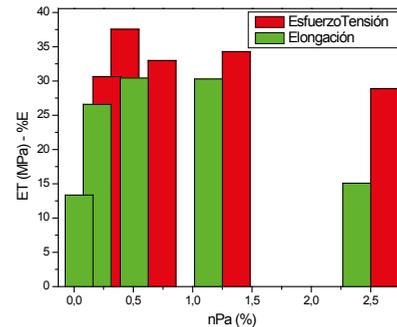
### Propiedades mecánicas películas poliméricas reforzadas con nanopartículas de polvo de ajo

Las películas poliméricas reforzadas con nanopartículas de polvo de ajo se observan en la Figura 2. Las películas reforzadas con las diferentes concentraciones de nanopartículas presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). La concentración que presentó mejores resultados fue la reforzada con 1.25% de nanopartículas de polvo de ajo, esta concentración presenta un alto esfuerzo de tensión y una deformación mayor comparada con las demás concentraciones. A una concentración de 2.5% la matriz polimérica es saturada por las nanopartículas, las cuales agrietan la película propiciado un ET menor y por consiguiente un menor %E.

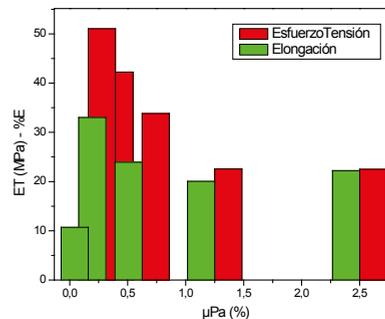
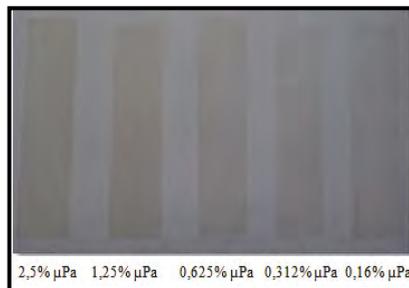


### Propiedades mecánicas películas poliméricas reforzadas con micropartículas de polvo de ajo

En la Figura 3 se muestran las películas poliméricas reforzadas con micropartículas de polvo de ajo. La elongación y esfuerzo de tensión presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las concentraciones usadas. Por lo tanto, La concentración de micropartículas que presentó mejores propiedades de esfuerzo de tensión y elongación fue 0.312% logrando una asociación de todos los componentes de la película polimérica con el polvo de ajo. Las concentraciones de 0.625 a 2.5% de micropartículas de polvo de ajo al ser de mayor tamaño respecto a las nanopartículas, saturaron la matriz polimérica.



**Figura 2.** Películas poliméricas variando concentraciones de nPa.

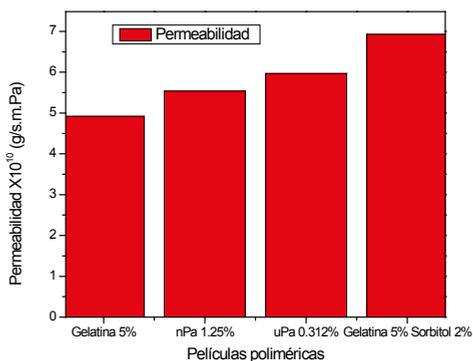


**Figura 3.** Películas poliméricas variando concentraciones de μPa.

### Permeabilidad al vapor de agua de las películas poliméricas

En la Figura 4 se observan los valores de permeabilidad al vapor de agua de cada una de las películas, presentado diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). La película con el plastificante (sorbitol 2%) presentó mayor permeabilidad respecto a la película sin adición de plastificante. Las nanopartículas de

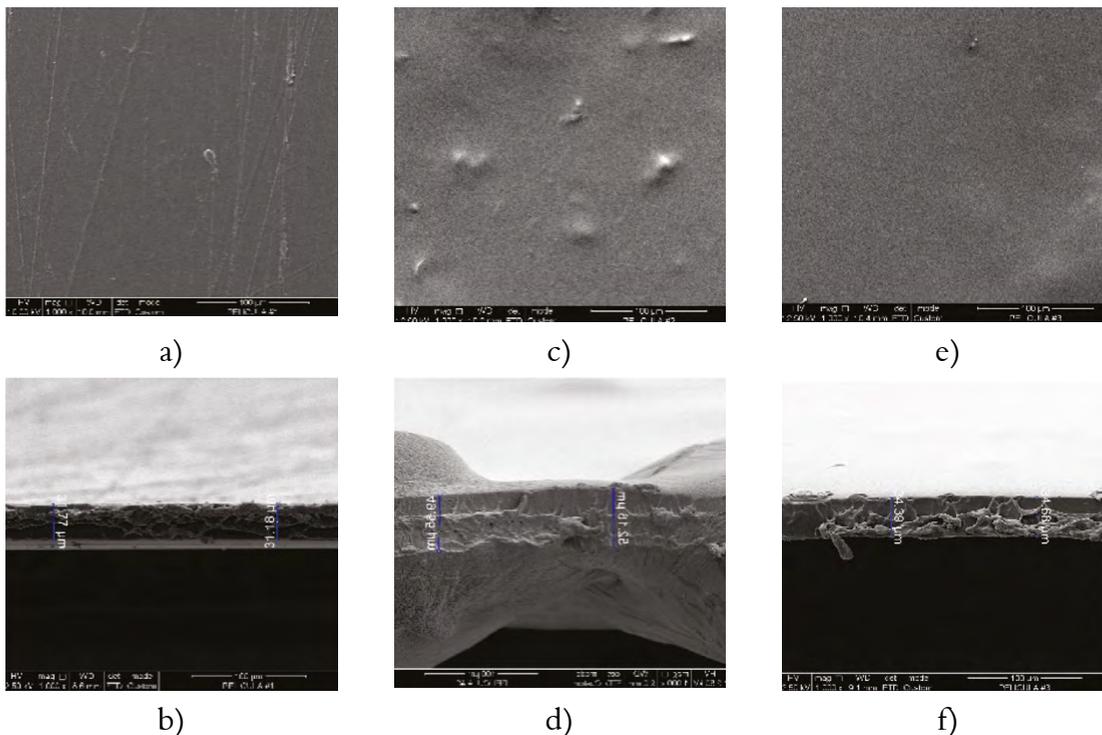
polvo de ajo disminuyeron la PVA de la película, ya que éstas estarían ocupando los espacios libres y por consiguiente disminuyendo la pérdida de moléculas de agua. La película con micropartículas de polvo de ajo presentó mayor permeabilidad que la película con nanopartículas, debido a que tiene menor cantidad de micropartículas de polvo de ajo y una menor área superficial.



**Figura 4.** Permeabilidad al vapor de agua vs películas poliméricas.

### Microestructura de las películas poliméricas

En la Figura 5 se presentan las micrografías superficiales y transversales, donde a) y b) corresponden a las películas sin adición de polvo de ajo (gelatina 5% y sorbitol 2%) y se evidencia una matriz cohesiva y continua, con espesor promedio de 31.5  $\mu\text{m}$ . En c) y d) se presentan las películas reforzadas con  $\mu\text{Pa}$  y se observa la matriz con algunas protuberancias con un espesor promedio de 50.9  $\mu\text{m}$  debido a los tamaños de las  $\mu\text{Pa}$ . Las micrografías e) y f) corresponden a las películas reforzadas con nPa las cuales presentan una matriz cohesiva y continua, con un espesor promedio de 34.5  $\mu\text{m}$ , evidenciando la inclusión de las nPa con los demás componentes (gelatina y sorbitol) con un pequeño aumento en el espesor comparado con el de las películas sin adición de polvo de ajo.



**Figura 5.** Microestructura películas poliméricas a) superficie y b) sección transversal películas sin adición de polvo de ajo. c) superficie y d) sección transversal películas reforzadas con  $\mu\text{Pa}$ . e) superficie y f) sección transversal películas reforzadas con nPa.

### DISCUSIÓN

La adición de polvo de ajo a la matriz polimérica mejoró notablemente las propiedades mecánicas y de barrera. En cuanto al uso de nanopartículas de polvo de ajo como refuerzo frente al uso de micropartículas, se tiene que las partículas con tamaños

nanométricos disminuyen la permeabilidad al vapor de agua (PVA) evitando la adsorción y desorción de moléculas de agua, ya que las nanopartículas se depositan en los espacios generados por el plastificante en la estructura polimérica. Las propiedades mecánicas (elongación y esfuerzo de tensión) se ven afectadas por el polvo de ajo, aumentando la

elasticidad del material debido a que la parte soluble de éste se mezcla con el plastificante y aumenta la fricción entre los enlaces del polímero (gelatina). La microestructura de las películas reforzadas con micropartículas de polvo de ajo muestra que el espesor aumenta alrededor de 20  $\mu\text{m}$  con respecto a la película sin carga de polvo de ajo y se observa una superficie más rugosa, mientras que las películas reforzadas con nanopartículas de polvo de ajo no aumentan significativamente el espesor comparado con la película sin adición de polvo de ajo y mantienen la matriz cohesiva y continua, demostrando la ventaja de llevar a escala nanométrica al polvo de ajo, debido al área específica, mejorando la disociación entre los componentes de la matriz polimérica.

## CONCLUSIONES

El uso de nanopartículas de polvo de ajo como refuerzo en una matriz polimérica de gelatina, mejora sustancialmente las propiedades mecánicas y de barrera, sin verse afectada la microestructura de la película, lo que la convierte en un material versátil para la protección de alimentos debido a las propiedades activas del polvo de ajo. Con esta investigación se logró obtener una película polimérica (5% gelatina, 2% sorbitol, 1,25% nPa) con propiedades mecánicas, de barrera y estructurales mejoradas.

