

Biotecnología en el Sector
Agropecuario y Agroindustrial
Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad del Cauca

ISSN - 1692-3561
Versión Impresa



ISSN - 1909-9959
Versión Electrónica

Universidad
del Cauca

Vol 13 No. 2 Julio - Diciembre 2015

Héctor Samuel Villada - Ph.D.

Editor de la Revista

COMITÉ EDITORIAL

Héctor Samuel Villada - Ph. D.
Universidad del Cauca
Departamento de Agroindustria

Jhon Wilder Zartha S. - M. Sc.
Univerisdad pontificia bolivariana (UPB)

Silvio Andres Mosquera M. Sc.
Universidad del Cauca
Departamento de Agroindustria

Michael Peters - Ph.D.
Universidad de Giessen – CIAT

Sandra Morales Velasco M.Sc.
Universidad del Cauca
Departamento de Ciencias Agropecuarias

Ángel Pérez - Ph. D.
Universidad de Holguín de Cuba

Consuelo Montes M. Sc.
Universidad del Cauca
Departamento de Ciencias Agropecuarias

José Ángel Gómez Ruiz - Ph.D
Universidad Autónoma de Madrid, España

Maite del Pilar Rada. Ph. D.
Universidad del Cauca
Departamento de Química

Diana Paola Navia, M. Sc.
Universidad San Buenaventura
Cali, Colombia

Jaime Ricardo Rosero Noguera - Ph.D.
Universidad Nacional – Sede Medellín

COMITÉ CIENTÍFICO

Nelson Vivas Quila - Ph. D.
Universidad del Cauca
Departamento de Ciencias Agropecuarias

Vijaya Raghavan - Ph. D.
Universidad de McGill de Canadá

Misael Cortés Rodríguez - Ph. D.
Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín

Byong Lee - Ph. D.
Universidad de McGill de Canadá

Alfredo Ayala Aponte Ph. D.
Universidad del Valle
Escuela de Ingeniería de Alimentos

Francisco J. Moreno Andújar - Ph.D.
Instituto de fermentaciones industriales Madrid, España

Xuebing Xu - Ph. D. Biocentrum.
Instituto de Biotecnología de Dinamarca

María del Mar Villamiel G. Ph.D.
Universidad Complutense de Madrid

Asistente Editorial
Willian Enrique Sotelo O.

Diseño y Diagramación
Santiago Burbano M.

IMPRESO
SAMAVA EDICIONES
Calle 1 No.2-99 - Popayán - Colombia

PORTADA

Nelson Vivas Quila – Ph. D.
Universidad del Cauca



Dirección Revista

Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad del Cauca
Calle 5 No.4-70 Popayán, Colombia
Teléfono (928) 245976
e_mail: biotecnofaca@unicauca.edu.co
pagina web:
<http://revistabiotecnologia.unicauca.edu.co/>

Revista Biotecnología en el Sector
Agropecuario y Agroindustrial
publica un volumen cada año
con dos ediciones:
Primera: Enero - Junio
Segunda: Julio - Diciembre

Suscripción a la revista e intercambio
de revista comunicarse
e_mail: biotecnologia@unicauca.edu.co
biotecnofaca2009@gmail.com
Inscribir a la pagina
<http://revistabiotecnologia.unicauca.edu.co/>

- VRI - Vicerrectoría de Investigaciones
Universidad del Cauca

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

Rector

JUAN DIEGO CASTRILLON ORREGO

Vicerrector Académico

EDGAR VELASQUEZ RIVERA

Vicerrector Administrativo

YANETH NOGUERA RAMOS

Vicerrector de Investigaciones

ALFONSO RAFAEL BUELVAS GARAY

Vicerrector de Cultura y Bienestar

ZORAIDA RAMIREZ

Secretaria General

LAURA ISMENIA CASTELLANOS VIVAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Decano

JOSÉ FERNANDO GRASS RAMIREZ

Secretaria General

TANIA MARITZA PABÓN RUÍZ

Jefe Departamento Agroindustria

CARLOS ALBERTO GONZÁLES

Jefe Departamento Ciencias Agropecuarias

DIEGO VERGARA COLLAZOS

Coordinador Programa Ingeniería Forestal

ANDRÉS FELIPE CASTRO

Coordinador Programa de Ingeniería Agroindustrial

CARMENZA LILIANA LOPEZ PATIÑO

Coordinador Programa de Ingeniería Agropecuaria

HUGO HERNAN ERAZO

Coordinador Programa de Tecnología Agroindustrial

RAQUEL DE LA CRUZ

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
REVISTA DE BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR AGROPECUARIO Y AGROINDUSTRIAL
NORMAS DE PUBLICACIÓN

La Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial es una publicación arbitrada perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca, acepta trabajos originales producto de investigación en el campo de la ciencia, la ingeniería y la tecnología que tengan un impacto en el sector agrario regional, nacional e internacional. La revista acepta trabajos en: Agroindustria alimentaria y no alimentaria, Ciencias agrícolas y pecuarias, Ciencias Forestales, Energía y Medio Ambiente, Computación Aplicada, Biotecnología, Equipos y Procesos, Administración Industrial, en idiomas español, inglés, y portugués.

Políticas editoriales

Compromiso de tipo formal. Con el envío del trabajo a ser considerado para publicación, los autores aceptan la totalidad de las condiciones estipuladas en las normas.

Compromiso de tipo ético. Con el envío del trabajo, los autores deben establecer un compromiso de tipo ético en cuanto a la originalidad del trabajo sometido a evaluación. En la carta de presentación se debe aceptar este compromiso: *“El autor(es) firmante(s) declara que el artículo presenta resultados originales de una investigación, que no han sido publicados ni están siendo considerados para publicación en otra revista, ajustándose además a las normas éticas internacionales de propiedad intelectual y autoría”*. En la carta se deben incluir los datos personales de cada uno de los autores: nacionalidad, escolaridad, correo electrónico, teléfonos para su ubicación o dirección postal y filiación institucional, o en su defecto, la dirección Web donde pueden ser consultados.

Derechos de Autor. Con el envío de los trabajos, los autores(as) conceden “Derechos de Autor” a la revista, por lo que los trabajos no pueden tener derechos otorgados a terceros, a la fecha de envío del artículo. La concesión de Derechos de Autor significa la autorización para que la revista pueda hacer uso del artículo, o parte de él, con fines de divulgación y difusión de la actividad científica- tecnológica. En ningún caso, dichos derechos afectan la propiedad intelectual que es propia de los(as) autores(as).

Tipos de artículos

Artículos de investigación científica. Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos terminados de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.

Artículo de reporte de caso. Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico. Incluye una revisión sistemática comentada de la literatura sobre casos análogos.

Artículos de reflexión. Documento que presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales. Debe presentar una revisión bibliográfica de por lo menos 30 referencias.

Artículo de revisión (Review). Documento resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de por lo menos 50 referencias.

Artículo corto. Documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren de una pronta difusión. La extensión máxima es de 5 páginas.

Cartas al editor. Posiciones críticas, analíticas o interpretativas sobre los documentos publicados en la revista, que a juicio del Comité editorial constituyen un aporte importante a la discusión del tema por parte de la comunidad científica de referencia.

Editorial. Documento escrito por el editor, un miembro del comité editorial o un investigador invitado sobre orientaciones en el dominio temático de la revista, sobre aportes a los investigadores en cuestiones de presentación y estructura de sus artículos, sobre reflexiones sobre la presentación de documentos escritos, su normatividad, su importancia y otros.

Forma y preparación de manuscritos

Todo documento remitido a **BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR AGROPECUARIO Y AGROINDUSTRIAL** debe cumplir con:

Originalidad: el aporte debe ser totalmente inédito, no publicado en ninguna otra publicación, excepto casos justificados.

Consistencia metodológica: en donde se haga evidente el uso de métodos y técnicas de investigación válidos.

Significación del asunto tal que informe o ilustre situaciones relevantes en el sector Agropecuario y Agroindustrial.

Impacto para un amplio sector de la academia, la investigación y estudiantes.

Avance del campo: en el cual sea claro y evidente el aporte a consideraciones y prácticas de mejora en el campo de investigación Agropecuario y Agroindustrial.

Consideraciones éticas.

Estilo de redacción claro, conciso y ordenado, evitando jergas personales y expresiones locales.

La estructura de los artículos debe ser:

Los **artículos de investigación científica**, de **reporte de caso y cortos**, deben cumplir con la siguiente estructura: la **INTRODUCCIÓN** debe resaltar la importancia de la investigación, presentar la literatura relacionada y entregar antecedentes necesarios para comprender la hipótesis de los autores, terminando con un párrafo que indique claramente los objetivos de la investigación. El **MÉTODO** debe tener suficiente información que permita a otro investigador replicar el ensayo y lograr los mismos resultados, así como la inclusión del diseño experimental, el análisis estadístico y las referencias de los métodos ya publicados. Los **RESULTADOS** se deben presentar en forma clara, apoyados con cuadros y figuras, con el análisis estadístico y los antecedentes de otros investigadores. Las **CONCLUSIONES** deben redactarse de acuerdo con los objetivos de la investigación explicando claramente los principales resultados de la investigación. Las **REFERENCIAS** deben contener todos los documentos consultados.

Los **artículos de reflexión** deben mostrar: a) intención analítica; b) propósito interpretativo; c) posición crítica. La estructura: **RESUMEN, INTRODUCCIÓN, DESARROLLO DEL TEMA, CONCLUSIONES Y REFERENCIAS**.

Los **artículos de revisión** deben tener: **RESUMEN, INTRODUCCIÓN, DESARROLLO DEL TEMA, CONCLUSIONES Y REFERENCIAS**.

Los elementos normativos a seguir en todos los artículos son:

Extensión y formato. La extensión debe ser de mínimo cinco (5) y máximo de once (11) páginas tamaño carta (21,59 cm de ancho y 27,94 cm de alto), escritas con interlineado sencillo y su contenido a doble columna (7,5 cm de ancho de columna) a partir de la introducción, escrito en Arial recta (excepto los nombres científicos) de 11 puntos, márgenes de 3 cm en el borde superior, 2 cm en el inferior y 2,5 cm en las márgenes laterales.

Título del artículo. Debe hacer referencia al contenido de una forma clara y concisa, escrito en Arial recta (excepto los nombres científicos) 11 puntos, mayúscula, negrilla y centrado; no debe exceder 15 palabras: si ello no es posible, deberá incluir un subtítulo luego de dos puntos; inmediatamente después deben ir las traducciones del idioma original.

Información del autor (es). Debajo del título a dos interlíneas, centrada, en mayúscula e incluir primer y segundo nombre si lo tiene, primer y segundo apellido separados por un guión medio. Los autores se nombran de acuerdo con la importancia de su contribución en la investigación o en la preparación del artículo, separados entre sí por comas y enumerados con superíndice. En nota de pie de página (Arial 8 puntos, justificada a ambos márgenes y en la parte inferior de la página) se indicará de cada autor: institución a la cual pertenece, dependencia, grupo de investigación, último título académico, ciudad y país, todos ellos separados por un punto. En otra línea, luego de la palabra **Correspondencia** (en negrilla) y dos puntos, debe aparecer el correo del autor elegido para el envío de correspondencia.

Resumen. Debe ser conciso, escrito en Español, Inglés (**ABSTRACT**) y Portugués (**RESUMO**), en un solo párrafo justificado sin exceder de 200 palabras. Incluirá la justificación, objetivos, metodología, resultados precisos y conclusiones de la investigación haciendo énfasis en los logros alcanzados, así como los límites de la validez y las implicaciones de los resultados. Los títulos deben justificarse al margen izquierdo, en mayúscula y negrilla, iniciando la escritura luego de dos interlíneas.

Palabras clave. Sirven para identificar el artículo en bases de datos internacionales de manera que un potencial usuario pueda llegar en forma efectiva al artículo. Van debajo del resumen, mínimo tres (3) y máximo cinco (5) palabras clave que no deben hacer parte del título del artículo, incluyendo en ellas los nombres científicos en cursiva. El título en mayúscula, negrilla, en Español (**PALABRAS CLAVE**), Inglés (**KEYWORDS**) y Portugués (**PALAVRAS-CHAVE**) seguido de dos puntos. La primera letra de cada palabra en mayúscula, separadas por coma y con punto al final.

Cuadros y figuras. Deberán aparecer dentro del texto y procesarse en el formato original con buen contraste para evitar policromías y facilitar la diagramación, en blanco y negro, escala de grises o tono maté. El título va en la parte superior y no debe superar dos líneas, en Arial recta normal 9, separado por una interlínea y con punto final; debe incluir la palabra Cuadro o Figura seguido del número arábigo consecutivo (en negrilla), un punto y una breve descripción (Ej: **Cuadro 1.** Título descriptivo). Se deben usar líneas horizontales y verticales para separar las entradas del cuadro y cada columna debe tener encabezado (en negrilla, con mayúscula inicial). El tamaño de fuente al interior de un cuadro es arial 9 puntos normal y, en el caso de necesitarse algún pie de cuadro/figura o fuente de consulta, debe estar escrito en Arial 8 puntos normal.

Títulos. Los de segundo nivel se escriben con mayúscula inicial, Arial recta 11 puntos, negrilla y sin punto final, separados del texto por dos interlíneas. Los títulos de tercer nivel se escriben con mayúscula inicial en arial recta 11 puntos y un punto, continuando el texto en el mismo renglón luego de un espacio.

Formulas, expresiones matemáticas y números. Las fórmulas y expresiones matemáticas deben ser escritas dejando dos espacios sobre, debajo y entre cada una de ellas y se debe utilizar el editor de ecuaciones de MS Word. Deben seguir un formato uniforme, justificarse al margen izquierdo y usar la expresión (Ec.1) con números arábigos consecutivos justificada al margen derecho, citándolas en el sitio oportuno. Las ecuaciones de deben insertar en un cuadro de dos columnas (sin bordes) para ajustar su forma más fácilmente. El significado de las variables y sus respectivas unidades deben aparecer luego de que se utilicen por primera vez, para lo cual se sugiere seguir el Sistema Internacional de Unidades (SI). Las cifras decimales se separan con coma.

Conclusiones. Se describen de forma clara y precisa las principales conclusiones del estudio presentado, derivado del análisis de los resultados.

Agradecimientos. Si el autor(es) lo desea (n), se podrá incluir una sección de Agradecimientos, redactada en forma sobria, de no más de 4 líneas, justo después de las Conclusiones.

Referencias. Evitar referencias innecesarias, tesis, informes locales y de poco alcance, y trabajos de congresos (denominada literatura gris), a menos que sea necesario; se debe dar preferencia a publicaciones recientes de los últimos tres años (mínimo el 70%), en revistas científicas de corriente principal que puedan respaldar lo escrito.

Deben citarse en el documento según el orden de aparición y encerradas entre corchetes [1,2], notación que se mantendrá en la sección de referencias. Se debe citas autor y año entre paréntesis redondos, por ejemplo: Villegas (2011) si es un autor, Villegas y Troncoso (2012) sin son dos autores y Villegas *et al.*, (2014) cuando existan más de dos autores. En el listado de referencias se mencionan todos los autores del documento de acuerdo con el formato indicado. Si en el texto se mencionan más de dos referencias al tiempo, se citan como (Ruano *et al.*, 2012; Prado, 2013; Zapata y Torres, 2014). Si los mismos autores tienen más de una referencia en el mismo año, se citan con el nombre del o los autores y con el año seguido de letras en orden correlativo: Prado *et al.* (2004a, 2004b).

En la sección de referencias, se enumeran cronológicamente y se detalla la información de cada una de ellas en el siguiente orden:

Autor (es). Apellido en mayúscula, luego la (s) inicial (es) del nombre (s) seguida (s) de un punto. Se deben citar todos los autores de la referencia separados entre sí por coma, excepto entre los últimos que incluye la conjunción en el idioma original (y, and, e).

VIDAL-CASAS, F.A.

VIDAL, F.A. y YAYA, A.

VIDAL, F.A., YAYA, A. and SOTO, E.

Título. Luego de dos espacios, la primera letra se escribe con mayúscula, así como los nombres propios, de instituciones o en los casos que el idioma lo establezca. Los nombres científicos en cursiva.

Subtítulo. Luego de dos puntos y un espacio.

Nombre de la publicación. Luego de punto y un espacio se indica el nombre completo de la publicación, seguido de coma.

Edición. Luego de un espacio se escribe con números arábigos seguido de la abreviatura ed. para el caso de libros. En el caso de revistas se escribe el volumen seguido del número entre paréntesis, ejemplo 4(5).

Pie de imprenta. Luego de dos espacios siguen el lugar de la publicación (seguido de dos puntos): nombre del editor o de la imprenta sino existe el editor (seguido de coma), año de publicación (seguido de coma) y en números arábigos incluir el número total de páginas (89 p.) o las páginas consultadas (p. 34-35).

Serie o colección. Cuando el documento forma parte de una serie o colección la mención se coloca entre paréntesis, separada del título por un punto y dos espacios así: número del libro, folleto o informe

dentro de la serie, en números arábigos precedido por la abreviatura no., escrita con minúsculas y separada del título por un espacio, punto y coma (;) y un espacio.

Artículo de revista

SMITH, J.S., SORIA, R. and WEBBER, A. Chaos in a model of forced quasi-geostrophic flow over topography: an application of Melnikov's method. *Food Control*, 2 (3), 1991, p. 511-547.

Libro

BILLAS, G.L. y GOSPS, J. Física cuántica. 4 ed. Madrid (España): Acribia, 1990, 450 p.

Capítulo de libro

LEWIS, P. and STEVENS, J.G. En: Time Series Prediction. Modeling time series by using Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS). 1 ed. Madrid (España): Iberoamericana, 1994, p. 297-318.

Memoria de evento

ÁLZATE, N., BOTERO, T. y CORREA, D. El arte de la escritura de artículos. Memorias XIX Congreso Latinoamericano de Ponencias Científicas. Córdoba (Argentina): Tomo II, 2000, p. 219-228.

Normas técnicas

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (AOAC). ASTM D1434-82: Standard test method for determining gas permeability characteristics of plastic film and sheeting. Pennsylvania (USA): 2009, 13 p.

Reporte de un organismo o Gobierno

COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. La situación de la provisión de alimentos en un mundo moderno. Bogotá (Colombia): 1997, 57 p.

Tesis

JACOBS J. Regulación of life history strategies within individuals in predictable and unpredictable environments [Ph.D. Thesis Social Communication]. Seattle (United States): University of Washington, Faculty of Humanities, 1996, 345 p.

Patentes

MOREIRA, G. e. MATOS, T. Embalagem biodegradável de amido de inhame. US 6.444.567, Clases 343, 356. Sao Paulo (Brasil): 2001.

Artículo revista electrónica

JUAREZ, T.R. Mejoramiento de las condiciones de operación en plantas industriales [online]. *Revista Agrip*, ISSN: 0655-6782, 37(3), 2003. Disponible: <http://www.ciencia.mx/aceites.htm>. [citado 5 de Mayo de 2004].

Monografías electrónicas

MACIAS, J.C., SANTOS, J.M. and WILD, E. Handbook of Nanomaterials [online]. 1996. Disponible: <http://nano.hb/handbook/kewat.com/> [citado 4 de abril de 2004].

Otras referencia electrónicas

NOAA-CIRES. Climate Diagnostics Center. Advancing Understanding and Predictions of Climate Variability [online]. 2010. Disponible: <http://www.cdc.noaa.gov> [citado 8 de Agosto de 1998].

ASHWELL, M. ILSI Europe Concise Series. Concepts of functional foods [online]. 2002. Disponible:http://www.ilsi.org/Europe/Publications/C2002Con_Food.pdf. [citado 13 mayo de 2009].

Publicación artículos

Costo de publicación. Cada artículo publicado tiene un costo de \$ 150.000: el comprobante del pago debe ser enviado por correo electrónico (biotecnofaca@unicauca.edu.co o biotecnofaca2009@gmail.com.) una vez el artículo sea aprobado para publicación, como requisito para proceder a realizar el proceso indicado. Cuenta de ahorros del Banco Popular No. 290-72027-5 o Cuenta de Ahorros del Banco de Bogotá No.520-36672-5.

Proceso de Evaluación y Edición. El proceso de aceptación y evaluación de los trabajos enviados inicia con la revisión por parte del Comité Editorial que se reserva el derecho de rechazar un artículo (que no cumpla las normas de publicación, citas y referencias adecuadas y pertinentes) o sugerir modificaciones con el objeto de lograr una mejor presentación e impacto en cuanto a título, resumen, palabras claves, figuras, cuadros y referencias. Si es aceptado el artículo, proseguirá con el proceso de asignación de árbitros quienes emitirán sus conceptos y sugerirán las correcciones al documento que nuevamente se remite con todas las consideraciones. La revista se reserva el derecho de no responder cuando no se cumplan las Normas establecidas para el envío de los trabajos.

No se permitirá la evaluación simultánea de mas de dos artículos por cada autor proponente.

Envío de manuscritos. El texto completo de los trabajos, incluyendo figuras y cuadros debe enviarse en formato Word a: Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias sede Las Guacas, Popayán, Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Ph.D. Héctor Samuel Villada Castillo, por correo electrónico. Los autores deben enviar la Carta de Presentación (ver formatos) firmada, que incluye un compromiso ético relacionado con la autoría cuando por algún motivo esto sea imposible, basta con un correo electrónico del autor, en el que confirme su participación tanto en el artículo original como en el artículo corregido según las observaciones de los pares evaluadores.

Acuso de recibo. Al recibo de los trabajos se enviará un acuso de recibo por correo electrónico. Una vez aceptado el trabajo para publicación se comunicará a los autores y una vez publicado en nuestros sitios en Internet se enviará una versión física.

Evaluación. Los trabajos que cumplan con las normas serán evaluados por árbitros especializados quienes determinarán la calidad del artículo en cuanto a su atractivo científico y tecnológico, la rigurosidad

del tratamiento del tema, el ajuste a las normas de la revista y su contribución al desarrollo de la ciencia, la ingeniería y la tecnología.

Comunicación de los autores. Se mantendrá contacto permanente con el autor indicado para envío de correspondencia para intercambio de información. Se solicita a los autores dar un tiempo prudente para realizar en buena forma el proceso de evaluación que puede tomar entre 6 y 12 meses, dependiendo del cumplimiento de las normas y la agilidad de los árbitros.

Envío de la versión corregida. Los autores cuyos trabajos hayan sido aceptados deberán hacer las correcciones solicitadas por los evaluadores y por el Editor, cuando les fue aceptado el manuscrito original: si transcurren tres meses sin respuesta de los autores, el editor a discreción tratará el manuscrito como caducado y debe ser presentado nuevamente siguiendo el proceso indicado. Junto con la versión corregida, los autores deberán enviar una carta explicando los cambios realizados con máximo detalle posible, de manera de facilitar la revisión final y no retrasar la aceptación y publicación. Si algunas de las sugerencias o cambios pedidos por los evaluadores no son atendibles se deberá explicar los motivos en forma clara y detallada.

Suscripción

Instrucciones para Suscribirse a la Revista (2 ediciones por año):

1. Con el número de cédula, solicitar a la dirección de la revista la generación del recibo según el concepto deseado. A vuelta de correo, se remitirá el formato para la cancelación respectiva y posterior devolución escaneada por vía electrónica.
2. Consignar \$ 35.000 por la suscripción anual o \$ 20.000 por cada edición, en efectivo en la cuenta No. 520-366725 del Banco de Bogotá a nombre de la Universidad del Cauca.
3. Descargar Cupón de Suscripción

Contenido

- 11 **Artículos de Investigación Científica y Tecnológica**
- 11 **VARIABLES BIOFÍSICAS DE DOCE SISTEMAS AGROSILVOPASTORILES EN LA MESETA DE POPAYÁN - CAUCA**
Sandra Morales-Velasco, Nelson Jose Vivas-Quila, Vanesa Gomez-Medina
- 22 **MODELADO DE LA CINÉTICA DE SECADO DE MANGO PRE-TRATADAS CON DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y MICROONDAS**
Maribel García-Paternina, Armando Alvis-Bermudez, Carlos García-Mogollón
- 30 **EVALUACIÓN DE DIFERENTES DRENAJES EN TANQUES CIRCULARES PARA CULTIVO DE TRUCHA EN SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN**
Roberto García-Criollo, Iván Andrés Sánchez-Ortiz
- 40 **EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE MELAZA CON CEPAS NATIVAS *Saccharomyces cerevisiae***
Francisco Emilio Argote V., Raúl Alberto Cuervo M., Esteban Osorio C., Johannes Delgado-Ospina., Hector Samuel Villada
- 49 **EFFECTO DE LA ADICIÓN DE CEPAS PROBIÓTICAS SOBRE METABOLITOS SANGUÍNEOS EN CERDOS EN CRECIMIENTO**
Santiago Londoño-Pérez, Jaime Parra-Suescún
- 57 **CRECIMIENTO DE *L. plantarum* Y EFECTO SOBRE *E. coli*, *S. typhimurium*, *C. perfringens*, Y *S. aureus***
Henry Jurado-Gómez, Verónica Jarrín-Jarrín, John Parreño-Salas
- 67 **CAMBIOS FISIOLÓGICOS, TEXTURALES Y FISICOQUÍMICOS DE DOS VARIETADES DE CHONTADURO (*Bactris gasipaes*) EN POSCOSECHA**
Jhon Alexander Daza, José Luis Rodríguez, Silvio Andrés Mosquera
- 76 **APROVECHAMIENTO DE PULPA Y CÁSCARA DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca spp*) PARA LA OBTENCIÓN DE MALTODEXTRINA**
Diana Victoria Melo-Sabogal, Yennifer Torres-Grisales, Johanna Andrea Serna-Jiménez, Laura Sofía Torres-Valenzuela
- 86 **HIDRÓLISIS ENDO-ENZIMÁTICA Y PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DEL BANANO DE RECHAZO**
Carlos A. Guevara-Bravo, Héctor A. Arenas, Carlos A. Peláez-Jaramillo
- 94 **AGROBIODIVERSIDAD ÚTIL EN ALIMENTACIÓN Y EN MEDICINA TRADICIONAL EN DOS MUNICIPIOS DEL CAUCA**
Consuelo Montes-Rojas, Juan Pablo Paz-Concha
- 104 **EFFECTO DEL PROCESAMIENTO TÉRMICO SOBRE EL COLOR SUPERFICIAL DEL PIMENTÓN ROJO (*Capsicum annum*) VARIEDAD "NATALY"**
Jader Martínez- Girón , Luis Eduardo Ordóñez- Santos
- 114 **OPTIMIZACIÓN DE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DE PROTEÍNAS PRESENTES EN SEMILLAS DE GUANDUL (*Cajanus cajan*)**
Edier Gaviria-Acosta, Ricardo Benítez-Benítez, Luis Lenis², José Luis Hoyos-Concha
- 123 **Artículo Corto**
- 123 **POLVO DE LA SEMILLA *Cassia fistula* COMO COAGULANTE NATURAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA**
Luis Guzmán C., Arnulfo Antonio Taron D., Antonio Núñez M.