## REFERENCIAS

- López O V. Desarrollo. Caracterización y Aplicación de Envases Biodegradables A partir de Almidón. [PDF]. [Tesis de doctorado no publicada]: Universidad Nacional de La Plata. 2011.
- Elika. La Nanotecnología en la Industria Alimentaria. [Internet]. Álava, España: Elika. 2012 [citado 13 de Diciembre de 2013]. Disponible en: [http://www.elika.net/datos/articulos/Archivo993/Art%C3%ADculo\\_nanotecnolog%C3%ADa%20alimentaria.pdf](http://www.elika.net/datos/articulos/Archivo993/Art%C3%ADculo_nanotecnolog%C3%ADa%20alimentaria.pdf).
- Deng Q, Li J, Yang J, Li D. Optical and flexible  $\alpha$ -chitin nanofibers reinforced polyvinyl alcohol (PVA) composite film: Fabrication and property. *Composites: Part A*. 2014; 67(1): 55-60.
- Salgado Delgado R, Coria Cortés L, García Hernández E, Vargas Galarza Z, Rubio Rosas E, Crispín Espino I. Elaboración de Materiales Reforzados con Carácter Biodegradable a Partir de Polietileno de Baja Densidad y Bagazo de Caña Modificado. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 2010; 11(7): 520-531.
- Gennadios A, Weller C, Gooding C. Measurement errors in water vapor permeability of highly permeable, hydrophilic edible films. *J Food Eng*. 1994; 21(4): 395-409.
- Escobar, D., Sala, A., Silvera, C., Harispe, R. & Márquez, R. Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo: estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador. *Revista del Laboratorio tecnológico del Uruguay*. 2009; 4 (1): 33-36.
- Dkhil M, Abdel-Baki A. Wunderlich, F., Sies, H. & Al-Quraishy, S. Anticoccidial and antiinflammatory activity of garlic in murine *Eimeria*. *Veterinary Parasitology*. 2011; 175(1-2): 66-72.
- Chia-Wen T, Haw-Wen C, Le-Yen S, Chong-Kuei L. Garlic: Health benefits and actions. *BioMedicine*. 2012; 2(1): 17-29.
- Famá L, Gerschenson L, Goyanes S. Nanocompuestos biodegradables y comestibles: Almidón-Polvo de ajo. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*. 2009;3(1):1235-1240.
- Kelly Johana Figueroa-López, Olga Lucía Torres Vargas, John Jairo Prías-Barragán, Hernando Ariza-Calderón. Caracterización óptica y estructural de nanopartículas de *Allium sativum L.* impregnadas en lomo de bovino. *Revista Acta Agronómica*. 2015; 64(1):54-60.
- K J Figueroa-López, O L Torres Vargas, J J Prías-Barragán, H Ariza Calderón. Películas Poliméricas Reforzadas con Nanopartículas de Polvo de Ajo. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía*. 2014; 67(2): 1032-1034.
- Norma ASTM D 882-09, Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. Philadelphia (EE.UU.): American Society for Testing and Materials, 2009.
- Norma ASTM E 96-95, Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. Philadelphia (EE.UU.): American Society for Testing and Materials. 2009.
- Andrade-Mahecha M M, Tapia-Blácido D R, Menegalli F C. Development and optimization of biodegradable film based on achira flour. *Carbohydrate Polymers*. 2012;88(2):449-458.

# EVALUACION FISICOQUIMICA DE PULPA DE GUANABANA (*Annona muricata L.*) TRATADA ENZIMATICAMENTE

## PHYSICOCHEMICAL EVALUATION OF SOURSOP PULP (*Annona muricata L.*) ENZYMATICALLY TREATED

Juan Carlos LUCAS AGUIRRE, M.Sc<sup>1</sup>., Alexandra HOYOS<sup>1</sup>,  
Ing, Victor Dumar QUINTERO CASTAÑO M.Sc<sup>1\*</sup>

### RESUMEN

**Antecedentes:** La guanábana, como es conocida en Colombia, es un fruto muy apetecido comercialmente debido a su agradable y distintivo sabor, a su tenue acidez, a sus aromas característicos y su carnosidad y jugosidad. Los bajo niveles de tecnificación del proceso de transformación de la guanábana se deben principalmente a la alta concentración de fibras y pectinas que tiene la pulpa, lo que provoca la formación de coloides demasiado estables que inducen el aumento de la complejidad de la matriz del alimento. Existe en la actualidad un gran número de publicaciones alrededor de la transformación de la guanábana, pero de la mayoría de una forma muy dispersa y ambigua. **Objetivos:** Evaluar el comportamiento de la pulpa de guanábana tratada enzimáticamente para lo cual se realizó un análisis fisicoquímico y químico. **Métodos:** Se realizó una caracterización fisicoquímica de la pulpa, posteriormente se realizó un diseño central compuesto con 3 variables de proceso (Tiempo, temperatura y concentración de enzima) y como variable de respuesta se tomó la viscosidad. La metodología de superficie de respuesta se utilizó para el análisis de los datos. **Resultados:** En la caracterización fisicoquímica se obtuvo que el pH alcanzo un valor de 4.02, el porcentaje de acidez de 0.85 expresado en % de ácido málico, el porcentaje de sólidos solubles de 12.53% y la viscosidad fue de 3456.2 cp. Después del tratamiento enzimático y con la optimización realizada se determinó que para alcanzar una viscosidad mínima de 454,2 cp es necesario realizar un tratamiento enzimático a 40 °C, con 56.8 minutos de tratamiento y con un

0,082% de enzima. **Conclusiones:** Con la implementación de esta pulpa tratada enzimáticamente con poligalacturonasa se podrá ayudar a mitigar en gran parte el problema de inseguridad alimentaria y/o deficiencia generada por las necesidades hídricas del organismo. Para ello la ciencia y tecnología de alimentos ha volcado sus esfuerzos desde hace décadas en darle valor agregado a estas materias primas, transformándolas en productos procesados con mejores características sensoriales y nutricionales.

**Palabras clave:** fruta, Viscosidad, Poligalacturonasa

### ABSTRACT

**Background:** Soursop, as it is known in Colombia, is a much appreciated fruit commercially because of its pleasant and distinctive taste, its soft acidity, its aromas and meaty and juicy. The low levels of technology of the transformation process of the soursop are mainly due to the high concentration of fibers and pectins having pulp, causing the formation of colloids too stable inducing increased complexity of the food matrix. There is now a large number of publications about the transformation of the soursop, but most widely dispersed and ambiguous. **Objective:** To evaluate the behavior of sorsop pulp enzymatically treated for which a physico-chemical and chemical analysis. **Methods:** A physicochemical characterization of the pulp was performed, then a central composite design with three process variables (time, temperature and enzyme concentration) and as a response variable viscosity took performed. The response

<sup>1</sup> Programa de ingeniería de alimentos, facultad de ciencias agroindustriales, Universidad del Quindío.

\* xxvictordumar@uniquindio.edu.co

surface methodology was used to analyze the data. **Results:** The physicochemical characterization was obtained that the pH reached a value of 4.02, the percentage of acidity of 0.85% expressed as malic acid, soluble solids percentage of 12.53% and the viscosity was 3456.2 cp. After the enzyme and the optimization performed treatment it was determined that to achieve a minimum viscosity of 454.2 cp are necessary enzymatic treatment at 40 ° C, with 56.8 minutes of treatment with a 0.082% enzyme. **Conclusions:** With the implementation of this enzyme-treated pulp with pectinase may help alleviate much of the problem of food insecurity and / or deficiency generated by the water needs of the body. To do science and food technology has turned its efforts for decades to give added value to these raw materials, transforming them into processed with better sensory and nutritional characteristics products.

**Keywords:** Fruit, Viscosity, polyglacturonase.

## INTRODUCCIÓN

La *Annona muricata* L; conocida como guanábana, guanábano, huanababano; huanabana, Anona de puntitas, Catuche; catucho; cabeza de negro, entre otras; llegó a las Américas gracias a los españoles, los cuales la distribuyeron por todo el trópico. (1) La pulpa de guanábana, la cascara y sus semillas se consideran subutilizadas debido a la poca y dispersa información que se tiene referente a su composición química y a su comportamiento fisicoquímico durante su procesamiento y transformación (1-2). La guanábana, como es conocida en Colombia, es un fruto muy apetecido en el mercado debido a su agradable y distintivo sabor, a su tenue acidez, a su flavor característico y su carnosidad y jugosidad. (3) Este fruto es muy utilizado en la industria de alimentos para la elaboración de pulpas, jugos, refrescos, batidos, mermeladas, jaleas, conservas y helados (1-4). En Colombia este fruto se suele comercializar y exportar en un gran porcentaje en forma de pulpa congelada, la cual no tiene un proceso de transformación avanzado que permita conservar o potencializar los beneficios organolépticos y nutricionales que la fruta posee (4). Los bajos niveles de tecnificación del proceso de transformación de la guanábana se debe principalmente a la alta concentración de fibras y pectinas que tiene la pulpa, lo que induce la formación de coloides demasiado estables que provocan el aumento de la compactitud de la matriz del alimento. (4, 5, 6). La

despectización ha sido un método evaluado para la disminución de la viscosidad en pulpas de muchas frutas como es el caso de la manzana, pera, piña, papaya, arándanos, fresas, moras, entre otras. (6, 7, 8). Este proceso además de ayudar a la disminución de la viscosidad, permite la retención de aromas y sabores, además de la conservación del color de la pulpa. (5,6). El objetivo principal de este trabajo fue el de evaluar las mejores condiciones de tratamiento de la pulpa de guanábana con un preparado enzimático comercial, con el fin de acondicionar la pulpa para un posterior proceso de transformación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia Prima

La guanábana se obtuvo en la central mayorista de acopio de alimentos en la ciudad de Armenia. Tres lotes de fruta se adecuaron en el laboratorio de diseño de nuevos productos de la Universidad del Quindío, donde se lavaron, desinfectaron, despulparon, escaldaron a 80°C por 15 segundos y se refrigeraron a 10 ° C para su posterior uso.