130 **Artículo Estudio de Caso**

130 **CARACTERIZACIÓN EN LA CADENA INFORMAL DE LA LECHE CRUDA EN EL MUNICIPIO DE POPAYÁN**
Ruth Mercedes Meneses, Diana Marcela Estrada, Carlos Andrés Chantré, Fredy Javier López M

140 **Artículo de revisión**

140 **ALIMENTOS FUNCIONALES: IMPACTO Y RETOS PARA EL DESARROLLO Y BIENESTAR DE LA SOCIEDAD COLOMBIANA**
Lorenzo Fuentes-Berrio, Diofanor Acevedo-Correa, Victor Manuel Gelvez- Ordoñez.

Editorial

La Facultad de Ciencias Agrarias cumplió 20 años de creada el pasado mes de noviembre, durante este tiempo se han emprendido y consolidado procesos académicos, investigativos y de proyección social, que han aportado de manera significativa al desarrollo rural de esta región del país.

La revista Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial ha sido una ventana para evidenciar las dinámicas investigativas de la Facultad más joven de la Universidad del Cauca. Hoy la revista cumple 12 años de publicarse de manera ininterrumpida y cientos de autores han escrito sobre diversidad de temas vinculados con el sector agrario.

En la historia de esta revista se debe destacar la visión y el entusiasmo que tuvo nuestro apreciado compañero Jorge Carrera. El “loco” como lo llamábamos con cariño, llegó un día con la idea de tener una revista en la Facultad, solicitó artículos a los profesores y unas semanas después apareció con el primer número debajo de su brazo. Este carisma le permitió además sembrar la semilla investigativa entre profesores y estudiantes de nuestra Facultad, inclusive adecuó un salón para hacer realidad sus experimentos de biotecnología. Aunque se nos fue muy pronto de esta vida, nos dejó como legado que detrás de un sueño, la pasión es el principal motor para alcanzarlo.

El proceso iniciado en la revista por el profesor Carrera ha sido continuado gracias al apoyo permanente de los profesores Silvio Andrés Mosquera, Héctor Samuel Villada, Reynaldo Velasco, Sandra Morales y Nelson Vivas. Hoy la Revista Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial es la única indexada en A en toda nuestra Universidad; lo anterior evidencia la magnitud y la constancia en este proceso.

Hoy las dinámicas investigativas en nuestra Facultad alcanzan su esplendor, en ella se concentran la mayor parte de los proyectos financiados por el Sistema General de Regalías SGR de la Universidad y el Departamento, además somos la única Facultad que cuenta con patentes en los 188 años de nuestra institución.

Los 20 años de la Facultad evidencian que hemos avanzado, pero también nos deja múltiples retos para emprender en el futuro, deberemos avanzar hacia la acreditación de alta calidad de todos nuestros programas, la consolidación de los posgrados, el fortalecimiento de la proyección social a través del recientemente Consultorio Agrario y las nuevas dinámicas que nos demande la Institución y el entorno rural.

En este número 23 de la Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial se publican 15 artículos, los temas que se abordan son los siguientes:

La importancia de aprovechar los subproductos agropecuarios y agroindustriales resulta determinante para reducir los impactos ambientales e incrementar los índices de competitividad de la cadena agroindustrial. En esta edición encontramos dos trabajos de investigación relacionados con esta temática, el primero de ellos relacionado con el uso de la pulpa y la cáscara del plátano para la obtención de maltodextrinas, mediante una vía de hidrólisis enzimática que se complementa con un secado por atomización. La segunda alternativa se relaciona con la obtención de etanol, proteína unicelular, biogás y compost, a partir de banano de rechazo, en este trabajo el subproducto se somete a hidrólisis para degradar los polisacáridos y facilitar la fermentación, en el proceso se obtienen además vinazas que se usan para producir biogás, levaduras y compost.

El adecuado manejo poscosecha es una alternativa valiosa de agregación de valor, facilita la vinculación de la producción a los circuitos comerciales y permite reducir las pérdidas que afectan la competitividad de la cadena y generan efectos ambientales negativos, al tiempo que incrementa las utilidades para los productores. En este sentido se destaca el trabajo de investigación que se realiza para determinar los cambios físico químicos, fisiológicos y de textura que se presentan en dos variedades de chontaduro durante su poscosecha. También se presenta en este número un trabajo sobre el modelado de la cinética de secado de mango, en este ejercicio se conjuga la deshidratación osmótica y el uso del microondas, para obtener las mejores características físico químicas y organolépticas del producto.

Respecto al tema de posproducción, se destaca el análisis de la cadena informal de leche cruda en la ciudad de Popayán, en ella se identifican las malas condiciones higiénicas del producto, su efecto en la vida útil y los derivados lácteos que se elaboran con ella, y especialmente la necesidad de emprender programas de capacitación para mejorar su calidad y garantizar su inocuidad en el consumidor.

Otro tema común en este número se relaciona con los alimentos funcionales, inicialmente Fuentes, Acevedo y Gelvez resaltan su importancia para la nutrición y la salud humana, así como la necesidad de contar con normas e instituciones que reglamenten y vigilen este tipo de productos, los cuales tienen una demanda creciente en el mercado. Posteriormente Londoño y Parra destacan la adición de cepas probióticas sobre el metabolismo sanguíneo en los cerdos en crecimiento, destacando esta alternativa para reducir las diarreas y otros tipos de trastornos digestivos que resultan críticos durante el destete y que tradicionalmente han sido tratados con antibióticos promotores de crecimiento APC, los cuales tienen efectos residuales. Finalmente Jurado, Jaurín y Parreño estudian la características probióticas del *L. plantarum* al someter su efecto en microorganismos patógenos como el *E. Coli*, *Salmonella*, *Clostridium* y el *Staphylococcus*; así como a la acción digestiva de la bilis y sales biliares.

Respecto al tema hídrico, se identifican dos trabajos en este volumen, el primero sobre la evaluación de diferentes mecanismos para la captura y remoción de sólidos en tanques de cultivo de peses, y su importancia para determinar el tratamiento de estas aguas residuales, así como su posible reaprovechamiento. La segunda investigación analiza la eficiencia de coagulantes naturales para el tratamiento de agua cruda.

Otros artículos en esta revista nos informan sobre la incidencia de las variables biofísicas en la producción silvo-pastoril en la meseta de Popayán, este trabajo es de gran relevancia por la incidencia de la nutrición del ganado de carne y leche en los costos de producción y en consecuencia en la competitividad de estas cadenas.

Aunque en la mayor parte de las investigaciones de esta edición emplean metodologías cuantitativas, se destaca el uso de Instrumentos de Diagnóstico Participativo en el trabajo de Montes y Paz para determinar la incidencia que tiene la agrodiversidad en la alimentación y la medicina tradicional en 2 municipios del Cauca.

José Fernando Grass Ramírez

Artículos de Investigación Científica y Tecnológica

VARIABLES BIOFÍSICAS DE DOCE SISTEMAS AGROSILVOPASTORILES EN LA MESETA DE POPAYÁN - CAUCA

VARIABLE BIOPHYSICS OF TWELVE SYSTEMS AGROSILVOPASTORILES IN THE PLATEAU OF POPAYÁN – CAUCA

VARIÁVEIS BIOFÍSICAS DE DOZE SISTEMAS AGROSILVOPASTORILES NO PLANALTO DE POPAYÁN - CAUCA

SANDRA MORALES-VELASCO¹, NELSON JOSE VIVAS-QUILA², VANESA GOMEZ-MEDINA³

RESUMEN

En doce sistemas agrosilvopastoriles en etapa de establecimiento, se midieron las variables biofísicas (Temperatura, humedad, Radiación, flora asociada y suelo), con el fin de determinar las variables condicionantes para la producción silvopastoril en la meseta de Popayán. Para tal fin se realizaron correlaciones de Pearson, análisis de componentes principales y dendrograma de agrupamiento. Se halló que las variables microclimáticas son acordes a la adaptación de los forrajes cultivados, se identificaron 48 especies de flora asociada importantes en la alimentación animal y la protección de los recursos naturales. Al realizar el análisis de componentes principales se encontró que las variables más influyentes fueron la materia orgánica seguida de la radiación solar y la infiltración. El análisis de agrupamiento encontró tres grupos, el grupo A. conformado por los sistemas caracterizados por tener una radiación solar alta y un contenido de materia orgánica medio. El grupo B. tienen una radiación solar media y un contenido de materia orgánica bajo y el grupo C. muestra una baja radiación y alto contenido de materia orgánica.

Recibido para evaluación: 22 de julio de 2015. **Aprobado para publicación:** 5 de octubre de 2015

- 1 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigación Nutrición Agropecuaria. Profesora Titular, Magister en Recursos Hidrobiológicos, Ecóloga. Popayán, Colombia
- 2 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigación Nutrición Agropecuaria. Profesor Titular, Doctor en Ciencias Agropecuarias, Zootecnista. Popayán, Colombia
- 3 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigación Nutrición Agropecuaria, Ingeniera Agropecuaria. Popayán, Colombia

Correspondencia: samorales@unicauca.edu.co

ABSTRACT

In twelve systems agrosilvopastoriles in stage of establishment, there measured up the variable biophysics (Temperature, dampness, Radiation, associate flora and I occur), in order to determine the determining variables for the production silvopastoril in Popayán's plateau. For such an end there were realized Pearson's correlations, analysis of principal components and dendrograma of grouping. One found that the microclimatic variables are identical to the adjustment of the cultivated forages, there were identified 48 important species of associate flora in the animal feed and the protection of the natural resources. On having realized the analysis of principal components one thought that the most influential variables were the organic matter followed by the solar radiation and the infiltration. The analysis of grouping found three groups, the group A. shaped by the systems characterized for having a solar high radiation and a content of organic matter I happen. The group B. they have a solar average radiation and a content of organic matter under and the group C. shows a low radiation and high place contained of organic matter.

RESUMO

Em doze agrosilvopastoriles de sistemas em fase de estabelecimento, as variáveis biofísicas (Temperatura, umidade, Radiação, flora associada e eu são acostumadas) estavam medidas, com o propósito de determinar as variáveis de condicionamento para o silvopastoril de produção no planalto de Popayán. Para tal um fim eles foram levados fora correlações de Pearson, análise de componentes principais e dendrograma de agrupamento. Ele/ela era que o microclimáticas variável é de acordo à adaptação das forragens cultas, foram identificadas 48 espécies importantes de flora associada na alimentação de animal e a proteção dos recursos naturais. Ao levar a cabo a análise de componentes principais foi achado que as variáveis mais influentes eram o problema orgânico seguido pela radiação solar e a infiltração. A análise de agrupamento achou três grupos, o grupo A. conformado pelos sistemas caracterizou para ter uma radiação alta solar e um conteúdo meio de assunto orgânico. O grupo B. eles têm uma radiação meio solar e um conteúdo de assunto orgânico abaixo e o grupo C. mostra uma baixa radiação e conteúdo alto de assunto orgânico.

INTRODUCCIÓN

En el Departamento del Cauca la ganadería se basa en una producción doble propósito, con una base genética en proceso de mejoramiento y adaptada a las ecóregiones, pastos potencialmente mejorables donde hay infraestructura ganadera adecuada para el manejo en finca [1].

Estudios realizados evidencian que la ganadería en la meseta de Popayán son de tendencia extensiva, basada en pasturas degradadas sin manejo y mejoramiento de la pradera, con poca utilización de árboles como complemento alimenticio [2], situación que ha llevado a evaluar diferentes estra-

PALABRAS CLAVE:

Materia Orgánica, Producción, Agrupamiento.

KEYWORDS:

Organic matter, Production, Grouping.

PALAVRAS CHAVES:

A matéria orgânica, Produção, Agrupamento.

tegrías silvopastoriles para ser incluida en los diseños agropecuarios, entre las que se destaca la adaptabilidad de la *Leucena diversifolia* en esta región [2, 3], resultados usados en la instalación de 250 ha por parte del Comité de Ganaderos de este departamento y la Corporación Regional del Cauca.

La instalación estratégica de plantas arbóreas y arbustivas en las áreas de pastoreo se presenta como una alternativa tecnológica que contribuye a mejorar la competitividad de los productos del sector ganadero y a disminuir el impacto de la ganadería sobre los ecosistemas en que se desarrolla. La combinación de gramíneas con plantas forrajeras de hábito arbustivo y arbóreo permite aumentar la oferta de forraje, en particular durante el periodo seco, y mejorar la calidad de la dieta a lo largo del año. Así mismo, la incorporación de arbóreas y arbustivas en las praderas tiene efectos positivos sobre la productividad total de la pradera, ya que la diversificación de la composición de la cobertura vegetal, estimula la conservación y el reciclaje de nutrientes [3].

En la presente investigación se documenta la caracterización biofísica de doce sistemas agrosilvopastoriles en su etapa de establecimiento.

MÉTODO

Localización

Se seleccionaron doce fincas ubicadas en la meseta de Popayán, que se localiza en el centro del Departamento del Cauca, entre los 1600 y 1900 msnm con un relieve ondulado donde alternan pendientes entre el 10 al 30%. Esta área corresponde a la zona de vida de Bosque húmedo Montano Bajo (Bh-MB).

Según los registros tomados en la estación meteorológica del aeropuerto Guillermo León Valencia (Popayán), la zona reporta una precipitación promedio anual de 2132 mm y una temperatura promedio de 19°C, según Caldas y Lang se considera clima templado húmedo (TH) [4]. En el cuadro 1 se anotan las doce fincas.

Los árboles frutales (*Persea americana*, *Citrus sp*) fueron sembrados como división interna de los potreros a una distancia de 10 m y entre estos *Leucaena diversifolia*, *Acacia de currens* a 2 m.

Cuadro 1. Arreglo agrosilvopastoriles de los 12 sistemas.

Finca	Gramínea
Villa Luisa	<i>Brachiaria brizantha</i> .
La Sultana	<i>Brachiaria brizantha</i> - <i>Brachiaria híbrido (Mulato)</i>
El Sena	<i>Cynodon lemfluensis</i> (Estrella africana)
La Argentina	<i>Brachiaria brizantha</i> - <i>Brachiaria híbrido (Mulato)</i>
Santa Ana	<i>Brachiaria decumbens</i>
El Retoño	<i>Brachiaria brizantha</i>
Palacé	<i>Brachiaria decumbens</i>
Villa Alina	<i>Brachiaria brizantha</i>
La Esperanza	<i>Brachiaria brizantha</i>
Palenque	<i>Brachiaria de cumbens</i>
El Cariñito	<i>Brachiaria brizantha</i>
La Rejoya	<i>Brachiaria de cumbens</i>

Variables microclimáticas

Se tomaron registros durante épocas de sequía y de lluvia. La radiación solar se midió empleando el luxómetro digital desde las 8 am hasta las 2 pm para tener un mediano recorrido por los potreros, debido a que los arbustos en el momento de las mediciones presentaban un dosel pequeño. La humedad relativa y la temperatura se registraron mediante el uso del higrotermómetro durante tres veces en época de lluvia y tres veces en época seca con tres repeticiones y una frecuencia semanal.

Flora asociada a los sistemas. Para la colección en campo del material vegetal se llevaron bolsas papel de 30 x 40 cm, cada planta colectada en cada una de las fincas se empacó debidamente en la bolsa de papel con su respectivo rotulo, para posteriormente llevarlas a un sistema de secado. Para evitar el deterioro de las muestras vegetales se les aplicó alcohol diluido al 90%, para su posterior identificación en el herbario de la Universidad del Cauca.

Suelo. En cuanto a las variables relacionadas con el suelo se tuvieron en cuenta las siguientes características.

Químicas. Para este análisis (pH, Materia Orgánica, P-Brayll, K, Ca, Mg, Al, Na, Al-Sat, S, Arena, Limo, Arcilla, Textura y Estructura) se tomaron tres muestras al azar a 20 cm de profundidad en cada uno de los arreglos silvopastoriles para ser enviadas al CIAT

(Centro de Investigación de Agricultura Tropical) donde se realizó el análisis correspondiente.

Respiración. Se hicieron mediciones siguiendo la metodología [5], para lo cual se puso en el suelo un recipiente con 30 mL de NaOH (0,2N) cubierto con una tapa de plástico más grande y sellándose con tierra para evitar el ingreso aire. Se dejó por un periodo de veinticuatro horas, luego se llevó al laboratorio donde se le adicionaron 2 mL de BaCl₂ para precipitar el CO₂, se adicionaron dos gotas de fenolftaleína para ser titulado con HCl de igual concentración.

Se calculó la cantidad de C – CO₂ mediante la siguiente fórmula [5]:

$$\frac{(mg\ C - [CO]_{-2}) / (\text{tiempo por área})}{(ml\ HCl_{muestra} - ml\ HCl_{testigo})(N)E / (\text{tiempo por área})} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

HCl muestra = mL de HCl utilizados para titular la muestra.

HCl testigo = promedio de mL de HCl utilizados para titular los testigos.

N = normalidad de NaOH y HCl.

E = peso miliequivalente de Carbono = 6 mg/meq.

A = área de la boca del recipiente de plástico.

Características físicas del suelo. Se realizó una calicata con una profundidad que varió de acuerdo al tipo de suelo que se encontró en el sistema, donde se realizaron las siguientes mediciones.

Infiltración. Se midió clavando el anillo estándar en PVC de 6 in en el suelo, afirmándose alrededor de los bordes internos, se vertieron los 444 mL de agua y se registró el tiempo que demora en penetrar en el suelo [6].

Colonización de raíces por micorrizas. Se realizó el montaje de las raíces y posterior cuantificación de micorrizas en el laboratorio para cada uno de los sistemas agrosilvopastoriles. La colonización mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Colonización} = \frac{\text{Número de campos colonizados}}{\text{Número de campos totales observados}} \times 100 \quad (\text{Ec.2})$$

Se estimó el grado de colonización total; usando las siguientes categorías [6]:

Colonización baja (0 – 20%)

Colonización media (20 – 50%)

Colonización alta (+ 50%)

Análisis de Resultados

Se realizaron correlaciones Bivariadas de Pearson entre todas las variables analizadas con el fin de observar la relación entre las mismas, para lo cual se usó el programa SPSS 19.0. Se hizo un análisis de componentes principales para determinar las variables más influyentes en los sistemas agroforestales y un análisis de agrupamiento; usando el programa estadístico PAST.

RESULTADOS

Variables microclimáticas

Temperatura. Los valores variaron entre 16,5 y 24,6°C, correspondiendo a las características de la meseta de Popayán, la similaridad entre los registros obedece a que los sistemas están en estado de establecimiento y no se evidencian variaciones entre las fincas muestreadas y los promedios de la región [5].

Humedad relativa. Los registros oscilaron entre 55,33% al 89%, donde los mayores valores fueron en sistemas donde hubo mayor riqueza específicas de especies vegetales para las Fincas Villa Alina (14 sp), La Rejoya (13 sp), y El Retoño (15 sp), dado a que la cobertura arbórea puede ejercer una considerable influencia moderando la temperatura del aire y del suelo y aumentando la humedad relativa [9,10]. Ambos efectos son generalmente benéficos para el crecimiento de los cultivos y por ello son utilizados en muchos sistemas agroforestales [11] y la magnitud de estos beneficios depende de la cantidad de árboles, cuanto más se parezca el sistema a un monte cerrado, por su estructura de cobertura y por el espacio entre los árboles, mayores efectos benéficos tendrá sobre la humedad y la temperatura [10,11].

Radiación solar. Los valores se muestran en un rango de 314,84 lux a 736.00 lux. La alta radiación se presentó en las fincas la sultana y el SENA debido a la exposición directa de los rayos solares lo cual contrasta con el sistema la Rejoya, debido a la flora arbórea.

Flora asociada. En los sistemas se registraron 47 especies, de las cuales 14 tienen hábito herbáceo, 10 arbustivo y 27 ároboreas, las cuales están distribuidas en los linderos de los potreros (cuadro 2).

Las especies frutales como guamo (*Inga sp*), guayabilla (*Psidium sp*) y limón (*Citrus sp*) son importantes para la alimentación humana y de animales, favoreciendo la fauna silvestre, también se hallaron especies maderables como el guayacán Manizales

(*Lafoensia speciosa*), flor de mayo (*Tibouchina lepidota*), nogal cafetero (*Cordia alliodora*), cucharo (*Clusia discolor*), roble (*Quercus humboldtii*), entre otros, como especies importantes para la alimentación del ganado, es el caso de la leucaena (*Leucaena diversifolia*) y el nacedero (*Trichantera gigantea*) que igualmente es importante por su potencial de nacimiento de agua, usada como protectora del suelo y en zonas de restauración, usadas en sistemas agroforestales de clima medio y frío del departamento del Cauca [12]. Además se encontraron especies herbáceas muy invasivas como el helecho marranero (*Pteridium cadatum* (L.) Kuhn), también se hallaron coberturas nobles y protectoras del suelo contra la erosión como: *Commelina virginica* L., *Tripograndia cumanensis* (Kunth) y *Oxalis latifolia* H.B.K

Cuadro 2. Flora Asociada en los Sistemas Agrosilvopastoriles.

Especie	Fincas											
	VILLA ALINA	VILLA LUISA	LA SULTANA	LA ARGENTINA	SANTA ANA	EL RETOÑO	PALENQUE	LA ESPERANZA	LA REJOYA	PALACE	EL CARINITO	EL SENA
NOMBRE CIENTÍFICO												
<i>Trichantera gigantea</i>	X											
<i>Myrcia sp</i>	X							X			X	
<i>Lafoensia speciosa</i>	X						X					
<i>Mimosa quitensis</i>	X					X						
<i>Senna spectabilis</i>	X											
<i>Tibouchina lepidota</i>	X											
<i>Psidium sp</i>	X		X	X			X			X	X	
<i>Cordia alliodora</i>				X		X						
<i>Inga sp</i>						X	X		X		X	
<i>Clusia discolor</i>		X		X			X	X			X	
<i>Quercus humboldtii</i>		X						X			X	
<i>Euphorbia laurifolia</i>						X					X	
<i>Citrus sp</i>											X	
<i>Ochroma pyramidale</i>											X	
<i>Nectandra sp</i>											X	
<i>Citrus mandarina</i>											X	
<i>Eugenia malaccensis</i>			X	X								
<i>Cupresus sp</i>						X						
<i>Euphorbia cotinifolia</i>						X						
<i>Eriobotrya japónica</i>									X			
<i>Pteridium cadatum</i> (L.) Kuhn		X						X				
<i>Commelina diffusa</i> Burm. f .	X	X		X							X	X
<i>Commelina virginica</i> L					X		X			X	X	
<i>Tripograndia cumanensis</i> (Kunth)	X	X			X					X		

Especie	Fincas											
<i>Cyperus diffusus</i> Vahl							X	X	X			
<i>Cyperus ferax</i> (L.) Rich				X		X	X		X	X		
<i>Cyperus flavus</i> (Vahl) Nees		X		X		X		X				
<i>Dichromena ciliata</i> Vahl				X			X			X	X	X
<i>Kyllinga brevifolia</i> Rottob	X				X							X
<i>Cenchrus echinatus</i>												
<i>Hypoxix decumbens</i> L		X										
<i>Ageratum conizides</i> L					X				X			
<i>Baccharis trinervis</i> (Lam) Pers	X											X
<i>Bidens pilosa</i> L			X			X		X				
<i>Chaptalia nutans</i> (L.) Polak												X
<i>Emilia sonchifolia</i> (L.) DC.	X	X			X			X				
<i>Kohleria spicata</i> (H. B. K.) Oerst			X						X			
<i>Crotalaria micans</i>					X					X		
<i>Sida cuta</i> Burm f.				X			X	X	X			
<i>Clidemia hirta</i> (L) D. Don.	X		X			X						
<i>Oxalis corniculata</i> L			X		X							
<i>Oxalis latifolia</i> H. B. K.												
<i>Portulaca oleracea</i> L.	X			X					X			
<i>Mimosa pudica</i>								X				
<i>Rubus Idaeus</i>			X			X						
<i>Verbena officinalis</i> L.						X						
<i>Ricinus comunis</i>						X						
Total	14	8	7	10	7	13	9	10	8	6	15	3

Características del suelo. Los resultados se encuentran los requerimientos nutricionales para la siembra de pastos y forrajes en cada uno de los sistemas [13], dejando ver que la cantidad de los elementos presentes en el suelo no representa una limitante para el buen desarrollo de las plantas previamente establecidas en cada una de las fincas.

Análisis químico. En el cuadro 3, se observan las características físicas química de los sistemas.

Es de anotar que en el análisis de Pearson ($0,01 \leq 0,05$) mostró correlaciones significativas (97%) entre el magnesio, el calcio, el fósforo y el potasio; dado a que el magnesio (Mg) es el elemento principal de la molécula de clorofila, favorece la absorción de fosforo participando como activador enzimático junto con el calcio y el potasio. La asimilación del magnesio está influenciada por la concentración de cationes como calcio y potasio, relaciones que contribuyen a un adecuado balance del suelo para brindar un óptimo equilibrio nutricional a las plantas y por consiguiente mejores producciones [14].

La relación encontrada entre la respiración y el potasio (K) ($0,00 \leq 0,05$; significancia 65%) se puede explicar al rol en la activación de enzimas, que actúan en diversos procesos metabólicos tales como fotosíntesis, síntesis de proteínas y carbohidratos, incidiendo en el balance de agua y en el crecimiento meristemático, que favorecen el crecimiento vegetativo, la fructificación, la maduración y la calidad de los frutos [14].

Respiración del suelo. El mayor registro fue de $162,5 \text{Ug(C-CO}_2\text{)}^* \text{h}^* \text{m}^2$ para la finca La Rejoja y el menor de $47 \text{Ug(C-CO}_2\text{)}^* \text{h}^* \text{m}^2$ en La Esperanza, aunque no se evidenció una correlación significativa ($0,15 \geq 0,05$; significancia 53%), se puede explicar con los contenidos de materia orgánica en el suelo de este lugar ($156,23 \text{ g/kg}$) la cual se relaciona con la actividad biológica [6].

Colonización de micorrizas. En los sistemas evaluados la colonización por hongos micorrizicos fue alta con valores por encima del 70% [6], donde la Finca la Sultana presento un 83% y Villa Luisa con 74,6 %. (Figura 1).

Cuadro 3. Análisis fisicoquímico de suelos de los 12 sistemas agrosilvopastoriles.

Descripción	pH (Un)	MO (g/kg)	âP-Brayll (mg/kg)	K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Al (cmol/kg)	Na (cmol/kg)	Al-Sat (%)	S (mg/kg)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura (Tex)
La Sultana	5,32	202,8	0,60	0,52	4,97	2,38	0,92	0,00	10,46	32,12	59,48	20,8	19,65	8
Santa Ana	5,06	284,4	0,74	0,20	2,69	0,53	1,63	0,00	32,29	36,72	47,55	31,5	20,87	2
Villa Luisa	5,48	155,6	0,13	0,15	0,30	0,10	0,31	0,00	35,83	148,98	46,23	37,9	15,80	2
El Cariñito	5,36	92,86	1,25	1,44	3,37	1,15	0,36	0,00	5,69	31,74	43,06	22,6	34,34	7
Palenque	4,95	242,1	0,60	0,20	3,49	0,66	0,82	0,00	15,86	50,53	43,44	36,4	20,13	2
Villa Lina	5,10	126,4	3,42	0,31	3,20	0,98	1,63	0,00	26,67	22,54	55,22	20,2	24,59	11
La Rejoya	5,43	241,1	3,66	0,50	8,24	3,64	0,20	0,00	1,59	47,08	56,62	25,3	18,02	8
La Argentina	5,35	225,5	0,77	0,14	4,07	0,71	0,46	0,00	8,56	91,55	47,43	32,2	20,32	2
La Esperanza	5,24	156,2	1,22	0,22	2,49	0,37	0,31	0,00	9,16	92,13	49,75	32,7	17,49	2
El Sena	5,30	173,8	1,80	0,40	4,15	1,61	0,66	0,00	15,46	57,87	51,05	27,3	21,59	6
El Retoño	5,95	44,35	6,76	0,36	11,61	6,67	0,00	0,05	0,00	18,32	54,18	25,2	20,56	11
Palacé	5,02	140,8	0,68	0,35	1,21	0,53	0,66	0,00	23,99	64,91	58,62	15,6	25,74	11
Tabla de conversión para textura. Los números corresponden a las siguientes descripciones:														
1 Arcilloso			4 Limoso			7 Franco Arcilloso			10 Arenoso Franco					
2 Franco			5 Arcillo Arenoso			8 Franco Arenoso			11 Franco Arcillo Arenoso					
3 Arenoso			6 Arcillo Limoso			9 Franco Limoso			12 Franco Arcillo Limoso					

El alto nivel de micorrización encontrados en el sistema radicular de las Brachiarias, evidencian la capacidad de colonizar mayor cantidad del suelo por el tipo de raíces (un centímetro de raíces sin micorrizas explora 1-2 cm³ del suelo; con micorrizas desarrolla 5 a 200 veces), aumentando la eficiencia de captación de nutrientes del suelo, permitiendo de esta manera una resistencia y/o tolerancia a determinados patógenos del suelo, induciendo a la raíz a mantenerse activa durante más tiempo que si no estuviese micorrizada, unido a lo anterior permiten extraer el fósforo del "POOL" disponible, afectando directamente los procesos de solubilización y mine-

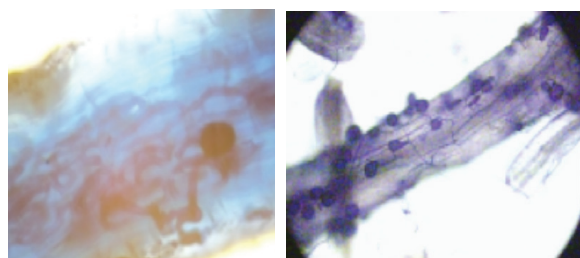
ralización, al sumársele en esta labor las hifas del hongo también captan con mayor facilidad ciertos elementos (Fósforo, Nitrógeno, Calcio y Potasio) y agua del suelo; condición que favorece el desarrollo de los sistemas [14].

Análisis De Componentes Principales. El cuadro 4 se muestra los resultados, evidenciando una homogeneidad entre los sistemas.

Lo anterior se explica por la localización geográfica de los sistemas, conocida como el Peniplano o meseta de Popayán, donde la formación geológica de los suelos son derivados de cenizas volcánicas y a que el componente arbóreo de los sistemas se encuentran en un estado inicial de desarrollo, lo que refleja una mínima variación del microclima en las fincas.

El presente análisis también evidencia la influencia de algunas variables sobre los sistemas agrosilvopastoriles, mostrando que la radiación solar es determinante para las fincas la Sultana (419 lux) y la esperanza (463,6 lux), donde se registraron los mayores valores (Figura 2).

Figura 1. Colonización de Micorrizas.



Cuadro 4. Tabla de Variabilidad.

Componente principal	Eigenvalue	% Varianza
1	11809,1	59,519
2	4825,37	24,32
3	2297,84	11,581
4	736,691	3,713
5	119,742	0,60351
6	35,566	0,17926
7	8,72869	0,043993
8	4,97643	0,025082
9	2,36535	0,011922
10	0,343238	0,0017299
11	0,196456	0,00099016
12	8,90E-30	4,49E-32
13	4,54E-64	2,29E-66

La materia orgánica, se evidencia en mayor proporción en las fincas Santa Ana (284,41 g/Kg), Palenque (242,14 g/Kg), La Rejoya (241,11 g/Kg) y La Argentina (225,5 g/Kg), localizadas principalmente

hacia el flanco occidental de la meseta de Popayán, a diferencia de los otros sistemas que se hallan hacia cordillera central.

La Infiltración se relaciona con la finca el cariñito, ya que en la época de lluvia no se pudo medir, dado al alto nivel freático; en Palacé el tiempo de infiltración fue de 86 minutos esto debido a la carencia en prácticas de renovación de praderas que junto con el sobrepastoreo han ocasionado perdida de las características físicas y químicas del suelo. En Villa Alina la infiltración fue de 6,5 minutos (entre las mejores infiltraciones), posiblemente dado por un pastoreo rotacional [15].

Análisis de agrupamiento. Teniendo en cuenta las variables más influyentes que se encontraron en el análisis de componentes principales, el dendograma de agrupamiento muestra tres grupos con el 72% de similitud, el primer grupo es conformado por los sistemas La Esperanza, Villa Luisa y La Sultana, se caracteriza por tener mayores registros en radiación solar 292,67 a 314,84 lux y un contenido de materia orgánica entre 155,6 y 202,88 (g/kg) (Figura 3).

Figura 2. Análisis de Componentes Principales de 12 sistemas silvopastoriles.

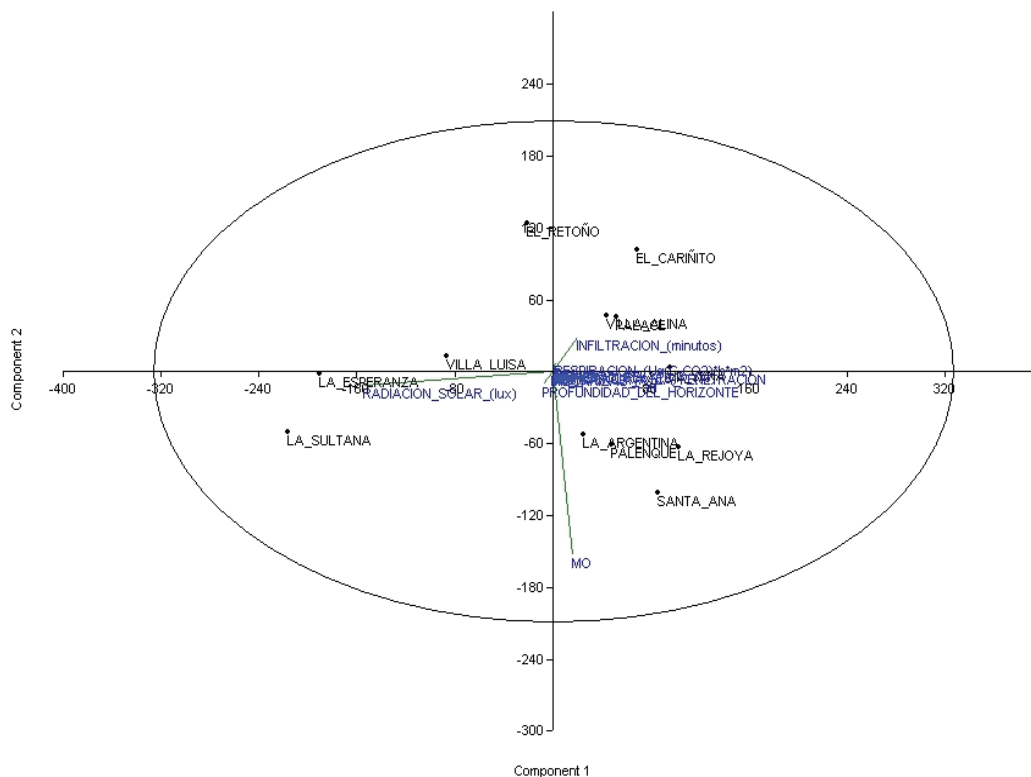
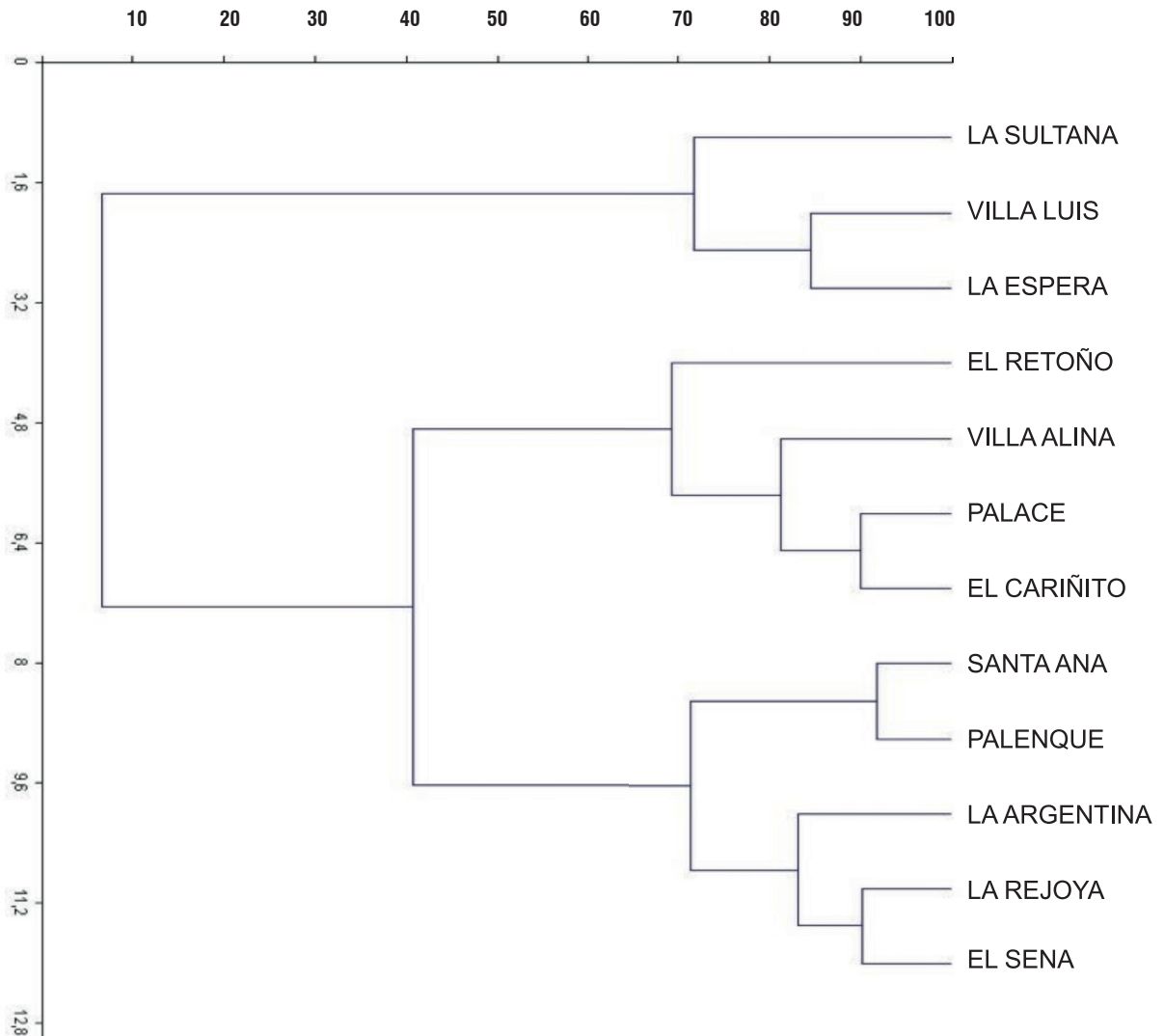


Figura 3. Dendograma de los 12 sistemas agrosilvopastoriles



La materia orgánica tiene efecto sobre las propiedades físicas del suelo, formando agregados y dando estabilidad estructural, uniéndose a las arcillas formando el complejo de cambio, que favorece la penetración del agua y su retención. En cuanto a su efecto sobre las propiedades biológicas, favorece los procesos de mineralización, el desarrollo de la cubierta vegetal, sirve de alimento a una multitud de microorganismos y estimula el crecimiento de la planta en un sistema ecológico equilibrado [14].

El segundo grupo conformado por El Retoño, Villa Alina, El Cariñito y Palacé, tienen una radiación solar media de 281,26 lux y materia orgánica baja (140,80 g/kg). Y el tercero muestra una baja radiación 195,73 lux y alto contenido de materia orgánica (284,41 g/kg).

La influencia de la luz es importante para la germinación de las semillas y el movimiento de orientación de las plantas hacia la fuente de luz (fototropismo) [14,16], siendo los forrajes un cultivo heliófilo corrobora la relevancia de dicha variable en el óptimo desarrollo de los mismos.

CONCLUSIONES

Las variables microclimáticas encontradas en los doce sistemas agrosilvopastoriles estuvieron acordes al rango de adaptación de los forrajes establecidos, resaltando la influencia de la variable radiación solar debido a que las gramíneas forrajeras son plantas C4.

La infiltración es una variable determinante en los sistemas agrosilvopastoriles y en las características biológicas del suelo, se encontró que todos los sistemas estudiados cuentan con un porcentaje alto de colonización de micorrizas, este factor mejora el cumplimiento de las funciones en las raíces y favorece su desarrollo.

El análisis multivariado reporta que las variables determinantes y que predominan en los sistemas agrosilvopastoriles fueron la materia orgánica, la radiación solar y la infiltración.

Es importante antes de establecer un sistema agrosilvopastoril conocer las variables climáticas de la zona para así escoger en forma acertada las especies forrajeras y arbóreas a establecer.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a los productores del Departamento del Cauca por su colaboración en el desarrollo de la investigación, al CIAT y a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca, por el apoyo dado al desarrollo de la presente investigación. Al profesor Bernardo Ramírez y equipo técnico del Herbario de la Universidad del Cauca que contribuyeron en la identificación de la flora asociada a los sistemas silvopastoriles.

REFERENCIAS

- [1] CÁMARA DE COMERCIO DEL CAUCA. Agenda Interna Para La Productividad Y La Competitividad. Popayán (Colombia): Documento Regional del Cauca, Apuestas Productivas, Agrocadena Ganadería, 2015, p. 215.
- [2] VIVAS-QUILA, N.J, MORALES-VELASCO, S., PETERS, L.H., HINCAPIE, B. y RENDÓN, E. Evaluación agronómica de ocho accesiones de *Leucaena diversifolia* en dos ambientes diferentes de la meseta de Popayán. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 24(3), 2011, p. 211.
- [3] MARTINEZ-MAMIAN, C.A. Evaluación agronómica de 23 accesiones de *Leucaena diversifolia* en el peniplano de Popayán [Tesis Maestría Producción Animal Tropical]. Palmira (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, 2014, 150 p.
- [2] MURGUEITIO, E., CHARÁ, D., SOLARTE, A., URIBE, F., ZAPATA, C. y RIVERA, J.E. Agroforestería Pecuaria y Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPI) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 26(1), 2013, p. 313-316.
- [3] COLOMBIA. INSTITUTO DE METEOROLOGÍA, HIDROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Atlas climatológico de Colombia: Cauca [en línea]. 2013, Disponible en internet: <http://www.ideam.gov.co/atlas/mclima.htm>. [citado en enero 22 de 2015].
- [4] SWICHER, M.E. Manual para el estudio de campo. Módulo1: La ecología de la parcela. Miami (USA): Universidad de la Florida, 1999, 84 p.
- [5] UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Washington (USA): 1999, 88 p.
- [6] GUERRA, B.E. y CHACÓN, M.R. Cimbiosis micorrizica arbuscular y acumulación de aluminio en *Brachiaria decumbens* y *Manihot esculenta*. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 10(2), 2012, p. 87 – 98.
- [7] CERDÁN, C.R., REBOLLEDO, M.C., SOTO, G., RAPIDEL, B. and SINCLAIR, F.L. Local knowledge of impacts of tree cover on ecosystem services in smallholder coffee production systems. Agricultural Systems, 110(1), 2012, p. 119-130.
- [8] MONTAGNINI, F., IBRAHIM, I. and MURGUEITIO, E. Silvopastoral systems and climate change mitigation in Latin America. Bois et Forêts des Tropiques, 316(2), 2013, p.3-16.
- [9] RIVERA, L., ARMBRECHT, I. and CALLE, Z. Silvopastoral systems and ant diversity conservation in a cattle-dominated landscape of the Colombian Andes. Agriculture, Ecosystems and Environment, 181(1), 2013, p.188-194.
- [10] ARBOLEDA, D.A., TOMBE, A.A., MORALES-VELASCO, S. y VIVAS-QUILA, N.J. Propuesta para el establecimiento de especies arbóreas y arbustivas con potencial forrajero: en sistemas de producción ganadera del trópico alto colombiano. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 11(1), 2013, p. 154-163.

- [11] JARAMILLO-MOSQUERA, S. y CÓRDOBA, M.S. Transferencia de conocimiento a propietarios de pequeñas empresas ganaderas. Pastos y forrajes. Popayán (Colombia): Equipo de apoyo Comité de Ganaderos del Cauca, 2009.
- [12] VIRGINIO-FILHO, E.D.M., CASANOVES, F., HGGAR, J., STAVAR, C., SOTO, G., AVELINO, J., TAPIA, A., MERLO, M., SALGADO, J., NOPONEN, M., PERDOMO, Y. y VASQUEZ A. En : Sistemas Agroforestales. Funciones Productiva, Socioeconómica y Ambiental. Cali (Colombia): Serie Técnica Informe Técnico 402 CATIE, Fundación CIPAV, 2015, p. 131-151.
- [13] MACHADO-PINHEIRO, L.C. Pastoreo Racional Voisin. Tecnología Agroecológica para el Tercer Milenio. 1 ed. Buenos Aires (Argentina): Hemisferio Sur, 2004, 360 p.
- [14] VALLEJO, V.E., ARBELI, Z., TERÁN, W., LORENZ, N., DICK, R.P. and ROLDAN, F. Effect of land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems of Colombia. Agriculture, Ecosystems and Environment, 150(1), 2012, p.139-148.

MODELADO DE LA CINÉTICA DE SECADO DE MANGO PRE-TRATADAS CON DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y MICROONDAS

MODELING OF THE KINETICS OF DRYING OF MANGO PRETREATED WITH OSMOTIC DEHYDRATION AND MICROWAVE

MODELAGEM DA CINÉTICA DE SECAGEM DE MANGA PRÉ-TRATADOS COM MICROONDAS E DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

MARIBEL GARCÍA-PATERNINA¹, ARMANDO ALVIS-BERMUDEZ², CARLOS GARCÍA-MOGOLLON³

RESUMEN

La aplicación de tecnologías complementarias como la deshidratación osmótica y microondas como pre-tratamientos al secado convencional contribuye al desarrollo de nuevos productos y favorece la disminución de los cambios físico-químicos y organolépticos en el mango. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la deshidratación osmótica con una solución a 65°Brix de 37 a 40°C por 60 min, tratamiento con microondas a 560 W por 7 min y combinado como pre-tratamientos al secado de hojuelas de mango a 70°C en una estufa tipo bandeja y al sol. Las muestras de mango con 11 a 14°Brix y humedad del 80% fueron dimensionadas a 1x1x0,4 cm. La pérdida de peso y el tiempo de secado en los pre-tratados presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$), siendo la mayor pérdida de peso de 66,0% en el pre-tratamiento combinado. El modelo logístico ($R^2 > 0,99$) se ajustó para el secado sin pre-tratamiento y el modelo de Vermet et al. ($R^2 > 0,99$) para los pre-tratados. La D_{eff} para microondas y secado en estufa fue mayor. Las hojuelas de mango pre-tratadas con deshidratación osmótica fueron las que mejor conservaron la apariencia de las hojuelas de mango.

Recibido para evaluación: 22 de Febrero de 2014. **Aprobado para publicación:** 29 de mayo de 2015.

- 1 Universidad de Córdoba. Ingeniero de Alimentos. Montería, Colombia.
- 2 Universidad de Córdoba, Facultad de Ingenierías, Grupo de Investigación Procesos y Agroindustria de Vegetales. Ph.D. en Ingeniería. Montería, Colombia.
- 3 Universidad de Sucre, Facultad de Ingenierías, Grupo PADES. M.Sc. Ciencias Agroalimentarias. Montería, Colombia.

Correspondencia: aalvis2@hotmail.com

ABSTRACT

The implementation of complementary technologies such as osmotic dehydration and microwave as pre-treatments to the conventional drying process contributes to the development of new products and favors the decline of the physicochemical changes in the organoleptic and mango. The objective of this study was to evaluate the effect of osmotic dehydration with a solution at 65°Brix of 37 to 40°C for 60 min, treatment with microwave at 560 W for 7 min and combined as pre-treatments to drying flakes of mango to 70°C in an oven tray type and the sun. The samples of mango with 11 to 14°Brix and humidity 80% were sized to 1x1x0,4 cm. The weight loss and the drying time in the pre-treated showed significant differences ($p < 0,05$), still the highest weight loss of 66,0% in the pre-treatment combined. The logistic model ($R^2 > 0,99$) was adjusted for drying without pre-treatment and the model of Vermet et al. ($R^2 > 0,99$) for the pre-treated. The D_{eff} for microwave and drying in an oven was higher. The flakes of mango pre-treated with osmotic dehydration were the best preserved the appearance of the flakes of mango.

RESUMO

A aplicação de tecnologias complementares, tais como a desidratção osmótica e microondas como pré-tratamento para a secagem convencional contribui para o desenvolvimento de novos produtos e ajuda a reduzir a alterações organolépticas no punho física, química e. O objectivo foi o de avaliar o efeito de desidratção osmótica com uma solução a 65°Brix de 37-40°C durante 60 min, o tratamento por microondas a 560 W durante 7 min e combinados como um pré-tratamento de secagem flocos de manga a 70°C num tabuleiro de forno e o tipo de sol. Amostras do punho 11 a 14 ° Brix e 80% de umidade foram dimensionados para 1x1x0,4 cm. A perda de peso e o tempo de secagem no pré-tratado mostrou diferenças significativas ($p < 0,05$), a maior perda de peso de 66,0% no pré-tratamento combinado. O modelo logístico ($R^2 > 0,99$) foi ajustada para a secagem sem pré-tratamento e modelo Vermet et al. ($R^2 > 0,99$) para o pré-tratada. O forno de microondas D_{eff} e secagem em estufa foi maior. Flocos pré-tratados com alça osmótica desidratção foram o melhor preservada a aparência de flocos de manusear.

INTRODUCCIÓN

Los procesos de deshidratación convencionales tienen el inconveniente de someter el producto alimenticio a altas temperaturas que alteran las propiedades organolépticas, nutricionales y reduce el potencial antioxidante que tiene el mango [1]. Una alternativa es la aplicación de un pre-tratamiento como la deshidratación osmótica o la tecnología por microondas que elimine la mayor cantidad de agua previa al secado; la primera es un método no térmico de deshidratación mediante el cual se logra obtener productos de humedad intermedia con muy buena calidad organoléptica y la segunda es una tecnología cuyo mecanismo de calentamiento se da desde el centro del producto a la superficie.

PALABRAS CLAVE:

Tommy Atkins, Osmodeshidratación, Tecnología no térmica, Secado complementario, Difusividad efectiva.

KEYWORDS:

Tommy Atkins, Osmotic dehydration, No thermal technology, Complementary drying, Effective diffusivity.

PALAVRAS-CHAVE:

Tommy Atkins, Desidratção osmótica, Nenhuma tecnologia térmica, Secagem adicional, Difusividade efetiva.

Estudios recientes aplican tecnologías emergentes como la ventana refractaria para deshidratar rebanadas de mango [2], la aplicación de una potencia de 1000 W en microondas a tres diferentes geometrías de rebanadas de mango [3] y la deshidratación osmótica como pre-tratamiento al secado con temperaturas de 60 y 70°C han evaluado la influencia del proceso en la cinética de secado, el tiempo del tratamiento, el efecto sobre la pérdida de agua, nutrimentos y color [4].