### Medición de la actividad de la enzima

Se utilizó un preparado comercial de enzima poligalacturonasa de marca Naturalzyme® 100 XL. La actividad poligalacturonasa total de la enzima se determinó mediante la medición de la viscosidad con un viscosímetro Rotacional de marca P-Selecta Modelo ST- 2010L sobre una solución de pectina comercial (6 g/L), en buffer lactato pH 4,2, según la metodología propuesta anteriormente (5). El análisis se llevó a cabo adicionando 1% de enzima al preparado de pectina comercial en un rango de temperatura entre 30 y 45°C por 30 minutos. Una unidad de actividad poligalacturonasa total fue definida como la cantidad de enzima que reduce la viscosidad en un 50 %, siguiendo condiciones estándar (9).

### Caracterización Química

Se determinó la acidez titulable de la pulpa según la norma técnica colombiana NTC 4623, los **sólidos solubles** Se evaluaron por refractometría con un refractómetro METTLER TOLEDO REFRACTO 30XP, el potencial de hidrogeno se determinó mediante un pHMETRO 704 pH METER METROHM, la viscosidad mediante un viscosímetro rotacional Modelo ST- 2010L, marca Selecta.

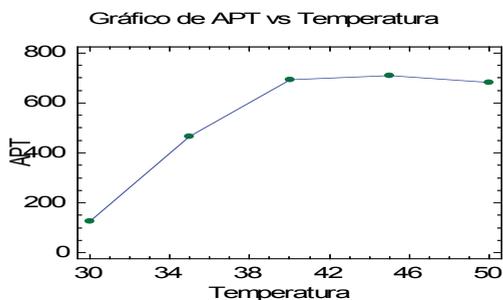
### Tratamiento Enzimático

Se realizó un diseño central compuesto, tomando como referencia trabajos realizados anteriormente (8, 10, 11), evaluando 3 variables de proceso; concentración de enzima (Valor mínimo 0,05% y valor máximo 0,1%), tiempo (Valor mínimo 30 minutos, y valor máximo 60 minutos), y temperatura de tratamiento (Valor mínimo 30 °C y valor máximo 40 °C) sobre 200 gramos de pulpa homogenizado y como variable de respuesta se evaluó la viscosidad y el color. La temperatura se controló con ayuda de un baño termostático, con agitación constante a aproximadamente 500 rpm. La enzima después del tratamiento se inactivó en un baño de agua a 80°C por 20 segundos. El diseño consta de 15 repeticiones de las cuales 3 se encuentran en el punto central y fueron llevadas a cabo en orden aleatorio.

Los datos se procesaron con ayuda de la metodología de superficies de respuesta en el software STATGRAPHICS CENTURION XVI, con el fin de determinar el tiempo, la concentración y la temperatura óptima para obtener un producto con viscosidad semejante a la de una pulpa comercial. (5-9)

## RESULTADOS

La actividad poligalacturonasa total de la enzima Naturalzyme® 100 XL tuvo un valor máximo de 708 U/mL a 40 °C (Figura 1).



**Figura 1.** Medición de la actividad de la enzima Naturalzyme® 100 XL.

### Caracterización de la pulpa de guanábana sin tratamiento.

**Tabla1.** Caracterización química de pulpa de guanábana (*Annona Muricata L.*)

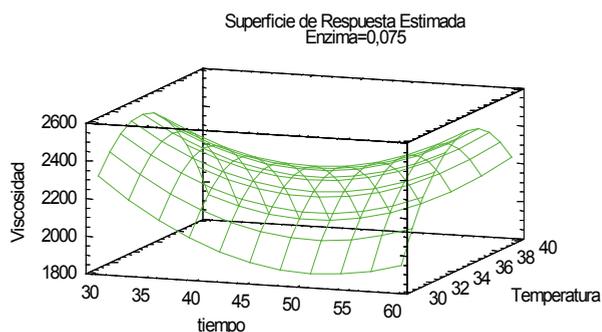
Componente	Valor	Desviación Estandar
Acidez	0,85 %	0,07
°Brix	12,53 %	0,05
pH	4,02	0,01
Viscosidad	3456, 2 cp	19,5

### Tratamiento Enzimático.

Al evaluar los datos con el modelo de superficie de respuesta se obtuvo el siguiente polinomio que describe el comportamiento de la viscosidad frente a la concentración de la enzima y a la temperatura y tiempo de tratamiento.

(Ecuación 1) Polinomio obtenido de la superficie de respuesta.

$$\begin{aligned} \text{Viscosidad} = & -13430,3 - 200,702 \cdot \text{tiempo} + 1057,93 \cdot \text{Temperatura} + \\ & 44531,3 \cdot \text{Enzima} + 0,985102 \cdot \text{tiempo}^2 + 2,23567 \cdot \text{tiempo} \cdot \text{Temperatura} + \\ & 433,967 \cdot \text{tiempo} \cdot \text{Enzima} - 15,3796 \cdot \text{Temperatura}^2 - 1143,0 \cdot \text{Temperatura} \cdot \text{Enzima} - \\ & 137603 \cdot \text{Enzima}^2. \end{aligned}$$



**Figura 2.** Superficie de respuesta para la evaluación del tiempo, concentración de enzima y temperatura de tratamiento sobre la viscosidad de la pulpa de guanábana.

## DISCUSIONES

### Actividad de la enzima

Comparando la actividad de la enzima estudiada en este trabajo, la cual fue de 708 U/mL a 40 °C, con reportes de actividades para preparados enzimáticos comerciales similares de poligalacturonasa de investigaciones anteriores; Pectinex\_Clear; (919 U/mL), Pectinex\_Be Colour; (1150 U/mL), Pectinex Ultra SP-L (583 U/mL) (5-10-11), la enzima con la que se trabajó en esta investigación tuvo una actividad acorde con lo publicado con anterioridad y una temperatura óptima de trabajo adecuada para pulpas de fruta ya que a estos valores de temperatura la materia prima no va a sufrir una exposición térmica severa, con lo cual se asegura que no va a existir daño en color, pérdida de vitaminas, sabores y aromas.

## Caracterización de la pulpa de guanábana sin tratamiento

Los datos de la caracterización de la guanábana concuerdan con los reportados por otros autores para la misma variedad (1- 12-13). La acidez cuantificada en esta investigación fue de 0.85% expresada como porcentaje de ácido cítrico, es muy cercana a la reportada por (1), que informa para pulpa de guanábana un valor de 1.02 % y para pure de 0.61%

El valor de potencial de hidrogeno para la pulpa es muy cercano con el valor obtenido para la actividad de la enzima; con lo que es muy acertado el uso de esta enzima sobre esta fruta.

## Tratamiento Enzimático

El estadístico R-Cuadrado indica que el modelo, así ajustado, explica 84,7624% de la variabilidad en Viscosidad con respecto a las tres variables de proceso. Investigadores (Landbo et al 2007; Lee et al 2006; Rai et al 2004 y Rodríguez et al 2015) que han trabajado en el modelado empírico de procesos biológicos a través de este tipo de procesos, argumentan que un estadístico de R-Cuadrado por encima del 75 % es un buen valor para asumir una correlación aceptable entre las variables de proceso. (8-14-10-11)

## Optimización

Realizando la optimización sobre el ecuación 1 para el proceso de disminución de la viscosidad de la pulpa, se obtuvo una viscosidad mínima de 454,2 cp que se alcanzó en un tiempo de 56.8 minutos a una temperatura de 40°C, con un porcentaje de enzima de 0,082, este valor indica la reducción de la viscosidad de dicha pulpa gracias a la acción enzimática de la poligalacturonasa provocando una degradación de las paredes celulares de la pulpa cruda de la guanábana por hidrólisis de las pectinas, además ayuda a aumentar el rendimiento y a mejorar la clarificación en la elaboración de jugos y néctares. (1-5-6-7)

## CONCLUSIONES

La aplicación de enzimas a pulpas de fruta es un tratamiento biotecnológico que genera muchos beneficios ya que se pueden obtener productos con mejores características sensoriales para el consumidor. En este trabajo para disminuir la viscosidad de la pulpa de guanaba de 3456, 2 cp hasta 454,2 cp

fue necesario realizar un tratamiento enzimático a 40 °C, con 56.8 minutos de tratamiento y con un 0,082% de enzima. Con esto se puede obtener una pulpa o un jugo con características reológicas adecuadas y listo para enriquecer, fortificar o adicionar compuestos fisiológicamente activos con el fin de formular alimentos funcionales.