La deshidratación osmótica ha sido usada como pre-tratamiento para la remoción parcial de agua en frutas frescas y vegetales; además, porque durante el proceso reduce el consumo de energía y mejora la calidad del producto [5]. Para una buena conservación de la materia prima y del producto final en hojuelas de mango de la variedad cv. Tommy Atkins, se evaluó la influencia de los pre-tratamientos sobre la velocidad de secado y la preferencia por los consumidores del producto deshidratado. La aplicación de pre-tratamientos con tecnologías complementarias como la deshidratación osmótica y microondas contribuye al desarrollo de nuevos productos, favoreciendo la disminución de los cambios adversos que ocurren durante el uso de métodos convencionales [4], Secado osmo-deshidrocongelación [6], osmo-convectivo [7, 8] y liofilización [9]. El mango por su color amarillo brillante, flavor característico y valores nutricionales, es excelente para la producción de chips [10].

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del pre-tratamiento aplicado por microondas, deshidratación osmótica y la combinación de los anteriores sobre la cinética de secado en horno, al sol y la percepción de los consumidores de las características de la hojuela de mango.

MÉTODO

Adecuación de la muestra

Los mangos (cv. *Tommy Atkins*) utilizados como materia prima se seleccionaron con un índice de madurez de 0,125,11 a 14°Brix y humedad de $80 \pm 1\%$ los cuales se sometieron a operaciones de lavado, pelado, troceado para obtener las hojuelas de una dimensión de 1 cm x 1 cm x 0,4 cm.

En la determinación de los sólidos solubles se utilizó una lectura refractométrica (método AOAC 932.12/90) [11]. La acidez se midió por el método de titulación

potenciométrica (método AOAC 942.05/90) [11]. El índice de madurez se calculó empleando la relación de sólidos solubles/acidez.

Pre-tratamiento de secado

Deshidratación osmótica. Se utilizó una solución de sacarosa de 65°Brix por 60 min y temperatura ambiente de 37 a 40°C. Las hojuelas de mango (100 g) se dispusieron en bolsas plásticas para posteriormente sumergirlas en soluciones osmótica con relación peso muestra: volumen solución 1:5. Una vez culminado el tiempo del tratamiento, la muestra deshidratada se escurrió por 15 min en un colador para eliminar el exceso de solución osmótica.

Deshidratación por microondas. Se utilizó un horno microondas doméstico de marca Haceb HM-1.1 con una frecuencia de 2450 MHz y dimensiones internas de 354 mm x 228 mm x 373 mm. Se tomaron 50 g de muestra y se distribuyeron uniformemente en el plato del microondas a una potencia de 560 W por 7 min. La masa de las muestras durante el secado se obtuvo pesando en una balanza analítica (Mettler PS4000 con exactitud $\pm 0,01$ g).

Combinado. Se aplicó el pre-tratamiento de deshidratación osmótica seguido de microondas, acorde a los procedimientos preliminares.

Tratamiento de secado

Secado al sol. Se utilizaron bandejas de 50 g de muestra y se expusieron a la radiación solar de 9:00 a las 15:00 hasta peso constante, en la sede Berastegui ubicada en el corregimiento de Berástegui, municipio de Ciénaga de Oro, Departamento de Córdoba, Colombia.

Secado por convección. Se usó un horno convección marca Technicook modelo MINICONV con dimensiones 580 mm de ancho, 630 mm de profundidad, 435 mm de alto, tipo bandeja. La temperatura de secado fue de 70°C.

Determinación cinética de secado

Las curvas de secado se realizaron registrando la pérdida de peso de la muestra cada 10 min en las primeras 2 h de proceso y luego cada 30 min hasta peso constante. Los pesos obtenidos se convierten en términos de humedad libre empleando la ecuación 1:

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s} \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde: W es el peso del sólido húmedo (kg totales de agua más sólido seco), W_s es el peso del sólido seco (g MS), y X_t es la relación entre el peso del agua y el peso del sólido seco a un determinado tiempo (g de agua/g de sólido seco).

Con el fin de determinar el modelo que mejor describe el comportamiento cinético de secado de mango en cada método se utilizaron los modelos de Newton, Page, Page Modificado, Henderson y Pabis, Logaritmico, Thomson, Difusional, Dos términos, Midilli y Kucuk, Modificado de Henderson y Pabis, Two Term Exponential, Verma et al., Modified Page Equation-II y se seleccionó el que mejor se ajustó a los datos experimentales. La razón de humedad (MR) durante el secado fue calculada usando la ecuación 2:

$$MR = (M - M_e) / (M_o - M_e) \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde M es el contenido de humedad en un tiempo específico, M_e es el contenido de humedad de equilibrio y M_o es el contenido inicial de humedad, todas expresadas en g agua/g MS. Se utilizó el método de regresión no lineal para estimar las constantes de los modelos, la suma de cuadrados del error (SSE) y el coeficiente de determinación (R^2) serán estimados para evaluar la falta de ajuste de los modelos. Bajos valores de SSE y altos de R^2 se usarán como criterio para indicar el alto ajuste del modelo. Para el cálculo del coeficiente difusivo se utilizó el modelo difusional de la solución de la segunda ley de Fick para una geometría de lámina infinita [12] y distribución uniforme de la humedad inicial de donde se toma solo el primer término de la ecuación 3:

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left[-(2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right] \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde D_{eff} es el coeficiente efectivo de difusividad de agua (m^2/s); t es el tiempo (segundos), L es la longitud característica de la lámina finita (m) y n es el número de series de la sumatoria.

Evaluación sensorial

Las muestras de mango deshidratado se evaluaron mediante un panel sensorial integrado por 50 consumidores, mediante una prueba de ordenamiento simple de Friedman, con una valoración de 1 a 8, siendo 1 la de menor preferencia y 8 la de mayor preferencia.

Diseño experimental

Se aplicó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 4×2 correspondiente a la variable categórica pre-tratamiento con cuatro niveles (DO: deshidratación osmótica; MW: microondas, SPT: sin pre-tratamiento y DOMW: combinado) y el Tratamiento de secado al sol y convectivo (E); 3 repeticiones para un total de 24 unidades experimentales. Los datos fueron analizados por el programa Statgraphics Centurion XVI.

RESULTADOS

Cinética del secado de las hojuelas de mango

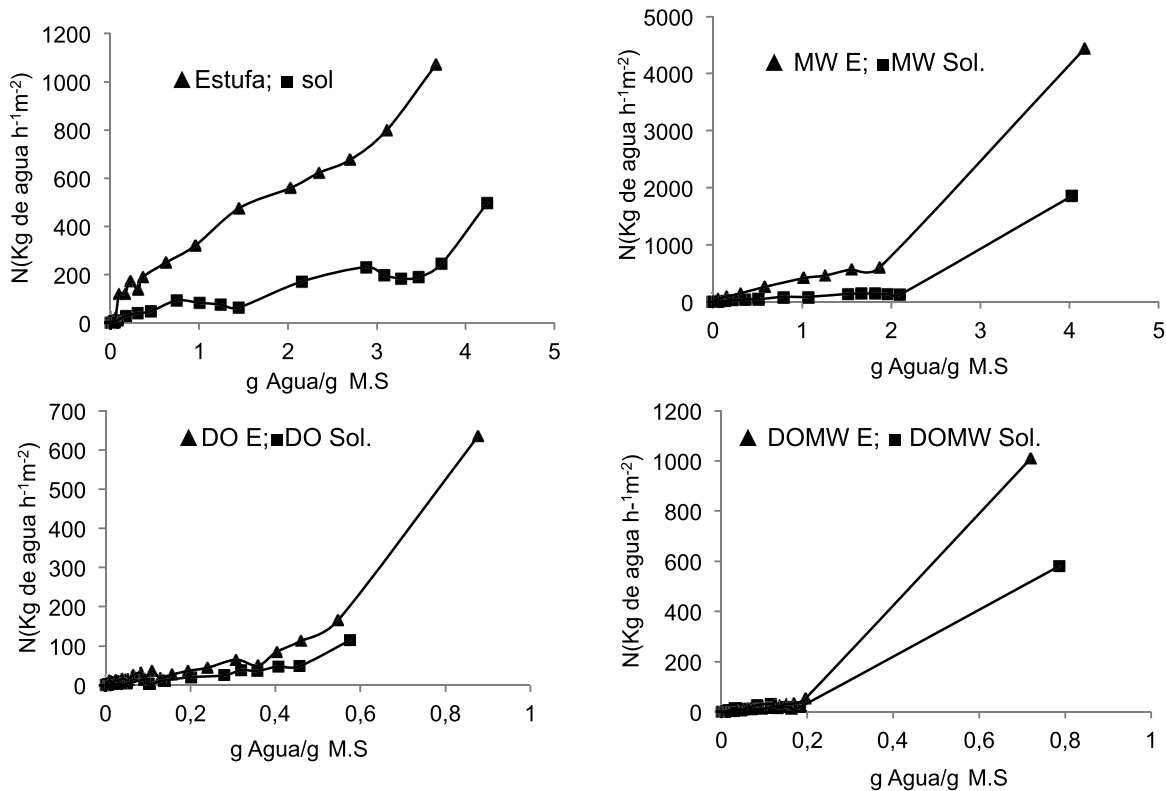
Los parámetros físico químicos del mango deshidratado fueron $12,3 \pm 0,7^\circ \text{Brix}$ y $0,69 \pm 0,1\%$ acidez expresada como ácido cítrico, correspondiendo a un grado 4 de madurez para el mango variedad *Tommy Atkins* [13]. En el Cuadro 1, las velocidades de secado iniciales promedio más altas se generan cuando se aplica un pre-tratamiento de microondas y se secan los chips en horno y al sol, siendo la primera más alta.

La velocidad de secado disminuyó al aplicar el pre-tratamiento de DO, esto puede explicarse por la presencia de una capa superficial de células colapsadas por efecto del tratamiento osmótico en la muestra, que contribuirá a aumentar la resistencia al transporte de masa cerca de la interface de los experimentos de secado. Esta resistencia también puede verse afectada por la entrada de solutos principalmente en los espacios intercelulares [14]. En términos generales, dependiendo del método de secado la velocidad varía (Figura 1); por lo tanto, en función de los datos obtenidos se deduce que la cinética de secado de las hojuelas de mango es dependiente del método de secado empleado y del pre-tratamiento que se le realice a las muestras.

En todos los casos se puede decir que las velocidades de secado iniciales promedio son mayores cuando se utiliza el método de secado convencional

Cuadro 1. Valores de velocidad inicial de secado.

	Horno	Sol
	(N) Kg de agua/h.m	
Sin pre-tratamiento	1071,52	496,66
Microondas	4440,11	1857,39
Deshidratación osmótica	634,19	113,93
Combinada (DOMW)	1008,86	579,82

Figura 1. Velocidad de secado para hojuelas de mangos.

(horno) que cuando las muestras son secadas al sol, esto debido a que la temperatura de secado en estufa es mayor que la del sol.

En las curvas de velocidad de secado se presenta una ausencia de los periodos de velocidad constante y un comportamiento muy variable en la zona de velocidad decreciente. Una primera fase donde el descenso de la humedad es parcialmente proporcional a la disminución de la velocidad de secado, observándose un endurecimiento superficial del sólido provocado por la desecación de la cara superior del producto.

La segunda fase donde la pérdida de humedad es mucho más lenta que la de la fase anterior, lo que indica que el agua tiene gran dificultad para migrar hacia la superficie. Esta alta variabilidad implicó aumentos y disminuciones abruptas de la velocidad de secado, atribuibles a la escasa transferencia de calor y masa en algunos lapsos durante el secado, debido a la forma aplanada de las hojuelas. También se puede decir que la ausencia del periodo constante se debe a la aplicación de los pre-tratamientos, en donde el producto tuvo una pérdida de humedad considerable, pre-

sentando estos dos periodos ausentes en las gráficas de velocidad de secado. Estudios similares mostraron este comportamiento cuando se evaluó el efecto de las condiciones de secado sobre la cinética de deshidratación [15,16].

Modelos matemáticos

El modelo logarítmico describe satisfactoriamente las curvas de secado de los chips de mango cuando no se les realiza ningún pre-tratamiento a las muestras con valores de R^2 superiores a 0,99 y la suma de cuadrados de error inferiores al 1% para el secado en estufa y al sol. En el Cuadro 2 se observan los parámetros del modelo logarítmico para el secado en estufa y al sol sin realizar pre-tratamientos, el valor del parámetro k es mayor para el secado en estufa presentando un valor de 1,46, describiendo unas curvas con mayor pendiente que indica una mayor velocidad de secado; mientras que el valor de k para el secado al sol es de 0,46.

Se estudió la cinética de secado en capa delgada en hojas y tallos de perejil a través del método conven-

Cuadro 2. Valores de los parámetros del modelo Logarítmico.

Secado	Horno			Sol		
	K(h ⁻¹)	a	c	K(h ⁻¹)	a	c
Parámetros						
Sin pre-tratamiento	1,46	1,16	-0,16	0,47	1,02	-0,04
Modelo	$MR = a[Exp(-Kt)] + c$					

a, c= constantes del modelo.

cional y aplicando doce modelos matemáticos encontró que el modelo de Verma et al. y Logarítmico se ajustan muy bien a sus datos experimentales [17]; sin embargo, el modelo que mejor ajuste presentó fue el de Midilli and Kucuk; los modelos de Page y Logarítmico en hojuelas (2,8 mm espesor) de mango secadas a 65°C [18]; en otros productos hortofrutícos los modelos de Page y Silva et al. describieron la cinética en capa delgada de banano [19]; secado de limón ajustando al modelo logarítmico [20]; Midilli and Kucuk mostraron mejor ajuste en secado con microondas de pimienta verde [21].

Cuando se le aplican pre-tratamientos a las muestras el modelo que mejor describe la cinética de secado es el modelo de Verma et al. con valores de R² superiores a 0,99 y la suma de cuadrados de error inferiores al 1% para el secado en estufa y al sol. En el Cuadro 3 se muestran los valores de los parámetros del modelo de Verma et al. para el secado en estufa y sol al aplicar pre-tratamientos en microondas, deshidratación osmótica y la combinación de ambos.

Difusividad efectiva

Los valores de difusividad (Cuadro 4) fueron mayores para el secado en estufa en comparación a los del sol, lo que demuestra una disminución de las resistencias internas del sólido cuando se utiliza este método de secado, una explicación de ese aumento se puede deber a la temperatura que se utiliza en el secado en estufa, la cual es mayor que las temperaturas que se alcanzan cuando se seca al sol.

Por su parte podemos ver que el valor de la difusividad mayor fue el del secado en estufa cuando se aplica el pre-tratamiento por microondas, el cual representa un valor de 1,33x10⁻¹⁰ m²/s y el menor valor está representado por el secado al sol cuando no se aplica ningún pretratamiento, valor que corresponde a 3,69x10⁻¹⁰ m²/s. Los valores de difusividad se encuentran comprendidos en valores desde 1,33x10⁻⁸ m²/s hasta 3,69x10⁻¹⁰ m²/s, valores reportados de 3,19 x10⁻¹⁰

Cuadro 3. Valores de los parámetros del modelo de Verma et al.

S	Pt	Spt	MW	DO	MWDO
Horno	K(h ⁻¹)	1,49	339,9	28,86	42,44
	g	0,04	2,91	1,38	1,09
	a	1,17	0,4	0,34	0,72
Sol	K(h ⁻¹)	0,71	161,68	0,68	178,79
	g	0,71	0,66	12,33	1,19
	a	278,76	0,38	0,87	0,68
Modelo	$MR = a[Exp(-Kt)] + (1-a)[Exp(-gt)]$				

S= Secado; Pt= Pre-tratamiento; Spt= Sin pre-tratamiento; MW= Microondas; DO= Deshidratación Osmótica; MWDO=combinado; a, g = Constantes del modelo.

m²/s en mango [11], hojuelas de mango (21x70x150 mm) con aire caliente a 70°C para 1,714x10⁻¹⁰ m²/s [22], lonjas de mango de 1 y 2 mm de grueso, secando con ventana refractaria 4,4x10⁻¹⁰ m²/s y 1,56x10⁻¹⁰ m²/s respectivamente [2]; mango (60x30 mm) pretratado con ácido ascórbico 2,22x10⁻⁹ m²/s [23], judía con cubierta externa [24], guayaba secada por aire caliente 1,5x10⁻⁹ m²/s y DO (70°Brix) más aire caliente 2,00x10⁻⁹ m²/s [25].

Evaluación sensorial

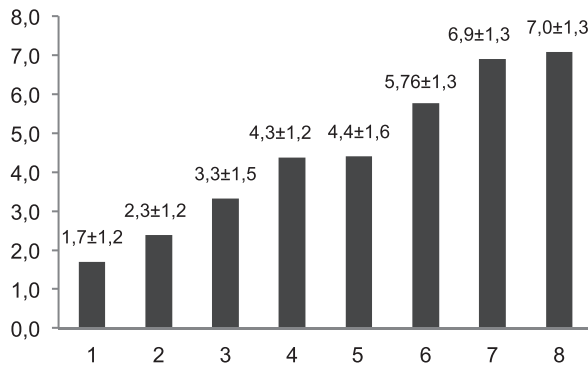
La evaluación general de la apariencia de las hojuelas indica que existe una diferencia estadísticamente significativa (p<0,05) entre las medias de los 8 tratamientos cuando se aplicó el test de ordenamiento de Friedman. Acorde a los resultados el tratamiento que mejor preferencia por los consumidores (Figura 2) tuvo, fue el DOE y el menor fue MWSol.

El criterio de los consumidores al considerar que la muestra tratada MWSol es la de menor aceptación está en concordancia con el decremento del color amarillo

Cuadro 4. Valores de difusividad efectiva.

Tratamientos	Horno	Sol
	D _{eff} (m ² /s)	
Sin pre-tratamiento	7,95x10 ⁻⁰⁹	3,69 x10 ⁻¹⁰
Microondas	1,34x10 ⁻⁰⁸	5,09 x10 ⁻¹⁰
Deshidratación osmótica	3,24 x10 ⁻⁰⁹	5,17 x10 ⁻¹⁰
Combinada (MW+DO)	1,79 x10 ⁻⁰⁹	1,91 x10 ⁻⁰⁹

Figura 2. Evaluación sensorial de ordenamiento del mango deshidratado.



1: MWSol; 2: MWE; 3: DOMWE; 4: E; 5: DOMWSol; 6: Sol; 7: DOSol; 8: DOE

brillante característico del mango fresco, lo que indica que el consumidor al elegir siempre compara con el producto fresco. Esto es debido a la pérdida de los carotenoides durante el secado, los cuales constituyen el principal componente del mango maduro fresco. Se compararon diferentes métodos de secado en chips de mango obteniendo menor oscurecimiento en tratamiento con menor temperatura (30°C) combinado con microondas al vacío [26]. En contraste los tratamientos con DO tuvieron la mayor preferencia del consumidor porque conservaron la apariencia cercana al color brillante del mango fresco. Existe una correlación positiva entre la preferencia del consumidor y el color de láminas de mango DO [27].

La apariencia es el atributo que más causa impacto a la hora de escoger por parte del consumidor, siendo el color la característica más relevante, constituyéndose en el primer criterio para su aceptación o rechazo. El color está relacionado con la calidad, el índice de madurez y el efecto del proceso de deshidratación. El consumidor espera un determinado color para cada alimento y cualquier alteración en éste parámetro puede influir en su aceptabilidad [28].

CONCLUSIONES

Los pre-tratamientos de deshidratación osmótica, microondas y combinado extrajeron un alto porcentaje de humedad en las hojuelas reduciendo los tiempos de secado al sol y en horno. Es el pre-tratamiento combinado el que más retiró agua y redujo los tiempos de secado; sin embargo, el pretratamiento de deshidratación

osmótica fue el que mejor mantuvo las características de apariencia de las hojuelas de mango deshidratadas.

El proceso de secado Microondas - Sol fue el de mayor decremento de los parámetros de color, traduciéndose en el tratamiento que más demerito las características de las hojuelas de mango respecto al mango fresco. Los tratamientos con deshidratación osmótica fueron los que mejor conservaron la apariencia de las hojuelas de mango.

REFERENCIAS

- [1] ZULUAGA J., CORTES, M. y RODRÍGUEZ, E. Evaluación de las características físicas de mango deshidratado aplicando secado por aire caliente y deshidratación osmótica. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 25(4), 2010, p.127-135.
- [2] OCHOA, C., QUINTERO, P., AYALA, A. and ORTIZ, M. Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window Technique. *Journal of Food engineering*, 109, 2012, p. 69-75.
- [3] VILLALPANDO, J., HERRERA, E., AMAYA-DELGADO, L., GODOY, M., MATEOS, J. and RODRÍGUEZ, S. Effect of Complementary Microwave Drying on Three Shapes of Mango Slices. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(2), 2011, p. 281-290.
- [4] GARCÍA, A., MUÑIZ, S., HERNÁNDEZ, A., MARIO, L. y FERNÁNDEZ, D. Análisis comparativo de la cinética de deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la Piña (*Ananas Comosus*, variedad Cayena *lisa*). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(1), 2013, p. 62-69.
- [5] WANG, R., ZHANG, M. and MUJUMDAR, A. Effect of osmotic dehydration on microwave freeze-drying characteristics and quality of potato chips. *Drying Technology*, 28(6), 2010, p. 798-806.
- [6] GOULA, A. and LAZARIDES, H. Modeling of mass and heat transfer during combined processes of osmotic dehydration and freezing (Osmo-Dehydro-Freezing). *Chemical Engineering Science*, 82, 2012, p. 52-61.
- [7] KOTOVICZ, V., ELLENDERSEN, L., CLARINDO, M. and MASSON, M. Influence of process conditions on the kinetics of the osmotic dehydration of yacon (*Polymnia sonchifolia*) in fructose solution. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(3), 2014, p. 1385-1397.
- [8] PERUSSELLO, C., KUMAR, C., CASTILHOS, F. and KARIM, M. Heat and mass transfer modeling

- of the osmo-convective drying of yacon roots (*Smallanthus sonchifolius*). Applied Thermal Engineering, 63, 2014, p.23–32.
- [9] BERNSTEIN, A. and NOREÑA, C. Study of thermodynamic, structural, and quality properties of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) during drying. Food Bioprocess Technology, 7, 2014, p. 148–160.
- [10] ZOU, K., JIANWEN, T., HUANG, L., XINWEI, D. and BAOYAO, W. Effect of osmotic pretreatment on quality of mango chips by explosion puffing drying. Food Science and Technology, 51, 2013, p. 253-259.
- [11] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST (AOAC). Official methods of analysis of the AOAC international. 13th ed. Washington D.C. (USA): Official Methods of Analysis, Section 954.10, 1993.
- [12] OCORO, M.U. y AYALA, A.A. Evaluación de la técnica de ventana de refractancia en el secado de puré de papaya (*carica papaya l.*). Vitae, 19(1), 2012, p. S72-S74.
- [13] GARCÍA, S., SANDOVAL, A., FORERO, F. y SALAMANCA, G. Atributos de calidad del mango criollo para la agroindustria. Espinal (Colombia): Boletín técnico, Centro de Investigación Nat Alma, 2009.
- [14] SOGI, D., SIDDIQ, M. and DOLAN, K. Total phenolics, carotenoids and antioxidant properties of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques. LWT - Food Science and Technology, 62(1), 2015, p. 564-568.
- [15] SILES, J., GONZALEZ-TELLO, P., MARTÍN, M. and MARTÍN, A. Kinetics of alfalfa drying: Simultaneous Modelling of moisture content and temperature. Biosystems engineering, 129, 2015, p. 185-196.
- [16] VIJAYAVENKATARAMAN, S., INIYAN, S. and GOIC, R. A review of solar drying technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 2012, p. 2652–2670.
- [17] LEMA, A., PONTIN, M., SANMARTINO, A., ZILLETTI, M. y MARTINELLO, M. Características del proceso de secado en capa delgada del perejil. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 11(8), 2009, p. 75-82.
- [18] GOYAL, R.K., KINGSLEY, A.R.P., MANIKANTAN, M.R. and LLYAS, S.M. Thin-layer Drying Kinetics of Raw Mango Slices. Biosystems Engineering, 95(1), 2006, p. 43–49.
- [19] DA SILVA, W., SILVA, C., GAMA, F. and PALMEIRA, J. Mathematical models to describe thin-layer drying and to determine drying rate of whole bananas. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, (13), 2014, p.67–74.
- [20] PUENTE, L., ECHAGARAY, E., CASTRO, E. y DI SCALA, K. Aplicación de modelos matemáticos al proceso de secado asistido por infrarrojos de descartes de limón. Revista Dyna, 80(181), 2013, p. 91-97.
- [21] DARVISHI, H., REZAEI, A., ASGHARI, A., AZADBAKHT, M., NAJAFI, G. and KHODAEI, J. Study of the drying kinetics of pepper. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 13, 2014, p. 130–138.
- [22] JANJAI, S., LAMLERTA, N., INTAWEE, P., MAHA-YOTHEE, B., HAEWSUNGCHARERN, M., BALA, B. and MULLER, J. Finite element simulation of drying of mango. Biosystems Engineering, 99, 2008, p. 523 – 531.
- [23] ABANO, E., SAM-AMOAH, L., OWUSU, J. and ENGMANN, F. Effects of ascorbic acid, salt, lemon juice, and honey on drying kinetics and sensory characteristic of dried mango. Croatian Journal of Food Science and Technology, 5(1), 2013, p. 1-10.
- [24] DELGADO, T., PEREIRA, J., BAPTISTA, P., CASAL, S. and RAMALHOSA, E. Shell's influence on drying kinetics, color and volumetric shrinkage of *Castanea sativa* Mill. Fruits. Food Research International, 55, 2014, p. 426–435.
- [25] KEK, S., CHIN, N. and YUSOF, Y. Direct and indirect power ultrasound assisted pre-osmotic treatments in convective drying of guava slices. Food and Bioprocess Processing, 91, 2013, p. 495–506
- [26] CHONG, C.H., LAW, C.L., FIGIEL, A., WOJDYŁO, A. and OZIEMBŁOWSKI, M. Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. Food Chemistry, 141(4), 2013, p. 3889-3896.
- [27] GOMÉZ, R. Sensory evaluation of mango sheets (*Manguifera indica* L. cv. *Keitt*) fortified with calcium chloride by means of pulsed vacuum osmotic dehydration. Revista venezolana de ciencia y tecnología en alimentos, 4(2), 2013, p. 157-169.
- [28] LEE, H. and YUN, Z. Consumer's perceptions of organic food attributes and cognitive and affective attitudes as determinants of their purchase intentions toward organic food. Food Quality and Preference, 39, 2015, p. 259–267.

EVALUACIÓN DE DIFERENTES DRENAJES EN TANQUES CIRCULARES PARA CULTIVO DE TRUCHA EN SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN

EVALUATION OF DIFFERENT DRAINAGES IN CIRCULAR TANKS FOR TROUT CULTURE IN RECIRCULATING SYSTEMS

AVALIAÇÃO DE DIFERENTES DRENAGENS EM TANQUES CIRCULARES PARA CRIAÇÃO DE TRUTA EM SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO

ROBERTO GARCÍA-CRIOLLO¹, IVÁN ANDRÉS SÁNCHEZ-ORTIZ²

RESUMEN

La evaluación de diferentes alternativas de captura y remoción eficiente de sólidos en tanques de cultivo en sistemas de recirculación para acuicultura cobra importancia como primer mecanismo para garantizar un adecuado tratamiento de las aguas residuales y su posterior vertimiento o reuso. El objetivo de esta investigación fue evaluar durante un mes el desempeño de remoción aparente de sólidos sedimentables en 12 tanques de cultivo circulares de 250 L en un sistema de recirculación de agua para cuatro diferentes mecanismos de drenaje: D1-tubería perforada de fondo con salida lateral y rebalse externo, D2-rebalse lateral, D3-rebalse interno, D4-doble drenaje, y para tres tiempos de retención hidráulica Q1, Q2 y Q3 equivalentes a un recambio cada 25, 50 y 82 minutos. El experimento se desarrolló con alevinos de trucha arco iris con biomasa inicial de 1,6 kg/m³ alimentados a una tasa del 3% del peso vivo diario, se monitorearon los parámetros oxígeno disuelto, temperatura y pH. Hubo diferencias significativas tanto para los drenajes como para los tiempos de retención, los mejores resultados se obtuvieron para el D3-Q1, cuya combinación reportó una eficiencia media del 88,02% de remoción de sólidos, seguido del D1-Q1; el tratamiento con menor eficiencia fue el constituido por el D2-Q3.

Recibido para evaluación: 24 de abril de 2011. **Aprobado para publicación:** 10 de agosto de 2015.

- 1 Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Pecuarias, Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Grupo de Investigaciones en Acuicultura GIAC. Ingeniero en Producción Acuícola. Pasto, Colombia.
- 2 Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Pecuarias, Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Grupo de Investigaciones en Acuicultura GIAC. Ingeniero Civil, M. Sc. Pasto, Colombia.

Correspondencia: iaso@udenar.edu.co

ABSTRACT

The evaluation of different alternatives for effective solids capture and removal in fish culture tanks of recirculating systems becomes important as the first mechanism to guarantee an appropriate wastewater treatment and their subsequent dumping or reuse. The main objective of this research was to evaluate during a month the apparent solids removal performance on 12 fish culture tanks of 250 L in a recirculating aquaculture system with four different drainage systems: D1-bottom perforated tube with lateral outlet and external stand pipe, D2-external stand pipe, D3-internal stand pipe, D4-double drainage, and three hydraulic detention time Q1, Q2 and Q3 equivalents to one exchange each 25, 50 and 82 minutes. The experiment was done with rainbow trout fries for an initial biomass of 1,6 kg/m³ feed daily at a rate of 3% of living weight, the parameters dissolved oxygen, temperature and pH were monitored. There were significant differences between tanks for drainages and hydraulic retention times, the best results were obtained for the D3-Q1, which combination reported an average solids removal efficiency of 88,02%, followed by the D1-Q1; the treatment with the lower efficiency was the made up by the D2-Q3.

RESUMO

A avaliação de diferentes alternativas de captura e remoção eficiente de sólidos em tanques de criação em sistemas de recirculação para aquí-cultura cobra importância como primeiro mecanismo para garantir um adequado tratamento das águas residuárias e o seu posterior lançamento ou reuso. O objetivo desta pesquisa foi avaliar durante um mês o desempenho de remoção aparente de sólidos sedimentáveis em 12 tanques de criação circulares de 250 L num sistema de recirculação de água para quatro diferentes mecanismos de drenagem: D1-tubulação perfurada no fundo com saída lateral e transbordamento externo, D2-transbordamento lateral, D3-transbordamento interno, D4-dupla drenagem, e para três tempos de retenção hidráulica Q1, Q2 e Q3 equivalentes a uma troca de água a cada 25, 50 e 82 minutos. O experimento foi desenvolvido com alevinos de truta arco íris com biomassa inicial de 1,6 kg/m³ alimentados a uma taxa de 3% do peso vivo por dia, foi monitorado também oxigênio dissolvido, temperatura e o pH. Houve diferenças significativas tanto para as drenagens quanto para os tempos de retenção, os melhores resultados foram obtidos para o D3-Q1, cuja combinação reportou uma eficiência média do 88,02% de remoção de sólidos, seguido do D1-Q1; o tratamento com menor eficiência foi o constituído pelo D2-Q3.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura ha experimentado un marcado crecimiento en los últimos años debido a factores como el agotamiento de las reservas de peces disponibles para la pesca extractiva. Según la FAO [1], la producción mundial de peces comestibles procedentes de la acuicultura se ha multiplicado por 12, a un índice medio anual del 8,8%, superando el crecimiento de la pesca y la producción de carne terrestre.

PALABRAS CLAVE:

Acuicultura, Remoción de sólidos, Sistemas cerrados

KEYWORDS:

Aquaculture, Solids removal, Closed systems.

PALAVRAS-CHAVE:

Aquí-cultura, Remoção de sólidos, Sistemas fechados.

El intensivo desarrollo de la industria de la acuicultura ha sido acompañado por el aumento en los impactos ambientales [2]. Las descargas de efluentes de esta actividad en los ambientes acuáticos presentan altas cargas de nutrientes, diversos compuestos orgánicos e inorgánicos tales como nitrógeno total, amonio, fósforo y materia orgánica (MO) [3].

Entre los efectos indeseables producidos por las aguas residuales (AR) se encuentra la desoxigenación del agua, la deposición de sólidos en los ríos, los olores indeseables, la afectación y/o muerte de peces, el crecimiento excesivo de hongos o plantas acuáticas, entre otros [4]. Tales efectos no son ajenos a los efluentes acuícolas; por tal razón, los impactos ambientales generados por la acuicultura pueden establecer nuevos límites para esta actividad.

El tratamiento de las AR es una estrategia tendiente a reducir los impactos ambientales producidos por el vertimiento de efluentes en los cursos de agua receptores; según von Sperling [5], dicho tratamiento se puede clasificar en: preliminar, cuyo objetivo es la remoción de sólidos de mayor tamaño; primario, que pretende la remoción de sólidos sedimentables y por ende parte de la MO; secundario, que busca la remoción de MO y eventualmente nutrientes; terciario, para la remoción de contaminantes específicos.

La necesidad y perspectivas de implementación de sistemas de tratamiento de las AR dependen del tipo de acuicultura que se practique. Entre los tipos de acuicultura se encuentran los cultivos: en estanques con volumen de agua estático, en sistemas abiertos con circulación del líquido, en sistemas de recirculación con reacondicionamiento de agua en sistemas cerrados [6]. En los sistemas de recirculación acuícolas (SRA) el líquido que sale de los tanques de cultivo en vez de ser vertida a un cuerpo de agua receptor es purificado y reutilizado, reduciendo de esta manera la cantidad de agua fresca que debe ser adicionada al sistema [7].

Los elementos constitutivos básicos de un SRA incluyen: unidades de cultivo (UC)- como tanques y acuarios-, sistema de remoción de sólidos, filtración biológica, aireación, sistema de transporte del agua y frecuentemente una forma de esterilización (como UV u ozono) [8].

En un SRA los residuos sólidos, o MO particulada, están constituidos principalmente por heces y alimento no consumido. Si los sólidos permanecen dentro

del sistema, su descomposición consumirá oxígeno y producirá amoníaco adicional así como otros gases tóxicos como el sulfuro de hidrógeno y por tal razón deben ser removidos lo más pronto posible del sistema [9]. Los residuos sólidos pueden clasificarse en cuatro categorías: sedimentables, suspendidos, flotantes y disueltos. En SRA los dos primeros son de principal interés, y en particular los sólidos sedimentables pues son los más fáciles de tratar y susceptibles de eliminarse con mayor rapidez de las UC [10].

El considerar los estanques en tierra como la opción más económica y adecuada para la producción piscícola a gran escala ha cambiado progresivamente por el incremento en los costos de la tierra, la escasez de agua de buena calidad y los avances tecnológicos en la producción acuícola, haciendo de la producción en tanques una opción más atractiva [11].

Existen diversas formas para tanques de cultivo entre las que están la rectangular, cuadrada, octagonal, ovalada y circular. Los tanques rectangulares (TR) se emplean comúnmente debido a que son fáciles de construir. Sin embargo, tienen asociados varios problemas, los peces capturados de la naturaleza que se ponen en TR tienden a amontonarse en sus esquinas y agotar el oxígeno o intentan nadar contra las mismas cansándose o lastimándose físicamente. La circulación en estos tanques se caracteriza a menudo por tener "zonas muertas" y con cortos circuitos [12]. El agotamiento del oxígeno puede ocurrir localmente o puede haber acumulación de los productos metabólicos en las áreas muertas, causando estrés o hasta la muerte en los animales. En TR con drenaje central, cuanto mayor es la relación largo ancho, se tendrá menor uniformidad en el flujo y mayor presencia de zonas muertas [13].

Por su parte, los tanques circulares (TC) con respecto a los TR presentan ventajas entre las que se están: las velocidades del agua son mayores, lo que hace que los peces recién capturados se adapten mejor; sin embargo, producen una demanda metabólica mayor haciéndoles gastar más energía, lo que puede encarecer su engorde; tienen una distribución más uniforme de animales y alimento; tienden a tener una mejor distribución de comida que los canales de agua, tienen mayor facilidad de autolimpiarse, y requieren de un flujo menor (a menos que la demanda de oxígeno sea el parámetro determinante del flujo debido a la carga de peces) [12, 14].

Los TC en la producción acuícola son atractivos pues: son fáciles de mantener, proveen agua de calidad uni-

forme y permiten operarse bajo una amplia gama de velocidades de rotación para optimizar la salud y condición de los peces [15].

Una característica importante en el funcionamiento de los TC es la relación entre el diámetro (D) y su profundidad (H). Algunos autores como fruto de estudios de los patrones de flujo en este tipo de tanques recomiendan relaciones D/H entre 5:1 a 10:1 [16, 17] o un poco menores relaciones del orden de 3:1 [15].

Una ventaja de los TC es su capacidad de auto limpieza, se pretende que la columna de agua esté en constante rotación dentro del tanque y que la velocidad de rotación sea lo más uniforme posible desde la pared hacia el centro como de la superficie hasta el fondo; además debe ser lo suficientemente rápida para permitir la auto limpieza. Las velocidades requeridas para mover los sólidos sedimentables al drenaje –cuya producción es función de la cantidad de alimento suministrado, con un valor del orden del 25% en base a materia seca– deben ser mayores de 15 a 30 cm/s [15].

De acuerdo con Lekang [7], es necesario un correcto diseño del sistema de entrada de agua al tanque para asegurar la homogénea distribución como mezcla del nuevo líquido afluente así como la auto limpieza de la unidad de cultivo. Para ello en los TC suele utilizarse tuberías con perforadas con disposición horizontal, vertical o combinada (un segmento horizontal y uno vertical).

La salida de los tanques normalmente tiene dos funciones: remover los residuos del tanque lo más pronto posible y mantener el correcto nivel del líquido dentro de la unidad de cultivo [7]. Las principales alternativas de sistemas de salida en TC son las de: rebalse interno, formadas por dos tubos concéntricos localizados en el centro del tanque; rebalse externo, que a su vez sirve como mecanismo de control de nivel por medio de un tubo concéntrico o una caja externa y las de doble drenaje, que divide el flujo que sale de la UC en una pequeña tubería que transporta los sólidos más densos, y una tubería con diámetro mayor transporta en un caudal más grande los sólidos suspendidos desde la parte superior de la columna de agua del tanque [15].

Una vez capturados y evacuados de manera oportuna los sólidos sedimentados en las UC, el tratamiento del AR deberá realizarse por medio de procesos físicos y/o biológicos a través de biofiltros. Los filtros biológicos más comúnmente utilizados en acuicultura son: biofiltros sumergidos, filtros percoladores, los con-

tactores biológicos rotativos (CBR) y los biofiltros de lecho fluidizado [11, 15].

En el tratamiento de efluentes de acuicultura cobra importancia la evaluación de diferentes sistemas de drenaje del AR y sólidos en las UC para identificar opciones que proporcionen mejores eficiencias de remoción de los residuos sólidos generados por las excretas de los peces y alimento no consumido con el fin de posibilitar la reutilización del efluente en SRA.

El objetivo del presente trabajo fue la evaluación en un SRA para cultivo de trucha arco iris de cuatro diferentes tipos de sistemas de drenaje en TC, para tres diferentes tiempos de retención hidráulica (TRH), con el fin de verificar su eficiencia en cuanto a la captura y evacuación de los sólidos generados en las UC.

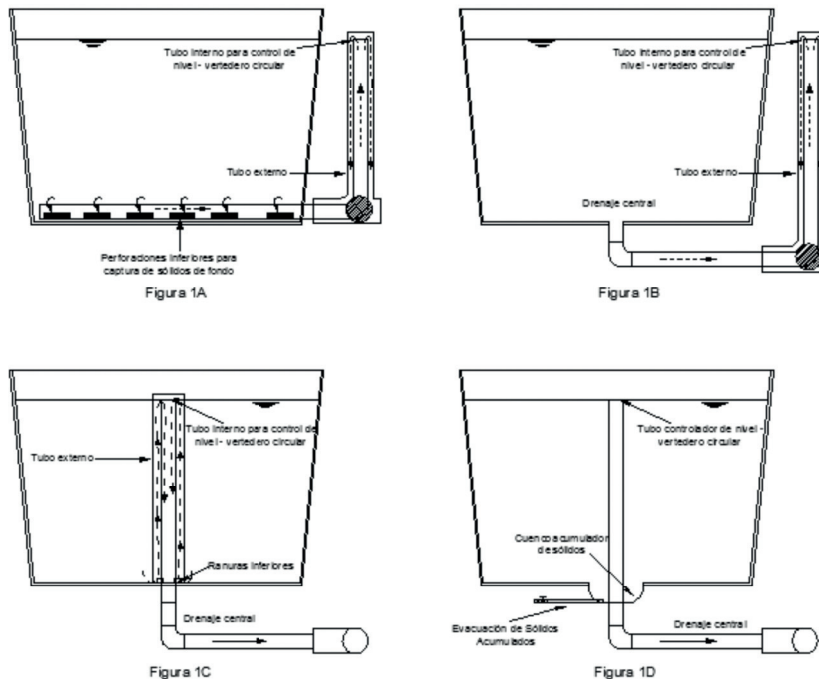
MÉTODO

Localización

El presente proyecto se realizó en el Laboratorio de Hidráulica y Sistemas de Recirculación del Programa de Ingeniería en Producción Acuícola (IPA) de la Universidad de Nariño, al noroeste de la ciudad de San Juan de Pasto, Departamento de Nariño, con una altitud de 2540 msnm, temperatura media de 14°C, latitud 0,1°09' N, longitud 77°08' W.

Adecuación de unidades experimentales

Se adecuaron 12 tanques de capacidad 250 L así: 3 TC con rebalse externo y tubería perforada de fondo con salida lateral, las perforaciones capturaban parte de los sólidos junto con el líquido drenado hacia un rebalse lateral (Drenaje D1, figura 1A); 3 TC con rebalse lateral, se instaló un drenaje central de fondo al que se le adaptó lateralmente un rebalse externo que controló el nivel por medio de un tubo concéntrico (Drenaje D2, figura 1B); 3 TC con rebalse interno, con dos tubos concéntricos, uno externo con ranuras en su base que forzaron al flujo a subir desde el fondo arrastrando los sólidos sedimentados, y uno interno que actúa como vertedero para controlar el nivel del agua (Drenaje D3, figura 1C); 3 TC con doble drenaje, donde un tubo central controló el nivel del agua y funcionó como vertedero circular para evacuación permanente del líquido de exceso y sólidos menos densos, en el fondo se dispuso un cuenco metálico para acumulación de los sólidos más densos, al que se adaptó un tubo de 0,5 in

Figura 1. Tipos de drenajes evaluados.

de diámetro para evacuar los sólidos acumulados dos veces al día (Drenaje D4, figura 1D).

Los tanques se llenaron hasta un nivel equivalente a 230 L, se les propició aireación permanente por medio de piedras difusoras de poro mediano conectadas a mangueras plásticas de 0,25 in de diámetro, que transportaban el aire proveniente de un aireador de 2,5 HP y se cubrieron con malla polisombra para evitar que los animales saltaran fuera de las UC.

Para controlar los caudales de recambio en cada TC se realizaron aforos volumétricos en las UC dos veces por día y se reguló y ajustó el flujo de entrada de agua con válvulas de compuerta metálicas dispuestas en la tubería de entrada de cada UC, los recambios practicados fueron: Caudal 1 (Q1), 1 L cada 6,56 s (0,152 L/s), igual a un recambio cada 25 min; Caudal 2 (Q2), 500 mL cada 6,54 s (0,0764 L/s), equivalente a un recambio cada 50 min; Caudal 3 (Q3), 200 mL cada 4,26 s (0,0469 L/s), igual a un recambio cada 82 min.

Material biológico

Se utilizaron alevinos de trucha arco iris (*Onchorynchus mykiss*) con un peso promedio de 50 g, procedentes de la estación de jaulas flotantes "INTIYACO"

de la Universidad de Nariño, localizada en la Laguna de La Cocha. La densidad de siembra evaluada fue de 8 animales/tanque para un total de 96 animales. Con base en lo anterior cada tanque tuvo una densidad inicial de biomasa de 1,6 kg/m³.

Adecuaciones preliminares

Se adecuó un sistema de tubería de PVC para distribución del agua (red en serie) y del aire (red maillada); un sedimentador convencional de flujo horizontal; un biofiltro de flujo ascendente en un tanque con capacidad de 1000 L con cámara externa para mantenimiento del nivel.

Transporte de los peces

Los animales se trasladaron desde las jaulas flotantes de la estación piscícola INTIYACO, hasta el Laboratorio de Hidráulica del Programa IPA de la Universidad de Nariño. Para ello se los sometió a un período de ayuno de 24 horas. Los animales se empacaron en bolsas plásticas calibre 3 con capacidad de 15 L a las que se les adecuó las puntas del fondo en forma redondeada para evitar esquinas muertas que pudieran comprimir los peces. Cada bolsa se llenó con 1/3 de agua y 2/3 de oxígeno, y mantuvo 15 alevinos durante un tiempo de 2 horas hasta la aclimatación.

Aclimatación en laboratorio

Las bolsas con los animales se introdujeron en tanques de 1,0 m³ por 15 minutos para equilibrar la temperatura; una vez transcurrido ese tiempo se agregó agua del tanque a las bolsas y al mismo tiempo se retiró y descartó el mismo volumen para equilibrar progresivamente el pH, cuya diferencia entre el líquido de las bolsas y el de los tanques fue de 0,3 unidades de pH; a cada bolsa se agregaron 15 g de sal marina, como tratamiento profiláctico. Los animales aclimatados se liberaron en la unidad experimental (UE) brindándole un periodo de adaptación de 7 días, tiempo en el cual se suministró alimento a saciedad.

Plan de manejo y siembra

Después de aclimatar los alevinos, se pesaron con una balanza portátil (marca OHAUS, modelo SPU4001, USA), con capacidad de hasta 4000 g y precisión de $\pm 0,1$ g y se repartieron 8 animales para cada UE. Los individuos restantes fueron utilizados hasta el final del experimento como reposición en caso de mortalidad en cualquiera de los tanques, ello para que las variables a evaluar no fueran afectadas por la ausencia de animales.

Alimentación

Se alimentó con balanceado comercial con 48% de proteína, 2.800 kcal/kg y gránulos de 3,5 mm de diámetro. La cantidad suministrada se calculó teniendo en cuenta la biomasa de las UEs, determinada con base en muestreos quincenales de los peces para verificar el peso y longitud, y a partir de una tasa de alimentación del 3%, distribuyéndose en tres comidas en el horario de 7 a.m., 12 m. y 5 p.m.

Periodo de estudio

Comprendió 2 fases: la primera fue un pre-ensayo para ajustar y adaptar los sistemas de drenaje, definir protocolos de manejo y regulación de caudales para cada tratamiento, se llevó a cabo entre 26 de abril y 10 de mayo de 2010; la segunda fase fue la experimentación propiamente dicha entre mayo 11 a junio 15 de 2010, en la que se evaluó el desempeño de los sistemas de drenaje para remoción de sólidos de las UC.

Durante el experimento se midieron y regularon diariamente los caudales de ingreso a cada una de las UC para controlar los TRH y se verificaron los niveles del agua en las UC, el sedimentador y el biofiltro; igual-

mente, se hizo recambio diario de 5% del volumen de líquido del sistema.

Monitoreo de parámetros fisicoquímicos

Los muestreos y análisis se realizaron diariamente en horas de la mañana, con base en los métodos normalizados establecidos por APHA *et al.* [18]: temperatura (T), método 2550B y oxígeno disuelto (OD), método 4500-O G método electrodo de membrana por medio de oxímetro portátil (marca YSI, modelo 550 A DO, USA), con precisión de $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ para temperatura y $\pm 0,3$ mg/L para OD; pH, método electrométrico 4500-H⁺ B por medio de un pHmetro portátil (marca Martini, modelo pH 56, USA), con precisión de $\pm 0,05$ pH

Durante 29 días consecutivos se realizó el análisis de la eficiencia de remoción aparente de los sólidos (ERAS) en las UC, para ello se suspendió el ingreso de agua y de aire a las UC durante 5 minutos permitiendo así la sedimentación de los sólidos de mayor tamaño. Por medio de sifoneo se removieron 10 L de agua de fondo con los sólidos decantados. El líquido extraído se sometió a filtración a través de papel filtro previamente pesado, se realizó su secado parcial al aire y temperatura ambiente por 1 h, posteriormente los filtros con los sólidos retenidos se sometieron a secado en horno a 105°C durante 1 h. Después de su enfriamiento se pesaron con una balanza de precisión (marca METTLER, modelo AE160, Suiza), con capacidad de hasta 160 g y precisión de $\pm 0,1$ mg.

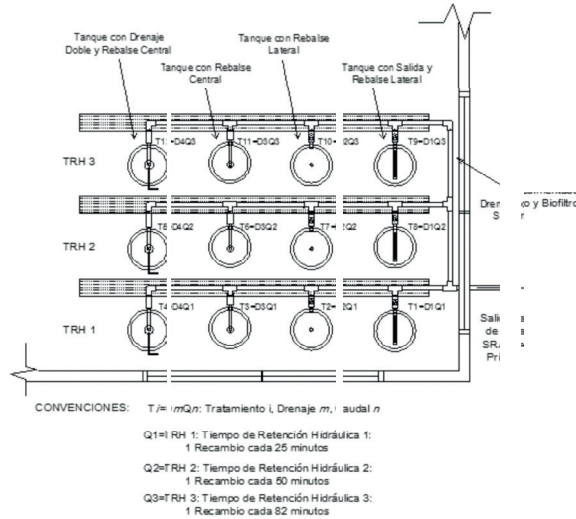
Diseño Experimental

El experimento consistió en un diseño factorial 4x3 (cuatro tipos de drenaje y tres tiempos de retención hidráulica). Los 12 tratamientos evaluados fueron D1Q1, D2Q1, D3Q1, D4Q1, D1Q2, D2Q2, D3Q2, D4Q2, D1Q3, D2Q3, D3Q3, y D4Q3. El experimento no contempló la presencia de réplicas, pues cada uno de los 12 tratamientos fue evaluado por medio de uno de los 12 tanques.

La distribución de cada una de las UE para los diferentes niveles de los dos factores se presenta en la figura 2.

Cada UE estuvo conformada un tanque de 250 L de capacidad con sistema de ingreso del agua por tubería vertical perforada para garantizar un flujo tangencial que favorezca la formación de un vórtice que acumule los sólidos en la zona central de fondo.

Figura 2. Configuración y distribución de los tratamientos en el laboratorio.



El modelo de medias del diseño experimental se expresa en la Ecuación 1.

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

y_{ijk} : Eficiencia de remoción de sólidos

μ : Media global

τ_i : Efecto del i-ésimo nivel del factor 1

β_j : Efecto del j-ésimo nivel del factor 2

$\tau\beta_{ij}$: Efecto debido a la interacción entre los dos factores

ε_{ijk} : Error experimental

Donde el subíndice $i=1,2,3,4; j=1,2,3$.

La variable evaluada en este estudio fue la ERAS en las UC como función del tipo de drenaje utilizado y del TRH aplicado. Para ello se calculó el peso seco final (PSF) de los sólidos colectados en cada tanque, que fue el resultado de restarle al peso del filtro + sólidos secos el peso inicial de cada filtro, el porcentaje de remoción aparente se obtuvo mediante la diferencia entre el peso de alimento proporcionado (PAP) en cada tanque menos el PSF dividido entre el PAP y multiplicado por 100.

Para un total de 324 datos calculados relativos a la ERAS en las UC (aproximadamente 26 datos por tanque, que se constituyeron en repeticiones en el tiempo) y para los datos de T, pH y OD se realizó el correspondiente análisis de varianza.