## REFERENCIAS

1. Neela Badrie, Alexander G. Schauss, Chapter 39 - Soursop (*Annona muricata* L.): Composition, Nutritional Value, Medicinal Uses, and Toxicology, In *Bioactive Foods in Promoting Health*, edited by Ronald Ross Watson Victor R. Preedy, Academic Press, San Diego. 2010; 621-643p.
2. Preedy Victor R, Ronald Ross Watson, Vinood B. Patel, eds. *Nuts and seeds in health and disease prevention*. Academic press. 2011.
3. Correa Justine, et al. Actividad antioxidante en guanábana (*Annona muricata* L.): una revisión bibliográfica. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 2012;11(2): 111-126.
4. Adela María Ceballos, Gloria Inés Giraldo, Carlos Eduardo Orrego. Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp, *Journal of Food Engineering*. 2012;111(2): 360-365.
5. Ivana Greice Sandri, Cristiane Menegoto Toscan Lorenzoni, Roselei Claudete Fontana, Mauricio Moura da Silveira, Use of pectinases produced by a new strain of *Aspergillus niger* for the enzymatic treatment of apple and blueberry juice, *LWT - Food Science and Technology*. 2013; 51(2): 469-475.
6. Ivana Greice Sandri, Roselei Claudete Fontana, Débora Menim Barfknecht, Mauricio Moura da Silveira, Clarification of fruit juices by fungal pectinases, *LWT - Food Science and Technology*. 2011; 44(10): 2217-2222.
7. Kashyap D R, Vohra P K, Chopra S, Tewari R. Applications of pectinases in the commercial sector: a review. *Bioresource Technology*. 2001; 77: 215-227.
8. Landbo A K, Meyer A S. Statistically designed two step response surface optimization of enzymatic prepress treatment to increase juice yield and lower turbidity of elderberry juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2007;8:135: 142.
9. Couri S, Farias A. Genetic manipulation of *Aspergillus niger* for increased synthesis of pectinolytic enzymes. *Revista de Microbiologia*. 1995; 26: 314-317.
10. W.C. Lee, S. Yusof, N.S.A. Hamid, B.S. Baharin, Optimizing conditions for enzymatic clarification of banana juice using response surface methodology (RSM), *Journal of Food Engineering*. 2006; 73(1): 55-63.
11. P Rai, Majumdar G C, DasGupta S, De S. Optimizing pectinase usage in pretreatment of mosambi juice for clarification by response surface methodology, *Journal of Food Engineering*, 2004; 64(3):97-403.
12. Umme A, Asbi B A, Salmah Y, Junainah A H, Jamilah B. Characteristics of soursop natural puree and determination of optimum conditions for pasteurization, *Food Chemistry*. 1997; 58(1-2):119-124,
13. Ramírez-Méndez Raúl, Arenas De Moreno Lilia, Acosta Katiuska, Yamarte Maritza, Sandoval Luis. Efecto Del Escaldado Sobre La Calidad Nutricional De Pulpa De Guanábana (*Annona muricata* L.) *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 2012;13(1):48-57.
14. Cortés Rodríguez Misael, Hernández Sandoval Gustavo Rafael, Ciro Velásquez Héctor José. "Experimental optimization of cape gooseberry pulp (*Physalis peruviana*) formulation to improve its processing by spray drying." *Vitae*. 2015;22(2):130-142.

# VARIACIÓN DEL PERFIL VOLÁTIL DEL “BANANO BOCADILLO” (*Musa acuminata Colla*) POR EFECTO DEL SOLUTO OSMÓTICO

CHANGES IN VOLATILE PROFILE OF “BOCADILLO BANANA” (*Musa acuminata Colla*) BY THE INFLUENCE OF OSMOTIC SOLUTE

Aristófeles ORTIZ. M.Sc.<sup>1\*</sup>; Angela M. ORMAZA Z. Dr. (C).<sup>2</sup>; Alfredo A. AYALA-APONTE. Ph.D.<sup>3</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** La deshidratación osmótica (DO) es un proceso atérmico de bajo costo, aplicado a diversidad de productos vegetales bajo regímenes de vacío o atmosférico y con diferentes solutos osmóticos, contribuyendo a la conservación de alimentos con alto contenido de humedad. Durante la DO se llevan a cabo diferentes tipos de reacciones químicas y cambios físicos por efecto del estrés osmótico dentro de la fruta. **Objetivos:** El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto del tipo de soluto osmótico (sacarosa y maltodextrina) sobre el perfil volátil en muestras de banano bocadillo osmodeshidratado. **Métodos:** Se realizó la DO a presión atmosférica, utilizando dos solutos osmóticos; sacarosa (SAC) a 62°Brix y maltodextrina (MAL) a 72°Brix en muestras de banano bocadillo. Los compuestos volátiles (CV) fueron absorbidos mediante la técnica de microextracción en fase Sólida (SPME). El perfil volátil se determinó mediante cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (GC-MS), evaluando los porcentajes de retención de volátiles, atributos o descripción del aroma, reacción de formación y clasificación por grupo funcional. **Resultados:** El tratamiento DO MAL conservó el 60% de los compuestos volátiles de la muestra fresca, pero conservando en mayor concentración los compuestos representativos del aroma del banano bocadillo (2-Pentanona, 2-Pentanol, Etanol y 1-Hexanol), mientras que DO SAC conservó el 68% de retención de CV del

aroma fresco pero los CV impacto los retuvo en menor concentración, además se observó que hay mayor formación de nuevos compuestos volátiles en la deshidratación osmótica llevada a cabo con maltodextrina. **Conclusiones:** La deshidratación osmótica con MAL en banano bocadillo conservó más los compuestos volátiles característicos o impacto del aroma de este fruto y formación de nuevos CV, mientras que con la utilización de sacarosa como agente osmótico, su retención fue menor para los CV impacto, pero conservó la mayoría de los compuestos encontrados en el fruto fresco. Se recomienda la DO con MAL para favorecer la retención de CV clave del banano bocadillo.

**Palabras clave:** Cromatografía, sacarosa, volátiles, banano bocadillo, perfil volátil.

## ABSTRACT

**Background:** osmotic dehydration (OD) is a low-cost thermal process applied to a variety of plant products under vacuum or atmospheric regimes and different osmotic solutes, contributing to the preservation of foods with high moisture content. During OD there are performed different types of chemical reactions and physical changes by the effect of osmotic stress within the fruit. **Objectives:** The objective of this study was to evaluate the effect of the osmotic solute (sucrose and maltodextrin) on the volatile profile samples OD “bocadillo banana”. **Methods:** OD at atmospheric pressure was performed using two osmotic solutes; sucrose (SAC)

<sup>1</sup> Ciencias químicas. Investigador I. Disciplina de Calidad. Cenicafé. Chinchiná, Caldas.

<sup>2</sup> Candidata a doctora en Ingeniería Univalle, Profesora auxiliar, Departamento de Ingeniería, Facultad de ingeniería, Universidad de Caldas. Manizales, Caldas.

<sup>3</sup> Ciencia y tecnología de los alimentos. Profesor asociado, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingeniería Universidad del Valle. Cali, Valle del Cauca.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: aristofeles.ortiz@cafedecolombia.com.co

at 62 ° Brix and maltodextrin (MAL) at 72 ° Brix samples “bocadillo banana”. The volatile compounds (VC) were absorbed by the technique of solid phase micro extraction (SPME). The volatile profile was determined by gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC-MS), evaluating the retention rates of volatile aroma attributes or description, and formation reaction of functional group classification. **Results:** The treatment DO MAL retained 60% of the volatiles from the fresh sample, but retaining a greater concentration representative aroma compounds “bocadillo banana” (2-pentanone, 2-pentanol, 1-hexanol and ethanol), whereas DO SAC retained 68% retention of the fresh scent of CV impact but held them in lower concentrations also noted that there is increased formation of new volatile compounds in the osmotic dehydration conducted with maltodextrin. **Conclusions:** MAL osmotic dehydration of “bocadillo banana” preserved more characteristic volatile compounds or flavor impact of the fruit and formation new CV, while the use of sucrose as osmotic agent, its retention was lower for CV impact, but it’s retained most compounds found in fresh fruit. DO MAL is recommended to favor the retention of key CV “bocadillo banana”.

**Keywords:** Chromatography, sucrose, volatile “bocadillo banana”, volatile profile.

## INTRODUCCIÓN

El banano bocadillo es un fruto exótico apetecido a nivel nacional y en el exterior con atributos aromáticos característicos que lo hacen atractivo por el consumidor (1). En la DO se sumergen las frutas y hortalizas en una solución hipertónica en condiciones específicas para garantizar una deshidratación parcial de la materia prima (2). Durante la DO se llevan a cabo distintas reacciones por efecto del estrés osmótico que generan perfiles volátiles específicos (3) que pueden hacer más atractivo el producto, potenciando cualidades sensoriales como el color, el aroma y el sabor (4). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del soluto osmótico (sacarosa y maltodextrina) sobre el perfil aromático del banano bocadillo osmodeshidratado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon bananos bocadillo (*Musa acuminata Colla*) con °Brix entre 20-24 con dimensiones de 23mm de diámetro y 4mm de espesor. Las mues-

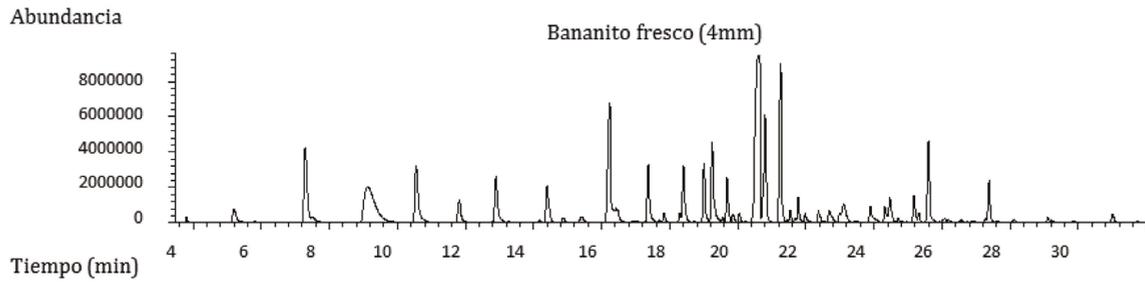
tras se osmodeshidrataron en una solución osmótica (SO) de sacarosa a 62°Brix y maltodextrina (ED=18-20) a 72°Brix, a 30°C con agitación constante de 800 rpm y una relación fruta: SO de 1:20. Los procesos de DO se realizaron durante 120 min con SAC y MAL respectivamente. Se empleó un deshidratador osmótico (Centricol S.A., Colombia). Los CV se determinaron mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) en la muestra fresca y osmodeshidratada con SAC y MAL. Los CV se adsorbieron mediante la técnica de microextracción en fase sólida (SPME). Los CV se identificaron mediante la comparación de los espectros de masa de referencia de la biblioteca NIST (NIST98, versión 2.0) (5). Se calculó el porcentaje de retención por CV (Ecuación 1), se estableció el grupo funcional de cada componente, así como los descriptores del aroma y el tipo de reacción involucrada en su formación. Los resultados se evaluaron mediante el ANOVA con el programa Statgraphics Centurion XVI y por medio de un análisis de componentes principales (PCA) con el programa XLSTAT. Donde,  $CV_x$  es un compuesto volátil específico identificado por el detector de masas, *fresco* es la muestra testigo, *n* corresponde a DO SAC y DO MAL, respectivamente. 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% ( $p < 0.05$ ).