En términos generales la prueba de hipótesis se realizó para un nivel de confianza α de 0,05 (para P-valor $\leq 0,05$ se rechazó la hipótesis nula H_0) con base en las siguientes consideraciones de las hipótesis nula y alterna:

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4$$

$$H_1 : \tau_i \neq \tau_j, \text{ donde } i \neq j$$

De igual manera, para el Factor 2:

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3$$

$$H_1 : \beta_i \neq \beta_j, \text{ donde } i \neq j$$

Y para la interacción:

$$H_0 : \tau\beta = 0$$

$$H_1 : \tau\beta \neq 0$$

Para discernir entre los valores de las medias se recurrió a la prueba de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras y se utilizó el paquete estadístico Statgraphics® Centurión XVI.

RESULTADOS

Remoción de sólidos

Con base en el análisis de varianza se pudo determinar que hubo diferencias significativas entre tratamientos tanto para el factor 1 (tipo de drenaje) como para el factor 2 (recambio), dicha situación se puede observar en los valores del cuadro 1:

Cuadro 1. Análisis de Varianza para Porcentaje de Remoción.

Fuente	SC	GL	CM	Razón-F	Valor-P
A:Drenaje	2770,4	3	923,467	2,89	0,0359
B:Caudal	4841,2	2	2420,6	7,56	0,0006
AB	2279,0	6	379,834	1,19	0,3129

SC: Suma de cuadrados; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrado medio

Los resultados de la prueba de múltiples rangos de porcentajes de remoción para los dos factores se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Pruebas de Múltiple Rangos para Porcentaje de Remoción por Drenaje y Caudal.

Drenaje	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
D4	71,9429	1,9905	X
D2	73,3893	1,99132	X
D1	76,0749	2,02954	XX
D3	79,6131	1,97947	X
Caudal	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Q3	71,0323	1,79819	X
Q2	74,2922	1,69089	X
Q1	80,4406	1,69929	X

Con relación al tipo de drenaje se identificaron 2 grupos homogéneos, donde el D1 y el D3, que no presentaron diferencias estadísticamente significativas, reportaron eficiencias de remoción ligeramente mayores que las demostradas por el otro grupo; sin embargo, cabe resaltar que a su vez, los drenajes D1, D2 y D4 tuvieron desempeño similar entre sí y que el drenaje D1 fue común a ambos grupos.

Las bajas eficiencias presentadas por el drenaje 4 (figura 1D), pese a tener la tubería de salida según la configuración recomendada [7], se debieron a que la acumulación de sólidos en el cuenco del fondo únicamente fue removida dos veces por día; sin embargo, si se incorporase un sistema de doble drenaje con trabajo continuo se podría mejorar su eficiencia, como lo han reportado los sistemas desarrollados por Van Toever [19] o por la Universidad de Cornell [15]. El drenaje 2 reportó menores eficiencias debido a la mayor carga hidráulica requerida y mayor longitud de recorrido del flujo y sólidos hasta la salida del tubo de control de nivel (Fig. 1B), lo que pudo dificultar la expedita eliminación de los sólidos del tanque. Las mayores eficiencias presentadas por el D1 (figura 1A) se pudieron deber a la menor carga hidráulica requerida para evacuar el líquido y los sólidos acumulados en comparación a las de los drenajes 2 y 4.

Pese a la ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre todos los tipos de drenaje, el aparente mejor desempeño presentado por el D3 se pudo

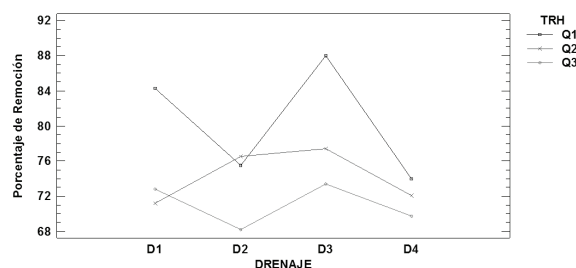
deber a la menor carga hidráulica requerida, así como la menor longitud de recorrido del agua efluente; adicionalmente, la configuración de tubos concéntricos redujo la sección disponible para el flujo del líquido y propició una velocidad que contribuye al arrastre de los sólidos. La mayor eficiencia demostrada por el D3 ayuda a evitar el deterioro de la calidad del agua de los tanques por liberación de MO particulada fina y disuelta debido al rompimiento de los sólidos sedimentados en la unidad de cultivo [20] o por liberación de amoníaco desde los lodos de fondo [21].

Se identificaron dos grupos en cuanto al desempeño de la eficiencia de remoción con respecto al caudal, se observó que la condición más favorable correspondió al caudal equivalente a 2 recambios por hora (Q1) que en promedio superó el 80% de eficiencia. La mayor cantidad de líquido circulante por unidad de tiempo garantiza un mayor arrastre de los sólidos en los tanques, situación que observaron Davidson y Summerfelt [22] en tanques con doble drenaje pues al reducir el recambio se requiere que una mayor fracción del caudal total sea evacuada por el drenaje central para compensar la falta de arrastre debida a una reducción de caudal de 2 recambios/hora a 1 recambio/hora.

La interacción entre los dos factores no presentó diferencias estadísticas significativas; sin embargo, se pudo apreciar que la condición más favorable en términos de generar la mayor ERAS correspondió al drenaje 3 (de fondo con rebalse lateral) y el caudal 1, seguida del drenaje 1 (tubería perforada de fondo y rebalse lateral) tal como se observa en la figura 3, reafirmando la importancia de las menores carga hidráulica requerida y longitud de recorrido para el líquido efluente.

Pese a las diferentes opciones de caudal, el drenaje tipo 4 presentó bajas eficiencias pues el rebalse central

Figura 3. Gráfico de interacciones entre los factores tipo de drenaje y caudal.



que mantiene el nivel del tanque solamente evacuó los sólidos menos densos y el drenaje de fondo, cuyo funcionamiento fue accionado dos veces por día no logró eliminar los sólidos más pesados de manera oportuna.

Con base en los resultados obtenidos, se recomienda implementar en los 12 tanques la configuración de rebalse interno y por medio de proyectos de investigación similares continuar analizando la eficiencia de remoción de los sólidos en este tipo de unidades de cultivo para otros TRH, bajo diferentes densidades de siembra y para el cultivo de diferentes especies, ya que la densidad, tamaño y forma de las heces varía de manera importante entre ellas.

Oxígeno disuelto

Pese a que se manejaron tres diferentes caudales entre las UC -lo que contribuye al transporte de oxígeno con el líquido- no hubo diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones registradas en los tanques, pues cada UC tuvo una piedra difusora de poro fino con igual caudal de aire, lo que garantizó transferencia del gas hacia el agua para compensar su consumo por la respiración de las truchas; así mismo, la configuración de los TC proporciona una homogénea distribución del OD en las UC [23].

La concentración media de OD registrada en los tanques durante el experimento fue de 6,96 mg/L, superando así los 5,0 mg/L recomendados para sistemas con reuso de agua [24], permaneciendo siempre en los rangos recomendados por la literatura para cultivo de trucha [15, 25].

pH

No hubo diferencias significativas en los valores del pH entre los tratamientos (P-valor 0,6243). Su regularidad se pudo deber a los recambios garantizados por el caudal regulado dos veces por día. Los procesos biológicos desarrollados por las truchas y al interior del biofiltro alteran en cierta medida el pH en el agua; sin embargo, la sustitución parcial diaria del líquido contribuye a mantener los niveles homogéneos.

El pH promedio en las UC fue de 6,57, valor que estuvo en los rangos recomendados para el cultivo de trucha [26, 11, 15].

Temperatura

No hubo diferencias estadísticamente significativas (P-valor de 0,8849) entre el efecto medio de la temperatura de un nivel de tratamiento a otro ni entre factores. El promedio de la temperatura en las UC a lo largo del experimento fue de 17,6°C, valor que estuvo en el rango óptimo para el cultivo de la especie [25, 15].

CONCLUSIONES

Entre los tratamientos evaluados el que mejor resultado presentó respecto a la captura y remoción de sólidos fue el número 3 (rebalse interno), en el que quedó un remanente de sólidos del 11,98% respecto a la cantidad de alimento suministrado a la UC. Por tanto el sistema de drenaje con rebalse central y dos recambios por hora reportó una eficiencia del 88,02% de remoción aparente de los sólidos.

Los tipos de rebalse y TRH evaluados no afectaron el oxígeno disuelto, pH y temperatura en los tanques circulares de cultivo de trucha para la densidad de biomasa estudiada.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen por su apoyo a: Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Consejo Facultad de Ciencias Pecuarias, a los Profesores M.Sc. Álvaro Burbano Montenegro y Marco Antonio Imués Figueroa y muy especialmente a los Estudiantes del Programa IPA, asignatura Núcleo Problémico I, Periodo A de 2010.

REFERENCIAS

- [1] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). The State of World Fisheries and Aquaculture 2012. Rome (Italy): FAO Fisheries and Aquaculture Department, 2012, 230 p.
- [2] CRAB, R., AVNIMELECH, Y., DEFOIRDT, T., BOSSIER, P. and VERSTRAETEET, W. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, 270(1-4), 2007, p. 1-14.

- [3] PIEDRAHITA, R.H. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*, 226(1-4), 2003, p. 35–44.
- [4] ROMERO, R.J.A. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. 3 ed. Bogotá (Colombia): Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2010, 1248 p.
- [5] VON SPERLING, M. Introducción a la calidad del agua y al tratamiento de aguas residuales. Principios del tratamiento biológico de aguas residuales, Volumen 1. 1 ed. Pasto (Colombia): Centro de publicaciones Universidad de Nariño, 2012, 468 p.
- [6] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Nigerian Institute for Oceanography and Marine Research. Introduction to aquaculture. Port Harcourt (Nigeria): FAO Fisheries and Aquaculture Department, African Regional Aquaculture Centre, 1987, 40 p.
- [7] LEKANG, O.I. Aquaculture engineering. Oxford (United Kingdom): Blackwell publishing, 2007, 340 p.
- [8] WATSON, C.A. and HILL, J.E. Design criteria for recirculating, marine ornamental production systems. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 2006, p. 157–162.
- [9] MASSER, M.P., RAKOCY, J. and LOSORDO, T.M. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems Management of Recirculating Systems. Texas (USA): Southern Regional Aquaculture Center, SRAC Publication No. 452, 1999, 12 p.
- [10] LOSORDO, T.M., MASSER, M.P. and RAKOCY, J. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems. An Overview of Critical Considerations. Texas (USA): Southern Regional Aquaculture Center, SRAC Publication No. 451, 1998, 6 p.
- [11] LAWSON, T.B. Fundamentals of Aquacultural Engineering. New York (USA): Chapman & Hall, 1995, 355 p.
- [12] WEATHON, F.W. Acuicultura: Diseño y Construcción de Sistemas. 1 ed. México D.F. (México): AGT Editor, 1993, 704 p.
- [13] OCA, J. and MASALÓ, I. Design criteria for rotating flow cells in rectangular aquaculture tanks. *Aquacultural Engineering*, 36(1), 2007, p. 36–44.
- [14] COLL, M.J. Acuicultura Marina Animal. 1 ed. Madrid (España): Ediciones Mundi-Prensa, 1991, 663 p.
- [15] TIMMONS, M.B., EBELING, M., WHEATON, F.W., SUMMERFELT, S.T. y VINCI, B.J. Sistemas de recirculación para la acuicultura. 1 ed. Santiago de Chile (Chile): Fundación Chile, 2002, 747 p.
- [16] BURROWS, R. and CHENOWETH, H.H. Evaluation of three types of fish rearing ponds. Research report 39. Washington, D.C. (USA): US Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, 1955, 29 p.
- [17] CHENOWETH, H.H., LARMOYEUX, J.D. and PIPER, G.G. Evaluation of circular tanks for salmonid production. *The Progressive Fish-Culturist*, 35(3), 1973, p. 122-131.
- [18] APHA, AWWA and WPCF. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 17 ed. Madrid (España): Ediciones Días de Santos S.A., 1992, 1605 p.
- [19] TIMMONS, M.B., SUMMERFELT, S.T. and VINCI, B.J. Review of circular tank technology and management. *Aquacultural Engineering*, 18(1), 1998, p. 51–69.
- [20] SUMMERFELT, S.T. An Integrated Approach to Aquaculture Waste Management in Flowing Water Systems. Roanoke (USA): Proceedings of the Second International Conference on Recirculating Aquaculture, 1998, p. 87-97.
- [21] YEARSLEY, R.D., JONES, C.L.W. and BRITZ, P.J. Effect of settled sludge on dissolved ammonia concentration in tanks used to grow abalone (*Haliotis midae* L.) fed a formulated diet. *Aquaculture Research*, 40(2), 2009, p. 166-171
- [22] DAVIDSON, J. and SUMMERFELT, S. Solids flushing, mixing, and water velocity profiles within large (10 and 150 m³) circular 'Cornell-type' dual-drain tanks. *Aquacultural Engineering*, 32(1), 2004, p. 245–271.
- [23] OCA, J. and MASALÓ, I. Flow pattern in aquaculture circular tanks: Influence of flow rate, water depth, and water inlet & outlet features. *Aquacultural Engineering*, 52(1), 2013, p. 65–72.
- [24] COLT, J. Water quality requirements for reuse systems. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 2006, p. 143–156.
- [25] BLANCO, C.C. La trucha cría industrial. 1 ed. Madrid (España): Editorial Mundi Prensa, 1995, 503 p.
- [26] DRUMMOND, S.S. Cría de la Trucha. 1 ed. Zaragoza (España): Editorial Acribia S. A., 1988, 180 p.

EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE MELAZA CON CEPAS NATIVAS *Saccharomyces cerevisiae*

EVALUATION OF ETHANOL PRODUCTION FROM MOLASSES WITH NATIVE STRAINS *Saccharomyces cerevisiae*

AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE MELAÇO COM OS NATIVOS CEPAS *Saccharomyces cerevisiae*

FRANCISCO EMILIO ARGOTE V.¹, RAÚL ALBERTO CUERVO M.², ESTEBAN OSORIO C.³,
JOHANNES DELGADO-OSPINA.⁴, HECTOR SAMUEL VILLADA⁵

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo principal evaluar la producción de etanol de nueve levaduras aisladas y caracterizadas en el Valle con un testigo de un ingenio brasileño. La evaluación de las variables como temperatura, oxígeno, dióxido de carbono y etanol durante el proceso de fermentación se realizó con la ayuda del equipo Ecochamber y la técnica HPLC para contrastar los valores encontrados. El diseño experimental correspondió al modelo unifactorial, y el tiempo de observación fue transversal en 48 horas, la unidad muestral fue de 600 mL de solución de melaza con una concentración de 16°Brix cuyo pH se ajustó a 4,5 con adición de ácido cítrico. Los resultados se analizaron con el programa estadístico STATGRAPHICS 5.1, mediante ANOVA con un nivel de significancia de 0,05 y las diferencias con prueba de Tuckey. Como resultados relevantes se encontró que las variables temperatura y oxígeno no presentaron diferencias estadísticas con valores entre

Recibido para evaluación: 25 de abril 2013. **Aprobado para publicación:** 27 de Febrero de 2015.

- 1 Universidad de San Buenaventura sede Cali, Grupo de investigación de Biotecnología. Magister en Marketing Agroindustrial. Cali, Colombia.
- 2 Universidad de San Buenaventura sede Cali, Grupo de investigación de Biotecnología. Magister en Ciencias Biológicas. Cali, Colombia.
- 3 Universidad del Valle, Grupo de investigación Biomoléculas. Ph.D en Biotecnología. Cali, Colombia.
- 4 Universidad de San Buenaventura sede Cali, Grupo de investigación de Biotecnología. Magister en Ciencias Agrarias. Cali, Colombia.
- 5 Universidad del Cauca, Grupo de investigación CYTBIA. Ph.D en Ingeniería. Popayán, Colombia

Correspondencia: Francisco Argote. Correo electrónico: feargote@usbcali.edu.co

24 a 32°C y 6,7 a 20% de manera respectiva, mientras que las cepas IC1, IP3, IP4, IP5 mostraron los mayores valores en producción de dióxido de carbono. En lo concerniente a la variable etanol, las cepas con mayor producción fueron T, IC1, IP3, IP4, IP6, IP5.

ABSTRACT

This paper 's main objective was to evaluate the production of ethanol from nine yeasts isolated and characterized in the Valley with a witness to a Brazilian ingenuity. The evaluation of variables such as temperature, oxygen, carbon dioxide and ethanol during the fermenting process was performed with the aid of HPLC Ecochamber equipment and technique to test the values found. The experimental design was the factor model, and the observation time was transverse in 48 hours, the sample unit was 600 mL of molasses solution with a concentration of 16°Brix whose pH was adjusted to 4,5 by addition of citric acid. The results were analyzed with the statistical program STATGRAPHICS 5.1 by ANOVA with a significance level of 0,05 and the differences with Tukey test. As a notable result was that the temperature and oxygen variables not statistically different values between 24 to 32°C and 6,7 to 20% of respective manner, while IC1, IP3, IP4, IP5 strains showed higher values in carbon dioxide production. With regard to ethanol varies, with higher production strains were T, IC1, IP3, IP4, IP6, IP5.

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de etanol a partir de nove leveduras isoladas e caracterizadas no Vale com uma testemunha de um engenho brasileiro. A avaliação das variáveis como a temperatura, oxigênio, dióxido de carbono e de etanol durante o processo de fermentação foi realizada com o auxílio de equipamento de HPLC Ecochamber e técnica para testar os valores encontrados. O desenho experimental foi o modelo de factores, e o tempo de observação foi transversal em 48 horas, a unidade da amostra foi de 600 mL de solução de melaço com uma concentração de 16°Brix, cujo pH foi ajustado para 4,5 por adição de ácido cítrico. Os resultados foram analisados com o programa estatístico STATGRAPHICS 5,1 por ANOVA com nível de significância de 0,05 e as diferenças com teste de Tukey. Como um resultado notável foi que as variáveis de temperatura e de oxigênio não é estatisticamente diferentes valores entre 24 a 32°C e 6,7 a 20% da respectiva forma, enquanto IC1, IP3, IP4, IP5 estirpes apresentaram valores mais elevados em produção de dióxido de carbono. No que diz respeito ao etanol varia, com cepas de produção mais elevados foram T, IC1, IP3, IP4, IP6, IP5.

INTRODUCCIÓN

Las levaduras son hongos unicelulares que pueden ser clasificados en dos grupo filéticos: levaduras ascomicetos asanamórficas y teleomórficas y levaduras basidiomicetos asanamórficas [1].

PALABRAS CLAVES:

Levaduras nativas, Fermentación, Testigo, Eficiencia.

KEY WORDS:

Native yeasts, Fermentation, Witness, Efficiency.

PALAVRAS-CHAVE:

Leveduras nativas, Fermentação, Testemunha, Eficiência

Debido a su gran diversidad fisiológica pueden crecer en un amplio rango de hábitats. Al ser organismos heterotróficos requieren para su crecimiento nutrientes minerales y una cantidad significativa de carbono orgánico. La variedad de hábitats en los cuales se pueden encontrar levaduras incluyen: suelos, insectos, plantas, frutas, exudados de árboles, algas, ambientes marinos y la atmósfera. De igual manera, su presencia también es común en alimentos manufacturados, bebidas fermentadas, en intestinos de animales entre otros [2].

Las frutas son micro hábitats importantes para una variedad de especies de levaduras en la naturaleza debido a su alta concentración de azúcares simples, bajo pH y la constante visita por insectos vectores [3]. En estos sustratos la sucesión de levaduras está involucrada en varios procesos bioquímicos y ecológicos, incluyendo el deterioro de las frutas. Esto ocurre debido a la habilidad de las levaduras para utilizar rápidamente azúcares simples presentes en los sustratos. La presencia de especies proteolíticas y pectinolíticas sobre estos sustratos puede cumplir un papel muy importante en el establecimiento y mantenimiento de la comunidad levaduriforme [4].

Durante la colonización de las frutas algunos de estos factores pueden conferirle ventajas adaptativas a algunas especies. La presencia de cepas productoras de β -glucosidasa puede contribuir a mejorar las características aromáticas de las frutas, además de ser de importancia biotecnológica para su aplicación en la industria alimenticia [5].

En Colombia existe una investigación relacionada con el aislamiento e identificación de levaduras nativas a partir del plátano con capacidades fermentativas en el departamento de Córdoba, sin embargo, no se conocen más reportes sobre levaduras nativas aisladas para la producción de alcohol [6].

De acuerdo con Salazar *et al.* (2011) el empleo de este tipo de microorganismo es imprescindible para la producción a escala industrial de biocombustibles, azúcar, metabolitos secundarios, vacunas, entre otros, sin embargo se usan cepas seleccionadas e importadas de otros países [7].

Según Machado (2010), el biocombustible más importante es el alcohol carburante (etanol), el cual puede ser utilizado como oxigenante de la gasolina,

elevando su contenido en O, lo que permite una mayor combustión de la misma disminuyendo las emisiones contaminantes de hidrocarburos no oxidados completamente. El Etanol se obtiene a partir de la caña de azúcar en países tropicales como Brasil e India. En algunos países europeos como Francia se utilizan melazas de remolacha azucarera. La materia prima principal para la obtención de Etanol en los EEUU es el almidón [8].

Para Claassen *et al.* (2011) la biomasa lignocelulósica, que incluye residuos agrícolas, forestales y sólidos urbanos, así como residuos agroindustriales, de la industria de alimentos y de otras industrias, comprende aproximadamente el 50% de la biomasa en el mundo [9]. Esta biomasa de acuerdo a Chum y Overend (2010) es un recurso que puede ser procesado de diferentes formas para la obtención de una gran variedad de productos además del Etanol como gas de síntesis, metanol, hidrógeno y electricidad [10].

El microorganismo más utilizado para la obtención de Etanol es la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, que convierte las hexosas en Etanol en condiciones anaeróbicas, generando 2 moles del compuesto portador de energía en los seres vivos, el adenosín trifosfato (ATP), por cada mol de hexosa consumida además de 2 moles de Etanol. Este microorganismo tiene también la capacidad de convertir las hexosas en CO aeróbicamente, por lo que en dependencia de las concentraciones de O en el medio de cultivo y de la fuente de carbono, se puede favorecer uno de los dos procesos. Las levaduras tienen la ventaja adicional de tolerar concentraciones relativamente altas de Etanol (hasta $150 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) [9].

Para Moreira y Goldemberg (2010), la principal materia prima para la producción de Etanol es la caña de azúcar, ya sea en forma de jugo de caña o como melazas (subproducto de la industria azucarera). Se pueden obtener cerca de 70 L de Etanol/ton de caña y 9 L de Etanol /ton de melaza grado C, además de cerca de 100 kg de azúcar [11].

El propósito de esta investigación fue evaluar la producción de etanol utilizando un subproducto de la industria azucarera como lo es la melaza y nueve cepas nativas de levaduras del banco levaduriforme de la Universidad de San Buenaventura.

MÉTODO

Activación y selección de levaduras del banco levaduriforme

Las cepas aisladas y debidamente identificadas fueron almacenadas en un banco de levaduras con un crioprotector (Glicerol). En total se almacenaron 40 cepas de levaduras pertenecientes a diversos géneros y especies. De estas se seleccionaron las 9 cepas de *Saccharomyces cerevisiae*. Las cepas fueron escogidas básicamente por pertenecer a un género y especie habitualmente utilizado en la industria por su capacidad fermentativa en la producción de alcohol (cuadro 1).

Para la activación se tomó el inóculo de las cepas almacenadas en el banco y fueron crecidas a 30°C en YPD con agitación constante durante 48 horas.

De otra manera, se planteó un diseño experimental unifactorial completamente al azar con tres repeticiones, la unidad muestral correspondió a 600 mL de solución de melaza a 16°Brix, se midieron variables intervinientes en el proceso de fermentación como temperatura, oxígeno dióxido de carbono y crecimiento celular. La variable de respuesta o de interés en la investigación es la producción de etanol en un proceso in batch durante 48 horas, empleando 9 cepas nativas y un testigo proveniente de un ingenio brasilero (cuadro 1). Los resultados se analizaron con el programa estadístico STATGRAPHICS 5.1®, mediante ANOVA con un nivel de significancia de 0,05 y las diferencias estadísticas con prueba de Tuckey.

Cuadro 1. Codificación y origen de aislamiento de levaduras nativas.

Levadura	Origen de aislamiento
IC1	Tierra
IC2	Tierra
IP1	Naranja
IP2	Mandarina
IP3	Uva
IP4	Piña
IP5	Guayaba
IP6	Naranja agria
IP	Sandia
T	*Ingenio

*Cortesía de ingenio Brasilero

Preparación de la melaza

Inicialmente la melaza proveniente del ingenio Providencia del departamento del Valle del Cauca, se disolvió en un beaker con 600 mL de agua destilada hasta alcanzar una concentración de 16°Brix, posteriormente se centrifugó y filtró para eliminar impurezas, después se esterilizó en autoclave a 20 PSI durante 15 minutos y se corrigió la concentración mediante lectura con refractómetro. Se tomó una muestra y se realizó la lectura de los azúcares iniciales de la solución mediante la técnica de cromatografía líquida de alta resolución HPLC, con la ayuda de un equipo Hitachi Elite Lachrom con detector IR (L-2490)®. La determinación se realizó tanto para azúcares como para etanol de la siguiente manera:

La muestra se centrifugó en tubos eppendorf por 10 minutos a 10000 rpm, el sobrenadante se pasó a través de filtros de membrana 0,22 µm y se inyectaron 20 µl en una columna Agilent Hi-Plex H Ligand Exchange (30 cm x 6,5 mm), tamaño de partícula de 8 µm, acondicionada en el equipo Hitachi Elite Lachrom®, la temperatura de la columna fue de 65°C alcanzada en un horno (L-2300). El tiempo de corrida del análisis fue de 30 minutos durante los cuales la muestra se efluyó a 0,4 mL min⁻¹ con H₂SO₄ 5 mM de manera isocrática.