$$\% \text{ Retención } CV = \frac{CV_{x,n}}{CV_{x,\text{fresco}}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

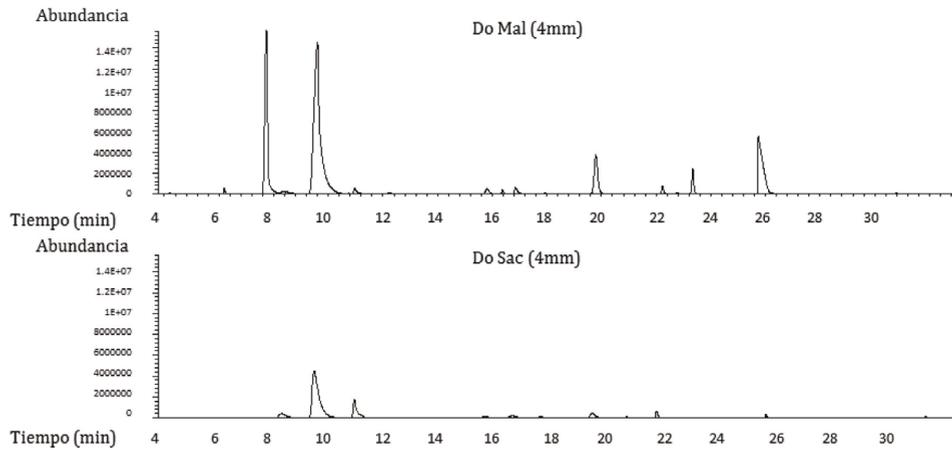
## RESULTADOS

La figura 1 representa el perfil volátil del banano bocadillo fresco. En la muestra fresca se detectaron alrededor de 40 CV diferentes. Este cromatograma se utilizó como testigo para comparar la variación del perfil aromático del banano bocadillo por efecto de los diferentes solutos osmóticos evaluados.

La variación del perfil volátil por efecto de la DO con ambos solutos a la misma escala se muestra en la figura 2. Se observa la disminución de señales en la DO con sacarosa al compararlo con maltodextrina y con respecto al perfil volátil de la muestra sin tratar (Figura 1). En unos casos se presenta disminución del tamaño de los picos cromatográficos y en otros casos eliminación de CV.

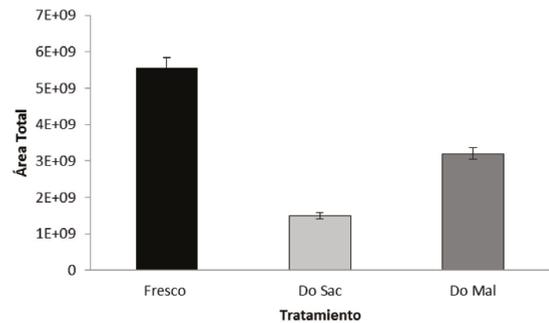


**Figura 1.** Perfil volátil del banano bocadillo fresco.



**Figura 2.** Gráfica comparativa del perfil volátil en los procesos de DO de banano bocadillo con sacarosa y maltodextrina.

La figura 3 muestra la retención de CV obtenida de la aplicación de la DO con SAC y MAL de rodajas de banano bocadillo. Se observa que el área total en ambos solutos es inferior al de la muestra fresca, indicando una pérdida significativa de los CV ( $p < 0,05$ ), sin embargo las muestras tratadas con MAL mostraron mayor conservación de los CV respecto a las tratadas con SAC. La tabla 1 muestra los CV encontrados para ambos tratamientos osmóticos con su respectivo grupo funcional, porcentaje de retención, reacción de formación y descripción del aroma.



**Figura 3.** Retención de CV en los procesos de DO de banano bocadillo con sacarosa y maltodextrina.

**Tabla 1.** Compuestos volátiles obtenidos de la DO con sacarosa y maltodextrina

CV	Atributo	Grupo funcional	Reacción	DO SAC (%)	DO MAL (%)
Acetaldehído*	Frutal, vino, ácido	Aldehído	R.	52,61	63,20
Metil éster, ác. acético*	Agrio, astringente, vinagre	Éster	F.	38,49	ND
Etil acetato*	Afrutado, dulce, fresco, maduro	Éster	F.	42,39	10,18
Etanol*	Fresco, dulce	Alcohol	F.	0,99	54,54
2-Pentanona*	Banano dulce	Cetona	C.	6,46	98,66
2-Metil propil éster, ác. Acético	Agrio, astringente, vinagre	Éster	F.	+	ND
Etil éster ác. butanoico*	Rancio, queso, dulce	Éster	F.	1,49	4,46
1-Propanol*	Picante, dulce	Alcohol	F.	32,10	ND
1-Metil propil éster, ác. Acético	Agrio, astringente, vinagre	Éster	F.	+	ND
2-Metil-1-Propanol*	Vino, solvente, amargo	Alcohol	F.	65,99	85,62
3-Metil-1-Butanol*	Vino afrutado, banano	Alcohol	F.	28,32	134,45
2-Pentanol*	Banano	Alcohol	F.	3,52	108,74
1-Butanol	Vino, banano	Alcohol	F.	+	+
1-Pentanol	-	Alcohol	F.	+	ND
Metil-2-Hidroxi propanoico	Ácido, rancio, soya	Ácido carboxílico	F.	+	ND
Etil-2-Hidroxi propanoico	Ácido, rancio, soya	Ácido carboxílico	F.	+	ND
2-Metil-1,3-Pentadieno*	-			1,96	ND
Ác. acético*	Agrio, astringente, vinagre	Ácido carboxílico	F.	309,95	4,66
Furfural	Dulce, café	Furano	C.	+	ND
4-Metil-2-Hidroxi pentanoico*	Dulce, ácido, rancio	Ácido carboxílico	C.	18,92	ND
2-Metil propanoico*	Rancio, mantequilla, queso	Ácido carboxílico	F.	17,37	ND
Ác. butanoico*	Rancio, queso, dulce	Ácido carboxílico	F.	16,07	ND
2-Metil propanal	Acre, malta, verde	Aldehído	R.	ND	+
Etil éster, ác. Acético	Agrio, astringente, vinagre	Éster	F.	ND	+
2-Metil butanal	Cocoa, almendra	Aldehído	R.	ND	+
3-Metil butanal	Malta	Aldehído	R.	ND	+
2-Metil-1-Butanol	Malta, vino	Alcohol	F.	ND	+
Hexanal	Aceitoso, aguacate, hierba, grasa	Aldehído	O.	ND	90,10
2-Metil propil éster, ác. Butanoico	Rancio, queso, dulce	Éster	F.	ND	1,22
2-Heptanona	Picante afrutado	Cetona	C.	ND	+
2-Metil-1-Metil propanoico	Ácido, rancio, soya	Ácido carboxílico	F.	ND	+
1-Metil propil éster, ác. Butanoico	Rancio, queso, dulce	Éster	F.	ND	3,16
2-Hexenal	Fruta, herbal, intenso, dulce	Aldehído	R.	ND	+
3-Metil butil éster, ác. Butanoico	Rancio, queso, dulce	Éster	F.	ND	161,68
3-Metil-3-Metil butanoico	Dulce, ácido, rancio	Ácido carboxílico	F.	ND	10,10
3-Hidroxi-2-Butanona	Mantequilla, crema	Cetona	C.	ND	167,41
1-Hexanol	Miel, dulce, césped	Alcohol	F.	ND	32,02
3-Hexen-1-ol	Fresco, maduro	Alcohol	F.	ND	+
Benzaldehído	Almendra amarga, dulce	Aldehído	R.	ND	+

\*compuestos en muestra fresca; + compuestos volátiles formados; DOSAC: 68% de retención de CV de muestra fresca; DOMAL: 60% de retención de CV de muestra fresca; ND: No detectado; R: Reacción de Maillard; F: Fermentación; C: Caramelización; O: Oxidación lipídica

Fuente: (6-10).

En general los CV retenidos en las muestras de banano por efecto de la DO con sacarosa y maltodextrina (Tabla 1), son en su mayoría alcoholes, ésteres, aldehídos y cetonas. Además, por efecto de la osmodeshidratación se retienen CV con más de 5 carbonos en su estructura química. Con respecto a la retención de CV identificados en la muestra fresca, se obtuvo una retención del 68% en DO SAC y del 60% en DO MAL, pero este último presentó mayor formación de nuevos CV por efecto del tratamiento osmótico. Con respecto a la retención de CV impacto la retención de DO MAL fue de 98,66%, 108,74%, 54,54% y 32,02% y en DO

SAC 6,46%, 3,52%, 0,99% y 0% para 2-Pentanona, 2-Pentanol, Etanol y 1-Hexanol, respectivamente (Tabla 1). En la figura 4 se muestra el PCA para las muestras tratadas osmóticamente con SAC y MAL, evidenciando distintos comportamientos por cada tratamiento, separándose entre ellos con respecto a la muestra fresca. Los CV cercanos a los puntos azules que representan cada tratamiento osmótico son representativos de cada uno de ellos. Por otra parte, los CV característicos del aroma del banano bocadillo se conservan en ambos tratamientos osmóticos, sin embargo, en las muestras tratadas con MAL se presenta mayor abundancia.

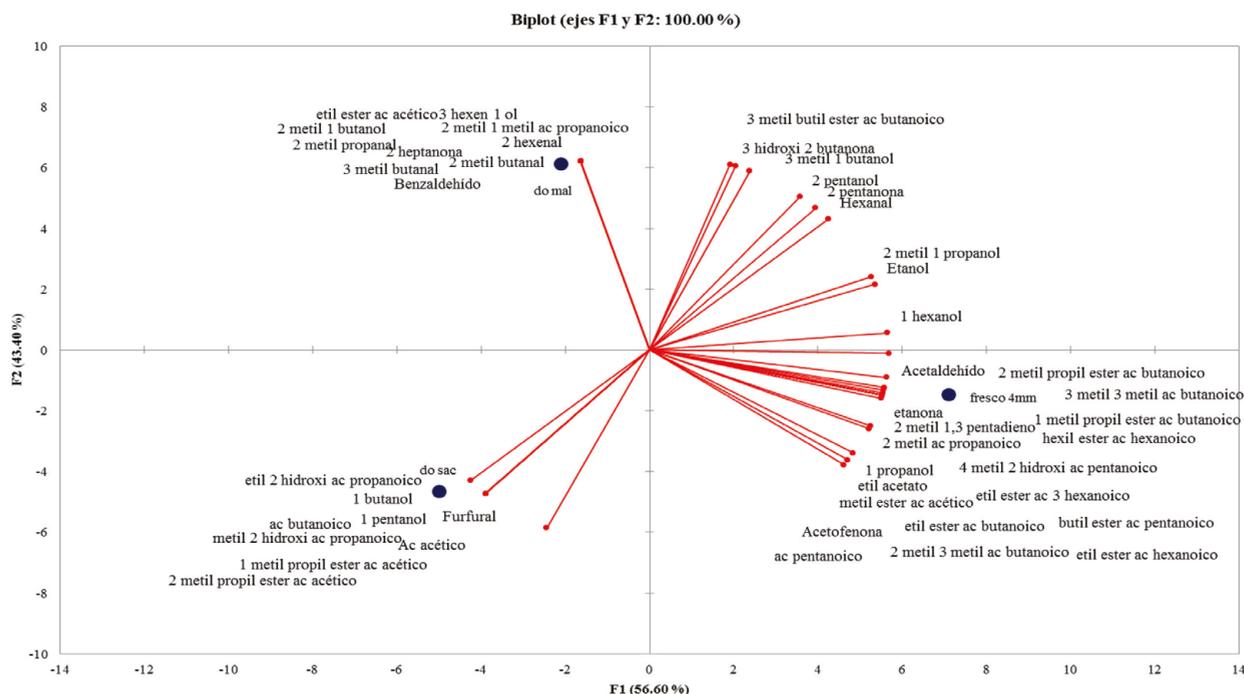


Figura 4. PCA de DO MAL y DO SAC de banano bocadillo.

## DISCUSIÓN

En la figura 2 se observó la pérdida de algunos CV ocasionada por la volatilización de los aromas o por la difusión hacia la SO. Cuanto menor es el peso molecular del CV, mayor es la probabilidad de disminución de su concentración, que tendrá lugar dentro de la matriz vegetal por efecto de las condiciones de proceso aplicado (10,11). Algunos autores han descrito la capacidad de algunas SO de disminuir la velocidad de los fenómenos difusivos cuando se han deshidratado frutas con maltodextrina (12). El efecto protector de la maltodextrina

hace posible una mayor retención de aromas que pueden impactar directamente en los indicadores de aceptación sensorial (13-16). El comportamiento observado en la figura 3, significa que la DO con maltodextrina permite una mayor retención de CV y que el proceso de osmodeshidratación tiene un impacto importante sobre la variación del perfil aromático con respecto a la muestra fresca. Los CV identificados en la tabla 1 para ambos tratamientos osmóticos, mostraron que la fracción volátil del banano bocadillo está compuesta principalmente por alcoholes, ésteres, aldehídos y cetonas que son característicos de la fracción volátil del banano

(17,18). La retención de CV con más de 5 carbonos durante la DO también fue reportada en fresa (5) y pera (19). Además se retienen en ambos procesos osmóticos compuestos impacto del aroma del banano fresco como el 2-Pentanona, 2-Pentanol, Etanol y 1-Hexanol (10,17).

## CONCLUSIONES

El proceso osmótico con maltodextrina favoreció la retención de CV identificados en fresco así como CV impacto del banano y la generación de nuevos CV en banano bocado osmodeshidratado.

## REFERENCIAS

- Grupo Eurobanan. Frutas tropicales y exóticas. (Internet). Madrid, España: 2010 (Actualizado 6 de Julio de 2011; citado 10 de Noviembre de 2011). Disponible en: <http://www.eurobanan.com/index.php?pagina=categorias>.
- Ayala-Aponte AA, Giraldo-Cuarta CJ, Mosquera EV. Cinéticas de deshidratación osmótica de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Interciencia*. 2010 May-Jun; 35(7): 539-544.
- 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 Oct-Jan; 36: 635-642.
- Chiralt A, Talens P. Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues. *J Food Eng*. 2005 Oct-May; 67: 167-177.
- Rizzolo A, Gerlia F, Prinzivallia C, Burattib S, Torreggiani D. Headspace volatile compounds during osmotic dehydration of strawberries (cv Camarosa): Influence of osmotic solution composition and processing time. *Food Sci Technol-LEB*. 2007 Feb-Jun; 40: 529-535
- Poinot P, Arvisenet G, Grua-Priol J, Colas D, Fillonneau C, Le Bail A, Prost C. Influence of formulation and process on the aromatic profile and physical characteristics of bread. *J Cereal Sci*. 2008 Jul-Mar; 48: 686-697
- Boudhrioua N, Giampaoli P, Bonazzi C. Changes in aromatic components of banana during ripening and air-drying. *Lebensm. Wiss. Technol*. 2003 Aug-Mar; 36: 633-642
- Guzmán-Gerónimo RI, López MG, Dorantes-Álvarez L. Microwave processing of avocado: Volatile flavor profiling and olfactometry. *Innov Food Sci Emerg Technol*. 2008 Dec-May; 9: 501-506.
- Pino JA, Febles Y. Odour-active compounds in banana fruit cv. Giant Cavendish. *Food Chem*. 2013 Feb-Mar; 141: 795-801
- Viljanen K, Lille M, Heiniö R, Buchert J. Effect of high-pressure processing on volatile composition and odour of cherry tomato purée. *Food Chem*. 2011 Jun-Jul; 129: 1759-1765.
- 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 Food Sci Tech*. 2008 May-Jun; 19: 320-328.
- Torreggiani D, Bertolo G. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *J Food Eng*. 2001 Jun-Dec; 49: 247-253
- Harker FR, Gunson FA, Jaeger SR. The case for fruit quality: an interpretive review of consumer attitudes, and preference for apples. *Postharvest Biol Tech*. 2003 Jun-Oct; 28(3): 333-347.
- Hoehn E, Gasser F, Guggenbühl B, Künsch U. Efficacy of instrumental measurements for determination of minimum requirements of firmness, soluble solids, and acidity of several apple varieties in comparison to consumer expectations. *Postharvest Biol Tech*. 2003 Nov-Jul; 27(1): 27-37.
- Kühn BF, Thybo A. The influence of sensory and physiochemical quality on Danish children's preferences for apples. *Food Qual Prefer*. 2001 May-Jun; 12(8): 543-550.
- Peneau S, Hoehn E, Roth HR, Escher F, Nuessli J. Importance of consumer perception of freshness of apples. *Food Qual Prefer*. 2006 May-Jun; 17(1-2): 9-19.
- Vermeir S, Hertog MLATM, Vankerschaver K, Swennen R, Nicolai BM, Lammertyn J. Instrumental based flavour characterisation of banana fruit. *Food Sci Technol-LEB*. 2009 Nov-May; 42: 1647-1653.
- 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.
- Komes D, Lovrić T, Ganić KK. Aroma of dehydrated pear products. *Food Sci Technol-LEB*. 2007 Jul-Dec; 40: 1578-1586.

# BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS COMO ADITIVO PROTECTOR DE MICROORGANISMOS NO DESEABLES EN CARNES CURADAS

LACTIC ACID BACTERIA ADDITIVE AS PROTECTOR OF UNDESIRABLE ORGANISMS  
IN SAUSAGES

Guillermo ARRAZOLA PhD<sup>1</sup>, Armando ALVIS PhD<sup>1</sup>, Adriana PÉREZ MSc<sup>2</sup>

## RESUMEN

**Antecedentes:** Las Bacterias ácido lácticas son utilizadas en la industria alimentaria como un conservador, actúan directamente produciendo compuestos que ayudan y permiten prolongar su vida útil. **Objetivos:** El objetivo de este trabajo fue generar una mezcla conservante aditivo a partir de Bacterias ácido lácticas, (BAL), *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* y *Streptococcus salivarius sbsp. Thermophilus*, para la elaboración y conservación de embutidos crudos tipo chorizo. **Métodos:** Las cepas de microorganismos fueron adquiridas comercialmente, luego se sembraron en el medio de mantenimiento para la familia de las BAL, agar y caldo MRS. Para obtener el aditivo a partir de las BAL se analizó el comportamiento microbiológico de las BAL en medio formulado líquido, fueron inoculadas dos concentraciones diferentes y se evaluó el comportamiento microbiológico luego de 16 horas de fermentación, **Resultados:** La concentración con mejor rendimiento fue aplicada a una formulación de chorizos y luego de dos semanas de almacenamiento en refrigeración fueron cuantificados los microorganismos patógenos *Salmonella*, *E.coli*, *Estaphilococcus* y *aerobios mesofilos*, a demás de se realizó una prueba sensorial con un panel no entrenado. Como resultado se obtuvieron un efecto bactericida para las enterobacterias, *Salmonella* y *Coliformes fecales* y *totales*, mientras que para *Estaphilococcus* el aditivo detuvo el crecimiento de este en los chorizos a la segunda semana de almacenamiento **Conclusiones:** Las BAL, actúan como medio conservante para embutidos crudos curados, mejorando las características, físicoquímicas y sensoriales y alargando su vida útil.