Ajuste de pH y adición de nutrientes

La melaza presentó un pH inicial de 6,5 para esta investigación se ajustó a 4,5 con la adición de ácido cítrico marca Carlo Erba al 99,5% una vez se agregaron los ingredientes de acuerdo a la siguiente formulación: Urea 4,8 g; fosfato bibásico (Carlo Erba® 98%) 2,4 g; antiespumante (Genquímicos® 20%) 6 mL [9,10,11]

Una vez se adicionaron los ingredientes se preparó un inóculo al 30% del volumen de la solución y 1% de levadura, se llevó hasta una temperatura de 30°C, se contó la población inicial en cámara de Neubauer, de la misma manera se determinó la población final.

Determinación de condiciones en la cámara Ecochamber

El equipo permitió medir la actividad de las levaduras durante el proceso de fermentación, constaba de una cámara con capacidad de 1,5 L, 4 sensores para medir la temperatura, el dióxido de carbono, el oxígeno y la producción de etanol. Con la ayuda de

las 48 horas, IP2, IP6 y T lo hicieron en 18 y 30 horas de manera respectiva, por el contrario IP indicó un valor constante (figura 2). Es importante anotar que la cuantificación del etanol durante las 48 horas se hizo mediante el sensor de la cámara del ecochamber, posteriormente se analizaron las muestras mediante la técnica HPLC al finalizar el proceso para verificar datos con mayor precisión.

El cuadro 4 muestra la producción de etanol en g/L, de acuerdo a los valores máximos medidos por el sensor en el medio ambiente de la cámara del ecochamber durante el proceso de fermentación. Posteriormente se verificó estos valores con la técnica HPLC, en el medio de fermentación cuyos resultados se reportan el figura 2.

En el cuadro 5 se presentan los resultados para la producción de etanol obtenida mediante la técnica HPLC al finalizar el proceso, en él se puede observar que las cepas T, IC1, IP3, IP4, IP6, IP5 presentan los valores más representativos en la producción de etanol en su orden. IC2 e IP1 indicaron valores iguales, mientras que IP2 e IP obtuvieron los valores más bajos al terminar el proceso. La eficiencia de la reacción en la fermentación para los diferentes tipos de cepas estuvo entre el 14,6 y 96,76%. El primer valor corresponde a

Cuadro 4. Producción de etanol representativa durante el proceso de fermentación con melaza y cepas nativas.

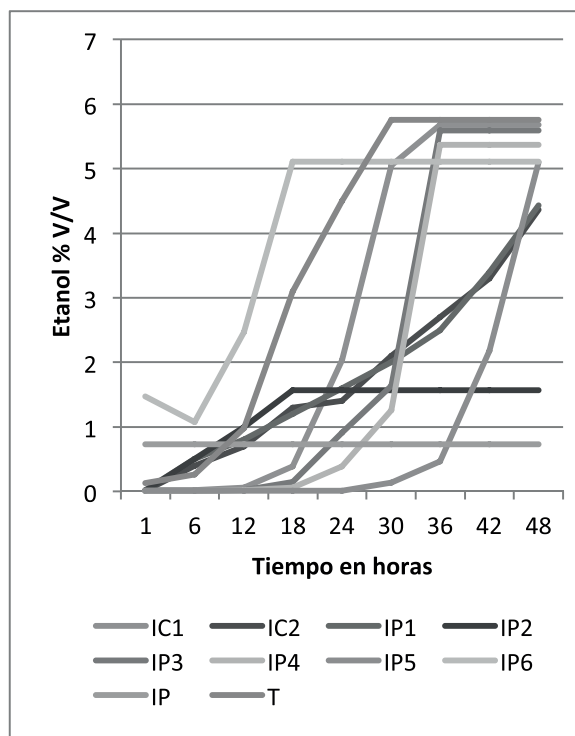
Levadura	Etanol g/L	Tiempo en horas
IC1	239,53	36
IC2	1,97	48
IP1	5,77	48
IP2	0,08*	48
IP3	105,78	36
IP4	41,24	36
IP5	23,46	48
IP6	11,61	18
IP	0,47	1
T	134,22	30

*Valor constante durante el proceso

la cepa IP, la cual presentó los más bajos porcentajes de consumo en glucosa y fructosa (cuadro 5)

Para determinar el porcentaje de conversión de los azúcares, el cuadro 6 indica las cantidades de fructosa, glucosa y maltosa que no reaccionaron en el proceso de fermentación a 48 horas. Los valores representativos en glucosa y fructosa corresponden para las cepas IP e IP2 quienes a su vez presentan los valores mas bajos en la producción de etanol y dióxido de carbono (5,04 g/L y 0,99 g/L de manera respectiva).

Figura 2. Comportamiento del etanol Técnica HPLC.



Cuadro 5. Producción de etanol al finalizar el proceso de fermentación con melaza y cepas nativas.

Levadura	Promedio etanol g/L	Eficiencia %	Grupos
IC1	44,87	96,76	a
IC2	34,5	71,80	d
IP1	35,01	72,39	d
IP2	12,4	31,11	e
IP3	44,16	93,39	a
IP4	42,42	89,07	b
IP5	40,29	85,36	bc
IP6	40,37	85,52	bc
IP	5,77	14,6	f
T	45,5	95,77	a

*Grupos con la misma letra son iguales a $p < 0,05$. STATGRAPHICS 5.1

Cuadro 6. Azúcares no reaccionantes en el proceso de fermentación con melaza y cepas nativas.

Levadura	Azúcares reductores (g/L)		
	Fructosa	Glucosa	Maltosa
IC1	8,36	1,24	3,23
IC2	4,24	0,95	1,07
IP1	4,72	0,99	2,18
IP2	15,23	7,12	1,69
IP3	6,73	1,09	3,14
IP4	6,08	1,07	3,38
IP5	6,37	1,62	2,97
IP6	6,37	1,61	2,99
IP	46,46	46,12	3,12
T	4,59	2,01	0,74

En lo referente a la maltosa IP4, IC1, IP3 e IP presentan similares valores representativos dentro de los grupos de cepas. Los azúcares reductores iniciales en la solución de melaza a 16 °Brix fueron: glucosa: 47,94 g/L; fructosa 50,73 g/L y maltosa 1,58 g/L.

En el cuadro 7 se indica el porcentaje de las cantidades de los azúcares que reaccionaron en la fermentación, los consumos menores de glucosa fueron para las cepas IP2 e IP, mientras las demás cepas presentaron porcentajes similares entre 96 y 98%. Para la fructosa las cepas IP2 e IP indicaron los valores mas bajos,

Cuadro 7. Porcentaje de azúcares reaccionantes en el proceso de fermentación con melaza y cepas nativas.

Levadura	Azúcares reductores (%)	
	Fructosa	Glucosa
IC1	83,52	97,41
IC2	91,64	98,02
IP1	90,70	97,93
IP2	69,98	85,15
IP3	86,73	97,73
IP4	88,01	97,77
IP5	87,44	96,62
IP6	87,44	96,64
IP	8,42	3,80
T	90,95	95,81

siendo representativos en un intervalo entre 83,52 y 91,64% para las restantes.

En lo referente a la maltosa se encontró que para las cepas IC2 y T, los porcentajes de azúcares reaccionantes fueron 32,28 y 53,16%, no obstante las demás cepas necesitaron incrementos adicionales a las cantidades con que partió el experimento y se pueden observar en el cuadro 8 en el porcentaje de incremento residual, esto se puede explicar como el consumo adicional que tuvieron las cepas a partir de la hidrólisis de otros azúcares como la sacarosa.

Por otra parte, el cuadro 9 muestra el crecimiento celular obtenido al finalizar el proceso con cada una de las cepas de levaduras, los valores mayores se reportaron para T, IC1, IP1, IP5, IP4, IP6, IP2, por el contrario IP, IC2, IP3 fueron las que presentaron los valores mas bajos. Es importante anotar que las cepas IP e IP1 inician el proceso con la misma población pero el crecimiento reporta valores diferentes y la producción de etanol fue mayor para IP1. Por otro lado IP3 obtuvo el valor mas bajo en crecimiento celular, pero ocupó el tercer lugar en la producción de etanol al finalizar la fermentación.

Las frutas son fuentes importantes de levaduras debido a su gran cantidad de azúcares simples y a la constante visita de vectores. De acuerdo a Skinner *et al.* (2011) y a Phaff (2011), la microbiota natural de las frutas está compuesta comúnmente de levaduras y hongos levaduriformes de los géneros *Aureobasidium*, *Rhodotorula*, *Sporobolomyces*, *Cryptococcus*, *Candida*, *Pichia*, *Aureobasidium*, *Rhodotorula*,

Cuadro 8. Porcentaje de reacción e incremento residual para la maltosa.

Levadura	% Reacción e Incremento residual
IC1	51,08
IC2	*32,28
IP1	27,52
IP2	6,51
IP3	49,68
IP4	53,25
IP5	46,8
IP6	47,16
IP	49,36
T	*53,16

*Corresponde al valor de reacción en %

Cuadro 9. Crecimiento celular en el proceso de fermentación con melaza y cepas nativas.

Levadura	Población Inicial (células / mL)	Población final (células / mL)	Crecimiento (células/mL)
IC1	1,50E+08	1,80E+09	1,65E+09
IC2	1,44E+08	1,35E+09	1,21E+09
IP	1,30E+08	1,40E+09	1,27E+09
IP1	1,30E+08	1,70E+09	1,57E+09
IP2	1,68E+08	1,50E+09	1,33E+09
IP3	1,40E+08	1,30E+09	1,16E+09
IP4	1,50E+08	1,50E+09	1,35E+09
IP5	1,40E+08	1,60E+09	1,46E+09
IP6	1,60E+08	1,50E+09	1,34E+09
T	1,20E+08	1,95E+09	1,83E+09

Sporobo-lomyces, *Cryptococcus*, *Candida*, *Pichia*, *Hanseniasspora* y raramente *Saccha-romyces* y *Schizosaccharomyces* [12,13].

Por otra parte la concentración de azúcar y el tipo de microorganismo empleado son factores que influyen en la producción de etanol, ya que en el proceso de fermentación se fermentan los azúcares disponibles en materias primas renovables [14,15].

Peña y Arango (2008) en un sustrato industrial de melaza de caña de azúcar con cepas recombinantes de *Saccharomyces cerevisiae* obtuvieron la mayor producción de etanol a concentración de 250 g de sacarosa/L. En estas condiciones la cepa GG570-CIBII produjo en promedio 2,34 g/L de etanol más con respecto a la cepa control y en adición, a las 10 horas, produjo 8,02 g/L por arriba de la cepa control. Por otro lado, la cepa GG570-CIBI produjo 3,46 g/L menos que la cepa control, demostrando que la primera cepa es tolerante a la elevada concentración de sacarosa con mayor producción de etanol respecto al testigo a partir de melaza de caña de azúcar. Las eficiencias alcanzadas por las cepas fueron de 98,81 y 97,94% [16].

Experimentalmente se ha demostrado que las concentraciones de oxígeno disuelto y la de azúcares superiores a 0,16 g/L ó 9 g/L, la levadura *Saccharomyces cerevisiae* mediante el metabolismo oxidoreductivo

incrementa la producción de etanol, conocido el fenómeno como efecto Crabtree [17,18].

Las enzimas que participan en la fermentación etanólica son principalmente la piruvato descarboxilasa y la alcohol deshidrogenasa presentes especialmente en *Saccharomyces cerevisiae* y *Zymomonas mobilis*, estas últimas presentan mayores rendimientos de etanol comparadas con las primeras con valores de 0,49 y 0,46 g/g respectivamente a 200 rpm, pH 5,0 y temperatura de 30°C a una concentración de 100 g/L de glucosa [19].

Para las condiciones de la presente investigación, la temperatura se mantuvo en valores cercanos a los 30°C, sin embargo incrementó cuando disminuyó el oxígeno y se disparó la producción de dióxido de carbono, lo cual obedece a que el metabolismo celular de la levadura inicia la fermentación cuando existe una atmósfera oxidoreductora, así mismo en esta etapa se encontró la mayor producción de etanol para cada una de las cepas. De igual forma se pudo observar que la producción de etanol está íntimamente ligada al consumo de azúcares reductores en especial glucosa, más no al crecimiento celular, lo cual se pudo inferir con el comportamiento de la cepa IP3, que reportó el valor más bajo en crecimiento celular pero una producción representativa en la elaboración de etanol al finalizar el proceso.

La técnica HPLC fué más precisa en la cuantificación del etanol al compararse con el sensor de la cámara Ecochamber.

CONCLUSIONES

El porcentaje de conversión o eficiencia fue mayor para las cepas nativas IC1, IP3, IP4, IP6, IP5.

La producción promedio de etanol obtenido al finalizar el proceso para las cepas anteriormente en mención estuvo entre 44,87 y 40,29 g/L.

Las variables de control, temperatura y oxígeno no presentaron diferencias significativas en el proceso por parte de las diferentes levaduras nativas.

Los valores para la variable dióxido de carbono se encontraron en un intervalo entre 1,07 y 118,6 g/L.

La producción de etanol se encuentra asociada fundamentalmente con el consumo de azúcares reductores en especial glucosa por el microorganismo empleado como la levadura. Por lo que la eficiencia de la reacción química se encuentra en función de las condiciones adecuadas a las que se someta el microorganismo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó gracias a la financiación por parte de la Universidad de San Buenaventura-Cali.

REFERENCIAS

- [1] BOEKHOUT, T., KURTZMAN, C.P. and FELL, J.W. The Yeasts: a Taxonomic Study. Elsevier, 2(5), 2011, p. 270-279
- [2] DUARTE, F.L., BALEIRAS-COUTO, M.M. and ZANOL, G. Restriction profiles of 26S rDNA as a molecular approach for wine yeasts identification. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 25, 2010, p. 75-85.
- [3] SWANGKEAW, J., VICHITPHAN, S., BUTZKE, C. and VICHITPHAN, K. Characterization of *b*-glucosidases from *Hanseniaspora* sp. and *Pichia anomala* with potentially aroma-enhancing capabilities in juice and wine. activity in yeasts of oenological origin. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 27, 2011, p. 423-430.
- [4] TRINDADE, R.C., RESENDE, M.A., SILVA, C.M. and ROSA, C.A. Yeasts associated with fresh and frozen pulps of Brazilian tropical fruits. *System Applied Microbiology*, 25, 2012, p. 294-300.
- [5] ROMO-SÁNCHEZ, S., ALVES-BAFFI, M., ARÉVALO-VILLENA, M., ÚBEDA-IRANZO, J. and BRIONES-PÉREZ, A. Yeast biodiversity from oleic ecosystems: Study of their biotechnological properties. *Food microbiology*, 27, 2010, p. 487-492.
- [6] ZUMAQUE, L., MANTILLA, C. y PANTOJA, M. Levaduras autóctonas con capacidad fermentativa en la producción de etanol a partir de la pulpa de excedente de plátano *Musa* en el Departamento de Córdoba. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 11, 2009, p. 40-47.
- [7] SALAZAR, B., CAMIRUAGA, A.I., GARCÍA, O., GARCÍA, D.B. y FAVILA, H.J. 2012. Consumo y conocimiento actual de una bebida fermentada tradicional en Ixtapan del Oro, Mexico. *Alteridades*, 22, 2012, p. 313-349.
- [8] MACHADO, M.C. Situación de los biocombustibles de 2da y 3era generación en América latina y el Caribe. Brasilia (Brasil): Organización Latinoamericana de Energía- IICA, 2010, 104 p.
- [9] CLAASSEN, P., VAN, J., LÓPEZ, A., SIJTSMA, L., STAMS, A., DE VRIES, S. and WEUSTHUIS, R. Utilisation of biomass for the supply of energy carriers. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 52, 2011, p. 741-755.
- [10] CHUM, H.L. and OVEREND, R.P. Biomass and renewable fuels. *Fuel Process Technology*, 71, 2010, p. 187-195.
- [11] MOREIRA, J. and GOLDEMBERG, J. The alcohol program: United States experience with gasoline additives. *Energy Policy*, 29, 2010, p. 1-5.
- [12] SKINNER, F.A., PASSMORE, S.M. and DAVENPORT, R.R. *Biology and Activities of Yeasts*. 2 ed. London (England): Academic Press, 2010, p. 37-54.
- [13] PHAFF, H.J. Specific habitats of yeasts and their isolation. *USFCC Newsletter*, 18(4), 2011, p. 11-12.
- [14] COLOMBIA. FEDERACIÓN NACIONAL DE BIOCOMBUSTIBLES. ABC de los alcoholes carburantes [online]. Disponible: <http://www.minminas.gov.co/sectores.nsf>. [citado 23 de Mayo del 2013]
- [15] SOLICLIMA ENERGIA SOLAR. El etanol como biocombustible [online]. Disponible: <http://news.soliclima.com/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=118>. [citado 12 de Junio del 2013]
- [16] PEÑA, C. y ARANGO, R. Evaluación de la producción de etanol utilizando cepas recombinantes de *Saccharomyces cerevisiae* a partir de melaza de caña de azúcar. *Dyna*, 159, 2008, p. 153-161
- [17] GONZALEZ, R., BARCENILLA, J. y TABERA, L. Cepas vinicas de *Saccharomyces cerevisiae* con bajo rendimiento en etanol. *Revistas de Enología*, 86, 2010, p. 36-45
- [18] HIDALGO, J. *Tratado de Enología*. 2 ed. México (México): Ediciones Mundi- Prensa, p. 27-45
- [19] GENG, A. and ZHANG, W. Improved ethanol production by a xylose fermented yeast strain constructed through a modified genome shuffling method. *Biotechnology for biofuels*, 5, 2012, p. 56-68

EFEECTO DE LA ADICIÓN DE CEPAS PROBIÓTICAS SOBRE METABOLITOS SANGUÍNEOS EN CERDOS EN CRECIMIENTO

EFFECT OF THE ADDITION OF PROBIOTIC STRAINS ON BLOOD METABOLITES IN GROWING PIGS

EFEITO DA ADIÇÃO DO PROBIÓTIÇO TENSÕES SOBRE OS PARÂMETROS SANGUÍNEOS DE PORCOS EM CRESCIMENTO

SANTIAGO LONDOÑO-PÉREZ¹, JAIME PARRA-SUESCÚN²

RESUMEN

*El destete es la fase más crítica del cerdo, produciendo trastornos intestinales y diarreas. Para prevenirlo, se han utilizado antibióticos promotores de crecimiento (APC), generando residuos medicamentosos en el producto final. Como alternativa, se utilizan bacterias probióticas que favorecen la síntesis proteica y el metabolismo lipídico. El objetivo fue identificar cambios en metabolitos plasmáticos en cerdos posdestete que consumieron diferentes cepas probióticas. 80 lechones (destetados a 21 días) consumieron dos dietas: dieta comercial con y sin la adición de antibiótico (con adición de probióticos *L. casei*, *L. acidophilus* o *E. faecium*) en el agua. Se tomaron muestras sanguíneas (días 15, 30 y 45 posdestete) para determinar cambios plasmáticos de metabolitos. Se observó un aumento ($P < 0,05$) en niveles plasmáticos de Calcio, Fósforo, glucosa y Fosfatasa alcalina; además, disminuyeron los niveles de Creatinina, triglicéridos y ALT (alanina-transferasa) en animales que consumieron *E. faecium*, comparándolos con los que consumieron antibiótico. Los probióticos (especialmente *E. faecium*), pueden ser considerados como una alternativa al uso de APC en dietas de cerdos, pues mejoran el estado de órganos digestivos y actúan como promotores naturales del*

Recibido para evaluación: 22 de julio de 2015. **Aprobado para publicación:** 28 de Septiembre de 2015

1 Universidad Nacional de Colombia, BIOGEM research group. Zootecnista M.Sc (C). Medellín, Colombia.

2 Universidad Nacional de Colombia. BIOGEM research group. Zootecnista, M.Sc., Ph.D. Medellín, Colombia.

crecimiento ya que mejoran el estado metabólico del animal con cambios positivos en los niveles sanguíneos de Calcio, Fósforo y Glucosa.

ABSTRACT

*Weaning is the most critical phase of the pig, causing intestinal disorders and diarrhea. To prevent this, have been used antibiotic growth promoters (AGP), generating medicine residues in the final product. Alternatively, bacteria that promote protein synthesis and lipid metabolism have been used probiotic. The aim was to identify changes in plasma metabolites in weaning pigs fed different probiotic strains. 80 piglets (weaned at 21 days) consumed two diets: Commercial diet with and without the addition of antibiotic (with added probiotic *L. casei*, *L. acidophilus* or *E. faecium*) in water. Blood samples were taken (15, 30 and 45 post-weaning) to determine plasma metabolite changes. An increase ($P < 0,05$) in plasma levels of calcium, phosphorus, alkaline phosphatase and glucose was observed; also decreased levels of creatinine, triglycerides and ALT (alanine aminotransferase) in animals fed *E. faecium*, compared with those who consumed antibiotic. Probiotics (particularly *E. faecium*), can be considered as an alternative to the use of AGP in pig diets, by improving the state of digestive organs and act as natural growth promoters because they improve the metabolic state of the animal with positive changes in blood levels of calcium, phosphorus and glucose.*

RESUMO

*O desmame é a fase mais crítica do porco, causando distúrbios intestinais e diarreia. Para evitar isso, foram utilizados antibióticos promotores de crescimento (APC), gerando resíduos de medicamentos no produto final. Alternativamente, as bactérias probióticas que promovem a síntese de proteínas e do metabolismo de lipídios são usados. O objetivo foi identificar mudanças nos metabólitos plasmáticos em leitões desmamados alimentados com diferentes cepas probióticas. 80 leitões (desmamados aos 21 dias) consumiram duas dietas: dieta comercial, com e sem a adição de antibióticos (com adição de *L. casei*, *L. acidophilus* ou *E. faecium*) em água. As amostras de sangue (15, 30 e 45 pós-desmame) foram utilizados para determinar as alterações de metabólitos no plasma. Foi observado um aumento ($P < 0,05$) dos níveis plasmáticos de cálcio, fósforo, fosfatase alcalina e glicose; também diminuição dos níveis de creatinina, triglicérides e ALT (alanina-aminotransferase) em animais alimentados com *E. faecium*, em comparação com aqueles que consumiram antibiótico. Os probióticos, particularmente (*E. faecium*), pode ser considerada como uma alternativa para a utilização de APC em dietas para suínos, por melhoria do estado dos órgãos digestivos, actuam como factores de crescimento natural, e melhorar o estado metabólico do animal com alterações positivas na níveis sanguíneos de cálcio, fósforo e glicose.*

PALABRAS CLAVE:

Antibióticos, Destete, Digestión, Lechones, Nutrientes.

KEYWORDS:

Antibiotics, Digestion, Nutrients, Piglets, Weaning.

PALAVRAS-CHAVE:

Antibióticos, Desmame, Digestão, Leitões, Nutrientes

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los sistemas de producción porcina requieren estudios que vayan orientados a favorecer el rendimiento en canal con cerdos de rápido crecimiento, enfatizando en aspectos que indiquen el estado de salud y metabolismo del animal. Los cerdos constantemente están expuestos a una gran cantidad de factores que pueden ocasionar patologías, afectando negativamente los parámetros zootécnicos y aumentando los requerimientos nutricionales, ya que gran parte de los nutrientes que deben ser aprovechados por el animal para maximizar su crecimiento, son utilizados para generar células del sistema inmune que ayuden a combatir la enfermedad [1].

En la producción porcina moderna, el destete es uno de los períodos más críticos durante la vida del cerdo debido a la alta exposición a factores estresantes [2]. Además, hay una serie de cambios nutricionales, sociales y ambientales que inducen a respuestas de estrés, generando una mayor susceptibilidad a contraer infecciones. Estas respuestas son mayores, cuando se produce el destete temprano. Es evidente que un destete precoz, puede causar problemas de adaptación, tener efectos negativos inmediatos sobre la fisiología, desempeño y comportamiento [3].

La primera semana después del destete es considerado como el período más estresante en los lechones y se asocia con trastornos intestinales y presentación de diarreas; todo esto puede ser atribuible en gran medida al estrés generado por pasar de consumir alimento líquido (leche materna) a consumir alimento sólido a base de cereales. Los cambios en la composición microbiana (patógena) del intestino por consumir diferentes alimentos en tan poco tiempo, puede afectar notablemente el metabolismo y por ende los compuestos en sangre como aminoácidos, creatinina y células del sistema inmune de los lechones [4].

En cerdos, las infecciones bacterianas causan signos clínicos como enterocolitis y normalmente persisten infecciones subclínicas. Estos animales infectados son tratados generalmente con antibióticos como aditivos en el alimento, previniendo en algunos casos, los brotes de infección en la producción porcina. Debido a la creciente tasa de resistencias microbianas contra los antibióticos, la Unión Europea desde 2006 ha optado por la prohibición de su uso como promotores de crecimiento en animales de producción (Riegera *et al.*, 2015).

Han surgido diferentes alternativas para evitar la producción de cerdos con antibióticos como promotores de crecimiento, y entre estas se puede destacar el uso de probióticos. La adición de estos microorganismos ha sido de gran importancia, ya que reducen el pH a nivel intestinal inhibiendo el desarrollo de organismos patógenos tales como coliformes y salmonella que se desarrollan en el tracto gastrointestinal [6]. Además, los probióticos ejercen propiedades promotoras de la salud, incluyendo, el mantenimiento de la función de barrera intestinal y la modulación local y sistémica del sistema inmune del huésped, lo que contribuye al mejoramiento de la síntesis de proteína y el metabolismo de los lípidos [7,8].

Teniendo en cuenta lo anterior, el propósito de este estudio fue obtener información sobre los cambios en los metabolitos plasmáticos en cerdos en etapa de crecimiento que consumieron diferentes cepas probióticas.

MÉTODO

Consideraciones éticas

Todos los procedimientos experimentales fueron llevados a cabo de acuerdo a las guías propuestas por "The International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals" [9]. Esta investigación fue avalada por El Comité de Ética en la Experimentación Animal de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín (CEMED- 03 del 07 de Mayo de 2012).

Localización

El trabajo de campo se realizó en la Granja Caña Brava, ubicada en el municipio de Gómez Plata, vereda "La Bonita", localizada a 1540 msnm, con una temperatura promedio de 21°C, perteneciente a la zona de vida de Bosque Húmedo Premontano (bh-PM).