**Palabras clave:** ácido láctico, aditivo, chorizos, microorganismos indeseables.

## ABSTRACT.

**Background:** Lactic acid bacteria are used in the food industry as a conservative, they act directly are producing compounds that help and allow longer life. **Objectives:** The objective of this work was to generate a preservative additive mixture from lactic acid bacteria (LAB), *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* and *Streptococcus salivarius sbsp. Thermophilus*, for the development and conservation of raw sausage type sausage. **Methods:** Microorganism strains were purchased commercially, then seeded in maintenance media for LAB family, agar and MRS broth. For the additive from the BAL BAL microbiological behavior among formulated liquid was analyzed, they were inoculated two different concentrations and microbiological behavior after 16 hours of fermentation, was evaluated. **Results:** The concentration with better performance was applied to a formulation of sausages and after two weeks of refrigerated storage were quantified pathogens *Salmonella*, *E.coli*, *Estaphilococcus* and aerobic mesophilic, besides a sensory test was performed using a trained panel. Result in fecal and total bactericidal effect for Enterobacteriaceae, *Salmonella* and coliforms were obtained, whereas for the additive *Estaphilococcus* stopped the growth of the sausages in the second week of storage **Conclusions:** The BAL, acting as preservative medium for fermented sausages, improving the characteristics, physicochemical and sensory and extending its life.

**Keywords:** Lactic acid, additive, sausages, undesirable microorganisms.

<sup>1</sup> Docente Programa Ingeniería de alimentos. Grupo Investigación, Procesos y Agro industria vegetales. Universidad de Córdoba, Colombia.

<sup>2</sup> Grupo Investigación procesos y AgroIndustria vegetales. Universidad de San BuenaVentura. Cartagena Colombia.

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

## INTRODUCCIÓN

El chorizo se define como un producto cárnico procesado, crudo, fresco, escaldado o madurado, elaborado con base en carne y grasa de animales de abasto. En Colombia se ha reportado que los alimentos potencialmente dañinos son aquellos con alto contenido proteico, baja acidez y alta humedad tales como la carne, derivados cárnicos, mariscos, lácteos, huevos, arroz y pastas. (1). Las estadísticas en Colombia muestran que en el año 2014 se presentaron 12.844 casos de intoxicación por alimentos, 264 fueron reportadas en el departamento de Córdoba. (2). En la industria de la carne, el uso de los cultivos iniciadores como las BAL, es prometedor, la adición de microorganismos eficientes a los alimentos podrían llevar los beneficios asociados a estos y contribuir al aumento del consumo de este tipo de productos (3). El objetivo de este estudio fué Generar un aditivo a partir de Bacterias ácido lácticas, *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* y *Streptococcus salivarius sbsp. Thermophilus*, para la elaboración de embutidos crudos tipo chorizo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Planta Piloto de cárnicos y en el Laboratorio de Microbiología y Biotecnología de Alimentos de la Universidad de Córdoba. El cultivo mixto de *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, obtenido de cultivos lácticos comerciales (Bilife).

### Caracterización y Obtención del aditivo

Para obtener el aditivo a partir de las BAL se analizó el comportamiento microbiológico de dos concentraciones de BAL en medio formulado líquido, y fueron puestos a fermentación en un equipo shaker de tres puestos marca (Major Science MS®) a 150 rpm, Las muestras fueron tomadas cada 2 horas, durante 16 horas, el volumen mínimo de muestra colectado fue de 10 ml, se realizaron determinaciones de determinación de pH, según el método (4), adaptado, consumo de sustrato por determinación de azúcares reductores (método ácido 3,5- dinitrosalicílico - DNS) adaptado y producción de ácido láctico según el método (4). Adaptado.

## Análisis microbiológicos

Se tomaron muestras a la primera y segunda semana de almacenamiento para llevar a cabo recuentos de recuento de *esporas sulfito reductoras* (UFC/gr.), presencia o ausencia de *Salmonella spp.*, recuento de *Staphylococcus aureus* coagulasa positiva (UFC/gr.), según el Instituto de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (5).

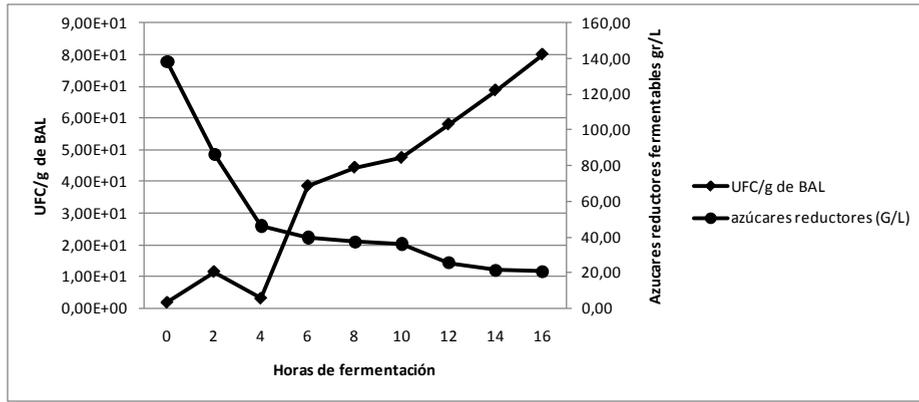
## Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar en la distribución de las muestras entre los diferentes tratamientos para la prueba de aceptación y prueba microbiológicas, determinación del efecto del agregado de BAL sobre los atributos del chorizo y la carga microbiológica patógena, mediante un análisis de varianza en el paquete estadístico STATGRAPHICS plus Version 5 Inc. 2009 y el Paquete de diseños experimentales FAUANL Versión 2.5 1994. La diferencia entre medias se determinó mediante la prueba de Tukey en el mismo paquete estadístico ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS

### Adaptación de las BAL en el chorizo

Se puede observar en la figura 1, el comportamiento de las BAL frente al consumo de sustrato en el tiempo de fermentación, las BAL muestran una rápida adaptación en el medio formulado, manifestándose esto en un crecimiento progresivo de ellas, al mismo tiempo se manifiesta el consumo de los azúcares reductores fermentables presentes en los embutidos como un sustrato fuente de energía para el desarrollo de las bacterias ácido lácticas, el desarrollo de las BAL en el embutido se manifiesta creciente desde las 2 primeras horas de fermentación, al realizar el cálculo del rendimiento de biomasa a partir del sustrato se obtuvo un valor de 0,7 UFC/g, al finalizar las 16 horas de fermentación se obtuvieron  $8,0 \times 10^1$  UFC/g de BAL, con lo cual podemos manifestar que *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* y *Streptococcus salivarius sbsp. thermophilus*, se logran adaptar y desarrollar de manera satisfactoria en la formulación usada de chorizo.



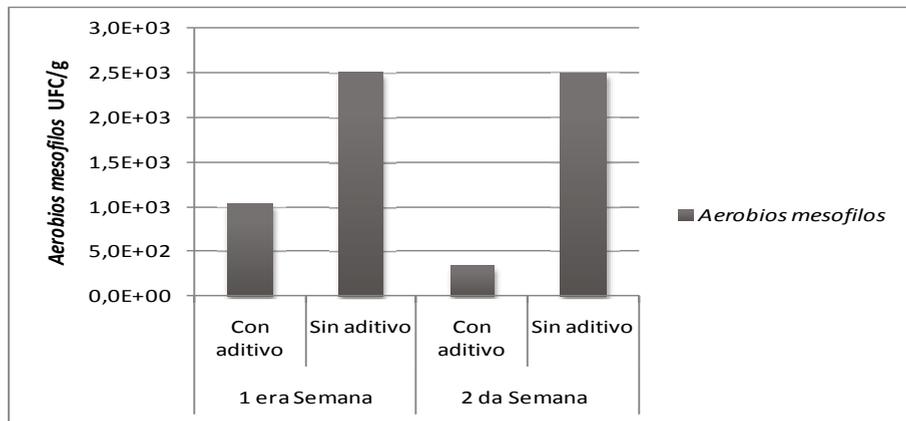
**Figura 1.** Rendimiento de biomasa a partir de sustrato en el tiempo

La simulación del proceso fermentativo que se llevó a cabo en los chorizos tratados con BAL, permitió observar como es el desarrollo de estas en el medio, medir la cantidad de UFC y establecer que esta era la concentración ideal para aplicarse como conservante en los chorizos.

**Análisis Microbiológico**

Para el conteo de mesófilos se encontró una diferencia significativa entre los chorizos con aditivo y el control ( $p < 0,05$ ). Durante el periodo de almacenamiento los chorizos con aditivo muestra-

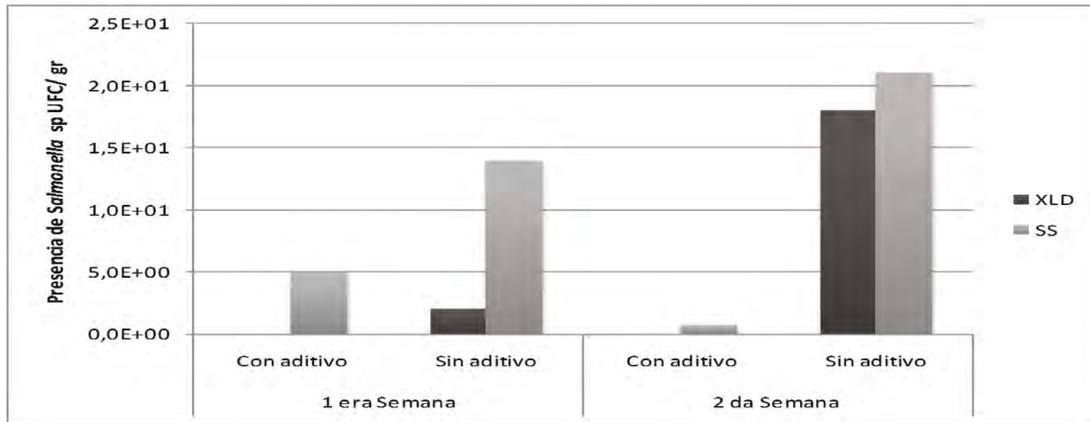
ron variaciones en los recuentos de mesofilos, en la primera semana se reportaron valores de  $1,0 \times 10^3$  UFC/g y para la segunda semana el conservante consiguió disminuir el conteo de mesófilos a  $3,4 \times 10^2$  UFC/g, mostrando un efecto protector frente a estos microorganismos alterantes (6, 7). En la figura 2 se observa que el aditivo presente en la primera semana evita que el desarrollo de los *Aerobios mesofilos* sea mayor como en el caso de los chorizos sin aditivo, para la segunda semana la población de la flora patógena con aditivo disminuye, exponiendo de esta manera el efecto bioprotector del aditivo empleado.



**Figura 2.** *Aerobios mesófilos* con y sin aditivo tiempo de conservación.

Los recuentos de *Estaphilococcus* mostrarón que el aditivo y el tiempo de conservación influyen significativamente en el crecimiento de *Staphilococcus* en

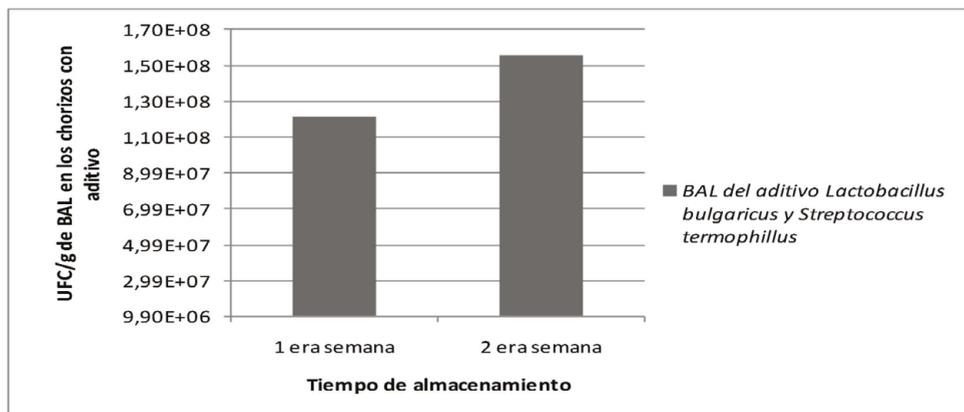
los chorizos ( $p < 0,05$ ), de igual manera, podemos ver que la interacción entre \*aditivo y \*tiempo de conservación fueron significativas ( $p < 0,05$ )



**Figura 3.** *Staphilococcus* con y sin aditivo durante el tiempo de conservación.

La figura 3 muestra el comportamiento del análisis de *Staphilococcus* realizado a los chorizos con y sin aditivo durante la primera y segunda semana, la población de *Staphilococcus* que se logran desarrollar en la primera semana de conservación de los chorizos con aditivo es inferior a la encontrada en los chorizos sin aditivo, manifestándose de esta manera el efecto antagónico que logra ejercer el aditivo frente a la población de *Staphilococcus*. La figura 4, se presenta los efectos obtenidos del aditivo frente a *Salmonella*; los resultados muestran que el patógeno en los chorizos con aditivo son mucho menores

que los encontrados en los chorizos que no tienen aditivos, demostrando que las BAL presentes en el aditivo ejercen una actividad antagónica ante *Salmonella* evitando que este agente patógeno colonice por completo el chorizo, durante esta misma semana los recuentos de *salmonella* en los chorizos sin aditivo se incrementó, esto permite advertir sobre la capacidad que tiene este patógeno para crecer en los chorizos a pesar de que estos se encuentren conservados mediante refrigeración, fuente de posibles intoxicaciones para el consumidor.



**Figura 4:** Presencia de *Salmonella* en los chorizos con y sin aditivo durante el tiempo de conservación.

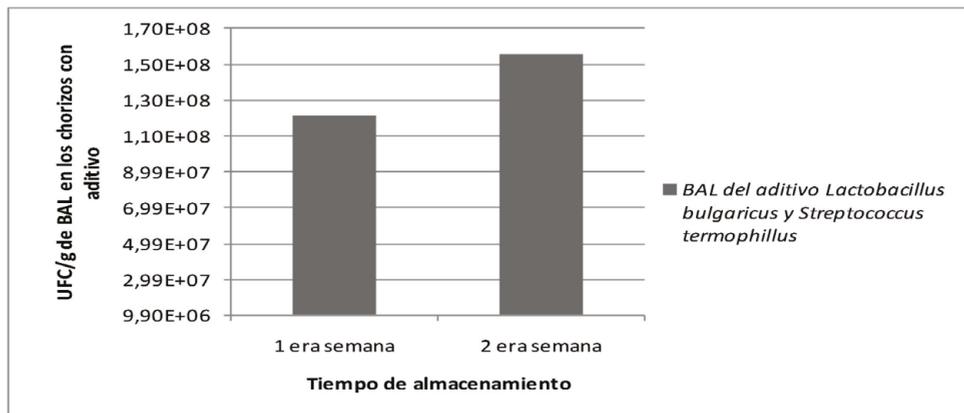
### Conteo de bacterias ácido lácticas y producción de ácido láctico

La figura 5 muestra el crecimiento de las BAL, durante la primera semana de almacenamiento, se manifiesta el desarrollo exponencial de éstas

en los chorizos, con valores de  $1,21 \times 10^8$  UFC/g, demostrando la adaptación que tienen *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus termophilus* y la viabilidad de estos en el medio, pese a que no es el de óptimo desarrollo para este género bacteriano. En la primera semana se obtuvieron datos de 0,7% ácido

láctico, manifestandose con esto el desarrollo de los metabolitos de estas especies en el embutido, confiéndole con ello todos los beneficios que este posee

como lo son un descenso en el pH y aumentando la acidez en el chorizo y protegiendo el embutido con estos agentes inhibidores.



**Figura 5.** Conteo de BAL con aditivo durante el tiempo de conservación.

## DISCUSION

La capacidad antagonica de las BAL presentes en el aditivo ha sido estudiada por diferentes autores (7) este efecto negativo ha sido llamado antagonismo láctico (8), la reducción del pH y la utilización de los carbohidratos. Para la segunda semana la presencia de *Staphylococcus* en los chorizos con aditivo disminuyó, mientras que en los chorizos sin aditivo se elevaron los recuentos a niveles no permitidos por la NTC1325, el mayor tiempo de exposición del aditivo en los chorizos da como resultado una mayor protección frente a este patógeno. La acción negativa de las BAL frente a *Staphylococcus* se puede explicar por la fermentación que estas hacen del ácido cítrico, esta fermentación la efectúan bacterias heterofermentativas, ya que transforman el ácido cítrico en productos como acetoina y acetaldehído, este último puede inhibir la división celular en bacterias Gram positivas como los *Staphylococcus*, disponibles parecen constituir el principal mecanismo de antagonismo microbiano (9, 10)

## AGRADECIMIENTOS

Colciencias, por el apoyo como joven investigadora. Convocatoria. 2011-2012.

## REFERENCIAS

- Vásquez M., Suárez H., Zapata S. Utilización de sustancias antimicrobianas producidas por bacterias ácido lácticas. *Revista Chilena Nutrición*. 2009. Vol.36. P 64-71.
- Informe de vigilancia de las enfermedades transmitidas por alimentos, semanas epidemiológicas 1 a 40 2008. Instituto Nacional de Salud.
- Freitas R., Bertelli S., Nacimiento N., Sossela R. Desarrollo de embutido fermentado por *Lactobacillus* probióticos: características de calidad, *Cienc. Tecnol. Aliment.*, Campinas. 2008. 28:3; 509-519 p.
- A.O.A.C. official methods of analysis (1998)
- Manual de industria cárnica. Editado por publicaciones técnicas alimentarias, S.A INVIMA (1998). 37 p.
- Londoño N, Taborda M, Álvarez C, Vélez L. Bacteriocinas producidas por bacterias ácido lácticas y su aplicación en la industria de alimentos. *Revista Alimentos Hoy*. 2015; 23(36).
- Ba, E, Han M Y, Li Q L, CHen H. The application of compound phosphates in food. *China Food Additives*. (in Chinese).2004; 3; 93-96 p.
- Yapar A, Atay S, Kayacier A, Yetim H Effects of different levels of salt and phosphate on some emulsion attributes of the common carp (*Cyprinus carpio* L., 1758). *Food Hydrocolloids*. 2006; 20: 825-830 p.
- Fadda, S, CHambon, C, CHampomier, V, Talon, R, Vignolo, G (2008). Condition inf of refrigerated and vacuum- packaged Argentinean meat. *Meat, Sci*. 79: 603-610p.
- Vásquez, M, Suárez, H, Montoya, O (2009) Evaluación de bacteriocinas como medio protector para la biopreservación de la carne bajo refrigeración. *Revista Chilena de Nutrición*. 36:3. 228- 238p.