Animales

Se utilizaron 80 lechones (hembras y machos) del cruce Duroc x Pietran, destetados exactamente a los 21 días de edad, con un peso aproximado de $6 \pm 0,5$ Kg, los cuales fueron alojados en grupos de 8 animales durante el período de levante. Cada una de las instalaciones o corrales estaba provista de comederos de canoa y bebedero automático con agua a voluntad, se tenía temperatura controlada ($26 \pm 3^\circ\text{C}$). Las dietas se

balancearon para cumplir con todos los mínimos nutricionales requeridos y propuestos por el NRC, [10]. La dieta comercial ofrecida fue enriquecida con vitaminas y minerales. La cantidad de alimento ofrecido a los lechones por corral fue administrada de acuerdo a la tabla dietaria que corresponde para la etapa productiva (levante). Así mismo, el agua de bebida que contenía las diferentes cepas probióticas se ofreció diariamente desde el día 1 del destete hasta finalizar el experimento, el cual tuvo una duración de 45 días (correspondiente a la fase de levante). Durante la lactancia no se suministró alimento sólido a los lechones.

Instalaciones y Equipos

Los cerdos fueron alojados en corrales con piso de cemento (1,5 x 3 m), los cuales fueron desinfectados y encalados para la llegada de los lechones. Del día 0 al 15 del experimento, los corrales estaban dotados de lechonerías y cama de viruta de madera; y para mantener la temperatura homogénea, el corral estaba provisto de cortinas. Para realizar el pesaje de los cerdos y el alimento suministrado se utilizó una balanza digital.

Dietas

Los animales fueron alimentados con dos dietas: dieta comercial con y sin la adición de antibiótico. Los diferentes probióticos (*L. casei*, *L. acidophilus* o *E. faecium*) se suministraron en el agua de bebida de los animales que consumieron la dieta comercial sin antibiótico, así:

- Dieta 1 Control (D1): alimento comercial sin antibiótico, sin adición de cepa probiótica en el agua de bebida.
- Dieta 2 (D2): alimento comercial con antibiótico, sin adición de cepa probiótica en el agua de bebida.
- Dieta 3 (D3): alimento comercial sin antibiótico, con adición de la cepa comercial probiótica *Lactobacillus acidophilus* en el agua de bebida.
- Dieta 4 (D4): alimento comercial sin antibiótico, con adición de la cepa comercial probiótica *Lactobacillus casei* en el agua de bebida.
- Dieta 5 (D5): alimento comercial sin antibiótico, con adición de la cepa comercial probiótica *Enterococcus faecium* en el agua de bebida.

La cantidad de probiótico adicionado se realizó siguiendo las instrucciones para su preparación y adición según lo recomendado por el fabricante. La inclusión de los probióticos en el agua de bebida se realizó por

mezclado directo de un litro de agua con 30 gramos de azúcar comercial para garantizar poblaciones mínimas de 10^8 UFC con una viabilidad adecuada, la cual fue adicionada a un tanque de 50 L y evaluada por medio de análisis microbiológicos. El alimento utilizado en el estudio estuvo libre de antibióticos (excepto la dieta D2), ya que no fue de interés modificar la dieta, sino la incorporación de los probióticos como una alternativa al uso de antibióticos. Las dietas experimentales se proporcionaron durante 45 días a partir del día del destete (día 21 de vida).

Toma de muestras de sangre

Se tomaron 10 mL (por animal) de sangre de la vena yugular en dos tubos con anticoagulante, las muestras se mantuvieron en frío para su transporte al laboratorio donde fueron centrifugadas a 1500 rpm para separar el plasma en dos alícuotas que se congelaron a -70°C hasta la realización de los análisis. De igual manera se tomaron las células sanguíneas precipitadas para realizar el extendido en un portaobjetos. El muestreo para los lechones se realizó los días 15, 30 y 45.

Cuantificación de metabolitos sanguíneos

La cuantificación en suero se realizó mediante el estuche comercial (DIA.PRO Diagnostic Bioprobes), siguiendo las instrucciones del fabricante. Se utilizaron tres controles negativos (CN), dos calibradores (C) y un control positivo (CP) en cada plato. El punto de corte (Cut off: CO) fue determinado como el promedio de las densidades ópticas a 450 nm (DO 450) de los controles negativos (NC) + 0,35. Los resultados para cada variable en sangre fueron interpretados como la relación entre la DO450 de la muestra y el CO así: M/CO menor 0,9 negativo, M/CO entre 1,0 y 1,1 indeterminado y M/CO mayor de 1,1 positivos. La medición de las densidades ópticas, se hizo usando espectrofotómetro.

Análisis estadístico

Se realizó un diseño de bloques al azar (dos bloques) en un arreglo de medidas repetidas en el tiempo. Para la conformación de los bloques se tomó en consideración el peso inicial de los animales. Cada animal fue asignado a una de 5 dietas experimentales (alimento comercial sin probióticos, alimento sin antibióticos y sin probióticos, y alimento con adición de *L. Casei*, *L. Acidophilus* y *E. Faecium*). Cada tratamiento tuvo un total de 2 repeticiones con 8 animales por repetición,

donde los animales fueron aleatorizados. Para la conformación de los bloques se tomó en consideración el peso inicial de los animales. El análisis estadístico fue desarrollado usando el procedimiento GLM del SAS® [11]. Las diferencias entre tratamientos y periodos fueron determinadas por LS means (media de mínimos cuadrados); además se utilizó una prueba de Duncan para detectar significancia ($P < 0,05$) entre las medias.

RESULTADOS

Los cerdos que consumieron las diferentes dietas no presentaron ningún signo de enfermedad que causara su retiro y/o sacrificio de inmediato, todos presentaron un buen estado de salud. Adicional a esto, con la cantidad de alimento ofrecido no se encontraron sobran-tes ni desperdicios de comida.

En este experimento no se encontró interacción estadística entre las diferentes dietas y los días de evaluación para ninguna de las variables en estudio, por lo que no fue necesario analizar y desglosar dichos factores de manera independiente.

Para cada uno de las variables en estudio, se presentó diferencia significativa estadística entre las dietas dentro de cada uno de los periodos de muestreo (15, 30 y 45) ($P < 0,05$). Para los metabolitos sanguíneos, hubo diferencia significativa ($P < 0,05$) entre los resultados obtenidos para las dietas sin adición de cepas probióticas (D1 vs D2), menos para creatinina el día 30 y 45 de muestreo, en los cuales no hubo diferencia significativa para la variable evaluada. Se observó diferencia estadística significativa ($P < 0,05$) entre dietas que contenían cepas probióticas con respecto a D2, excepto lo ocurrido para creatinina, calcio y glucosa el día 45 y para ALT (alanino transferasa) el día 15 y 30, ya que no hubo diferencia significativa ($P < 0,05$) entre D2 y D3 como se reporta en la cuadro 1. Además, en esta misma tabla se observa que hubo diferencia significativa ($P < 0,05$) entre los valores de los metabolitos sanguíneos cuando transcurrían los días posdestete, menos en la variable ALT en el día 30 y 45 en los animales que consumieron el probiótico *E. faecium*, ya que no hubo diferencia significativa ($P < 0,05$) entre estos dos periodos de muestreo.

Para la variable creatinina hubo diferencia significativa ($P < 0,05$) entre los tratamientos que contenían cepas probióticas (D3, D4 y D5) el día 45 de muestreo. Cuando se comparan los resultados obtenidos para las va-

riables fósforo, triglicéridos y ALT, se observa diferencia estadística significativa ($P < 0,05$) entre los tratamientos que tenían animales consumiendo algún tipo de cepa probiótica en diferentes periodos de tiempo (Cuadro 1).

Al comparar la dieta 5 con los demás tratamientos, se observa (cuadro 1) que hubo diferencia significativa ($P < 0,05$) entre estos, excepto para la variable calcio en la que no se observó diferencia estadística significativa en los días 30 y 45 de muestreo.

Para las misma variables en estudio (Cuadro 1), se presentaron diferencias significativas estadística entre los diferentes días de muestreo dentro de cada una de las dietas ($P < 0,05$), donde en el día 45 se presentaron los mayores valores para fósforo, calcio, glucosa y fosfatasa y los menores para creatinina, triglicéridos y ALT.

Una observación interesante de este trabajo es que las concentraciones séricas de glucosa aumentaron en los animales que consumieron probióticos, lo que indica un cambio en el metabolismo de los carbohidratos. Esto puede deberse al aumento en la digestibilidad de los nutrientes, pues en la investigación realizada por Xiao *et al.* [12], encontraron que en cerdos suplementados con glutamina, se redujo la concentración sérica de D - fructosa como consecuencia de la conversión de fructosa a glucosa a través de la fosforilación de la fructosa-L-fosfato o fructosa-6-fosfato, catalizada por fructoquinasa y HK, respectivamente.

Los resultados de este estudio indican que animales alimentados con probióticos tienen menor cantidad de triglicéridos en la sangre. Teniendo en cuenta que los triglicéridos son los compuestos que ayudan a movilizar la grasa a través del torrente sanguíneo, los niveles elevados de triglicéridos se asocian cada vez con un mayor riesgo de enfermedades del corazón [13]. Además, se ha observado efectos en la reducción del colesterol en sangre de cerdos que tuvieron a disposición alimento con probióticos del genero *Lactobacilos* [14], lo que puede resultar benéfico tanto para los lechones como para el consumidor final de la carne de cerdo, ya que se ha encontrado que las personas que tienen altos niveles de colesterol LDL y niveles bajos de colesterol HDL suelen tener alto los niveles de triglicéridos en sangre [13].

En un estudio realizado con *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus reuteri*, *Lactobacillus gasseri*, se reportó una mejor absorción de calcio en ratas en crecimiento y un mayor peso óseo del grupo alimentado con probióticos en comparación con el grupo control [15]. Las

Cuadro 1. Metabolitos sanguíneos en cerdos que consumieron dietas con y sin la adición de cepas probióticas durante 45 días postdestete.

Variable (%)	Día	D1	D2	D3	D4	D5	EEM
Creatinina (mg/dL)	15	1,03 ^{A,X}	0,98 ^{B,X}	0,92 ^{C,X}	0,92 ^{C,X}	0,86 ^{D,X}	0,01
	30	0,96 ^{A,Y}	0,94 ^{A,Y}	0,88 ^{B,Y}	0,87 ^{B,Y}	0,81 ^{C,Y}	
	45	0,91 ^{A,Z}	0,88 ^{AB,Z}	0,84 ^{B,Z}	0,80 ^{C,Z}	0,75 ^{D,Y}	
Fósforo (mg/dL)	15	4,88 ^{A,X}	5,11 ^{B,X}	5,24 ^{B,X}	5,68 ^{C,X}	6,22 ^{D,X}	0,04
	30	5,29 ^{A,Y}	5,59 ^{B,Y}	5,98 ^{C,Y}	6,37 ^{D,Y}	7,82 ^{E,Y}	
	45	5,60 ^{A,Z}	7,13 ^{B,Z}	6,62 ^{C,Z}	6,94 ^{D,Z}	8,57 ^{E,Z}	
Calcio (mg/dL)	15	5,77 ^{A,X}	6,87 ^{B,X}	7,82 ^{C,X}	8,21 ^{D,X}	9,20 ^{E,X}	0,11
	30	7,25 ^{A,Y}	8,28 ^{B,Y}	9,31 ^{C,Y}	10,2 ^{D,Y}	10,2 ^{D,Y}	
	45	8,2 ^{A,Z}	9,2 ^{B,Z}	10,1 ^{B,Z}	10,9 ^{C,Z}	10,9 ^{C,Z}	
Glucosa (mg/dL)	15	100,5 ^{A,X}	110,3 ^{B,X}	118,2 ^{C,X}	123,8 ^{D,X}	129,6 ^{E,X}	0,08
	30	109,7 ^{A,Y}	119,6 ^{B,Y}	126,5 ^{C,Y}	130,8 ^{C,Y}	138,7 ^{D,Y}	
	45	122,9 ^{A,Z}	132,9 ^{B,Z}	136,8 ^{BC,Z}	139,8 ^{C,Z}	147,8 ^{D,Z}	
Triglicéridos mg/dL)	15	84,5 ^{A,X}	80,1 ^{B,X}	78,5 ^{C,X}	73,4 ^{D,X}	65,5 ^{E,X}	0,26
	30	82,2 ^{A,Y}	79,5 ^{B,Y}	76,3 ^{C,Y}	69,2 ^{D,Y}	59,4 ^{E,Y}	
	45	79,9 ^{A,Z}	77,8 ^{B,Z}	72,1 ^{C,Z}	63 ^{D,Z}	51,3 ^{E,Z}	
ALT (U/L)	15	37,2 ^{A,X}	34,8 ^{B,X}	34,7 ^{B,X}	31,8 ^{C,X}	25,1 ^{D,X}	0,31
	30	33,5 ^{A,Y}	31,1 ^{B,Y}	30,1 ^{B,Y}	25,6 ^{C,Y}	18,3 ^{D,Y}	
	45	29,9 ^{A,Z}	27,1 ^{B,Z}	24,5 ^{C,Z}	18,3 ^{D,Z}	11,5 ^{E,Y}	
Fosfatasa (U/L)	15	107,4 ^{A,X}	126,5 ^{B,X}	151,2 ^{C,X}	165,3 ^{D,X}	180,4 ^{E,X}	2,05
	30	132,4 ^{A,Y}	160,7 ^{B,Y}	181,1 ^{C,Y}	183,9 ^{C,Y}	214 ^{D,Y}	
	45	159,4 ^{A,Z}	192,9 ^{B,Z}	209 ^{C,Z}	208,5 ^{C,Z}	241,6 ^{D,Z}	

D1: Alimento comercial sin antibiótico y sin probiótico; D2: Alimento comercial + antibiótico; D3: Alimento comercial sin antibiótico + *L. acidophilus*;

D4: Alimento comercial sin antibiótico + *L. casei*; D5: Alimento comercial sin antibiótico + *E. faecium*.

^{A,B,C,D,E} Dentro de una misma fila, medias con diferente superíndice son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

^{X,Y,Z} Dentro de una misma columna medias con un superíndice común (por variable en estudio) no difieren estadísticamente ($p < 0.05$).

EEM: Error estándar de la media.

bacterias probióticas tienen la capacidad de producir la enzima fitasa, que puede liberar minerales que no son disponibles por la acción del fitato, resultando en una mayor disponibilidad de minerales como calcio y fósforo [16]. Lo anterior, explica los resultados obtenidos en esta investigación donde se observó que los cerdos que consumieron cepas probióticas, presentaron niveles mayores de calcio y fósforo en sangre, lo que puede indicar un mejor aprovechamiento de estos minerales a nivel intestinal.

La creatinina se deriva del metabolismo de la creatina del músculo esquelético y de la ingesta de proteína suministrada en la dieta, siendo un parámetro útil para indicar el buen funcionamiento renal, ya que niveles de creatinina en sangre por encima del límite normal, puede dar indicios de una reducción de la filtración glomerular del 50% o más [17]. Los niveles de Alanino-Aminotransferasa (ALT) en suero se utilizan como marcador biológico para la detección de lesiones hepáticas, obesidad, enfermedades musculares, síndrome metabólico, entre otros. No obstante, la liberación de ALT puede estar asociada a otros mecanismos y

tejidos, ya que se han observado niveles elevados sin evidencias de daño hepático [18]. En esta investigación, se observó una reducción de creatinina y ALT con la adición de cepas probióticas, especialmente *E. faecium*, lo que puede indicar que los animales que consumieron cepas probióticas pudieron haber tenido un mejor funcionamiento de órganos metabólicos a pesar de que los niveles de encontrados en todos los tratamientos evaluados estuvieron dentro del rango de referencia normal.

CONCLUSIONES

La adición de probióticos en dietas de cerdos en etapa de crecimiento puede generar cambios en los metabolitos sanguíneos, indicando el buen funcionamiento de órganos metabólicos. Además, el suministro de probióticos, especialmente *E. faecium*, aumenta el aprovechamiento del calcio y fósforo por parte del animal y genera un cambio en el metabolismo de los carbohidratos favoreciendo la disponibilidad de glucosa como fuente de energía para los cerdos en fase posdestete. Lo anterior indica que el perfil metabólico sérico podría ser utilizado para investigar las diferencias nutricionales en lechones.

REFERENCIAS

- [1] COLINA, J., RICO, D., ARAQUE, H., RUEDA, E., LEÓN, M., TOVAR, C. y ROSINI A. Hematología, metabolitos sanguíneos y peso de órganos de cerdos en crecimiento alimentados con Harina de Pijigüao (*Bactris gasipaes* H.B.K.) y Lisina. Revista Facultad de Ciencias Veterinarias, 51(1), 2010, p. 51-62.
- [2] BOUDRY, C., DEHOUX, J., PORTETELLE, D. and BULDGEN, A. Bovine colostrum as a natural growth promoter for newly weaned piglets: a review. Biotechnologie Agronomie Société Environnement, 12(2), 2008, p. 157-170. 2008.
- [3] CAMPBELL, J., CRENSHAW, J. and POLO, J. The biological stress of early weaned piglets. Journal of Animal Science and Biotechnology, 4(1), 2013, p. 4-19.
- [4] SUGIHARTO, S., HEDEMANN, M. and LAURIDSEN, C. Plasma metabolomic profiles and immune responses of piglets after weaning and challenge with *E. coli*. Journal of Animal Science and Biotechnology, 5, 2014, p. 5-17.
- [5] RIEGER, J., JANCZYK, P., HÜNIGEN, H., NEUMANN, K. and PLENDL, J. Intraepithelial lymphocyte numbers and histomorphological parameters in the porcine gut after *Enterococcus faecium* NCIMB 10415 feeding in a *Salmonella Typhimurium* challenge. Veterinary Immunology and Immunopathology, 164, 2015, p. 40-50.
- [6] MISSOTTEN, J., MICHIELS, J. and DEGROOTE, J.D.S.S. Fermented liquid feed for pigs: an ancient technique for the future. Journal of Animal Science and Biotechnology, 6(1), 2015, p. 1-9.
- [7] WANG, X., YANG, F., LIU, C., ZHOU, H., WU, G., QIAO, S., LI, D. and WANG, J. Dietary supplementation with the probiotic *Lactobacillus fermentum* I5007 and the antibiotic Aureomycin differentially affects the small intestinal proteomes of weanling piglets. Journal of Nutrition, 142(1), 2012, p. 7-13.
- [8] PLAZA-DÍAZ, J., GOMEZ-LLORENTE, C., FONTANA, L. and GIL, A. Modulation of immunity and inflammatory gene expression in the gut, in inflammatory diseases of the gut and in the liver by probiotics. World Journal of Gastroenterology, 20, 2014, p. 15632-15649.
- [9] COUNCIL FOR INTERNATIONAL ORGANIZATIONS OF MEDICAL SCIENCES (CIOMS). International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals. Geneva (Italy): 1985, 28 p.
- [10] NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). The Nutrient Requirements of Swine. 11th ed. Washington DC (USA): National Academy Press, 2012, 400 p.
- [11] Statistical Analysis Systems Institute (SAS). SAS/STAT User's Guide. Version 9.2th. Cary, NC (USA): SAS Institute Inc, 2007, p. 121.
- [12] XIAO, Y., WU, X., SUN, M., YANG, L., HONG, H., CHEN, G. and YANG, M. Response to dietary L-glutamine supplementation in weaned piglets: a serum metabolomic comparison and hepatic metabolic regulation analysis. Journal of Animal Science, 90(12), 2012, p. 4421-4430.
- [13] PONNAMPALAM, E., LEWANDOWSKI, P., NESARSTNAM, K., DUNSHEA, R. and GILL, H. Differential effects of natural palm oil, chemically- and enzymatically-modified palm oil on weight gain, blood lipid metabolites and fat deposition in a pediatric pig model. Nutrition Journal, 10, 2011, p. 1-7.

- [14] LYE, H., KHOO, Y., KARIM, A., RUSUL, G. and LIONG, T. Growth properties and cholesterol removal ability of electroporated *Lactobacillus acidophilus* BT 1088. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 22(7), 2012, p. 981-989.
- [15] GHANEM, K., BADAWEY, I. and ABDEL-SALAM, A. Influence of yoghurt and probiotic yoghurt on the absorption of calcium, magnesium, iron and bone mineralization in rats. *Milchwissenschaft*, 59, 2004, p. 472-475.
- [16] PARVANEH, K., JAMALUDDIN, R., KARIMI, G. and ERFANI, R. Effect of probiotics supplementation on bone mineral content and bone mass density. *Scientific World Journal*, 2014, p. 1-6
- [17] FERNANDEZ-GARCÍA, M., RODRÍGUEZ-FELICES, Y., GALLARDO-ESCUADERO, A., MATA-SOTO, C., PLANELLS, E., LISBONA, F., ALFÉREZ, J. y LÓPEZ-ALIAGA, I. Estudio del metabolismo proteico en una población de jóvenes sanos: factores asociados. *ARS Pharmaceutica*, 51(3), 2010, p. 401-406.
- [18] GONZALEZ, J.D. *Alanina Aminotransferasa en Sparus aurata*: control de la expresión génica mediante RNAi y de la actividad enzimática por aminooxiacetato [Tesis Doctoral Biotecnología]. Barcelona (España). Universidad de Barcelona, Facultad de Farmacia, Departamento de Bioquímica, 2012, p. 186.

CRECIMIENTO DE *L. plantarum* y EFECTO SOBRE *E. coli*, *S. typhimurium*, *C. perfringens*, y *S. aureus*

GROWTH OF *L. plantarum* AND EFFECT ON *E.* *coli*, *S. typhimurium*, *S. aureus* AND *C. perfringens*

CRESCIMENTO DO *L. plantarum* E EFEITO SOBRE *E.coli*, *S.typhimurium*, *S.aureus* *C.perfringens*

HENRY JURADO-GÁMEZ¹, VERÓNICA JARRÍN-JARRÍN², JOHN PARREÑO-SALAS³

RESUMEN

El objetivo fue determinar el efecto probiótico de Lactobacillus plantarum sobre Escherichia coli, Salmonella typhimurium, Clostridium perfringens y Staphylococcus aureus. Se realizó antibiograma; inhibición in vitro y su sobrenadante; viabilidad a bilis y sales biliares, pH (2,5; 4,5 y 7) y temperatura (38 y 45°C); cinética de crecimiento de L. plantarum; además, análisis de péptidos y ácidos orgánicos por HPLC. Se observó susceptibilidad de Dicloxacilina, Ciprofloxacina y Penicilina para L. plantarum; Cefalotina para C. perfringens; Cefepime y Ciprofloxacina para S. typhimurium; Cefepime para E. coli; y Cefepime y Cefalotina para S. aureus. La bacteria láctica inhibió las cepas patógenas pero su sobrenadante no inhibió a C. perfringens. L. plantarum mostró crecimientos de 32,25 y 32,38 LN UFC/mL para 1 y 1,2% de bilis. 28,73, 28,59 y 28,02 LN UFC/mL para pH 2,5; 4,5 y 7. 31,58 y 31,03 UFC/mL para 38 y 45°C. La fase logarítmica se observó a las 12:00 horas (32,04 UFC/mL, 4,85 pH, 0,84 acidez, 4,79 mg/L de azúcares, 1,59 mg/L de proteína); identificándose los péptidos VAR-TIR-VAL y Metionina Enquefalina Acetato,

Recibido para evaluación: 9 de marzo de 2015. **Aprobado para publicación:** 10 de agosto de 2015

- 1 Universidad de Nariño, Facultad de ciencias pecuarias, Departamento de producción y procesamiento animal, Programa de Zootecnia, Grupo de investigación FISE-PROBIOTEC. Ph. D. Ingeniería de alimentos. Pasto, Colombia.
- 2 Universidad de Nariño, Facultad de Agroindustria, Programa de Agroindustria. M. Sc. Producción animal. Pasto, Colombia.
- 3 Universidad de Nariño; Grupo de investigación FISE-PROBIOTEC. Zootecnista. Pasto, Colombia.

Correspondencia: henryjugam@gmail.com

y 74,20% de ácido láctico en sobrenadante. Se concluye que *L. plantarum* posee características probióticas.

ABSTRACT

The objective was to determine the effect of probiotic Lactobacillus plantarum on Escherichia coli, Salmonella typhimurium, Clostridium perfringens and Staphylococcus aureus. Susceptibility testing was performed; inhibition in vitro and supernatant; viability bile and bile salts, pH (2,5; 4,5 and 7) and temperature (38 and 45°C); growth kinetics of L. plantarum; Additional analysis of peptides and organic acids by HPLC. Dicloxacillin, ciprofloxacin and penicillin susceptibility was observed for L. plantarum; Cephalothin to C. perfringens; Cefepime and ciprofloxacin for S. typhimurium; Cefepime for E. coli; and Cefepime and Cephalothin for S. aureus. Lactic bacteria inhibited pathogenic strains but did not inhibit supernatant C. perfringens. L. plantarum showed growth of 32,25 and 32,38 LN CFU/mL for 1 to 1,2% bile. 28,73, 28,59 and 28,02 LN CFU/mL to pH 2,5; 7. 4,5 and 31,58 and 31,03 CFU/mL for 38 and 45°C. The logarithmic phase was observed at 12:00 hours (32,04 CFU/mL, 4,85 pH, acidity 0,84, 4,79 mg/L of sugar, 1,59 mg/L of protein); identifying the VAR-TIR-VAL and methionine enkephalin Acetate peptides, and 74,20% of lactic acid in supernatant. We conclude that L. plantarum has probiotic characteristics.

RESUMO

O objetivo foi determinar o efeito de Lactobacillus plantarum, na Escherichia coli, Salmonella typhimurium, Clostridium perfringens e Staphylococcus aureus. Foi realizado teste de sensibilidade; inibição vitro e no sobrenadante; biliar viabilidade e sais de biliar, do pH (2,5; 4,5 e 7) e temperatura (38 e 45°C); cinética de crescimento de L. Plantarum; Análise adicional dos péptidos e ácidos orgânicos por HPLC. E observou susceptibilidade dicloxacilina, ciprofloxacina e penicilina para L. plantarum; Cefalotina para C. perfringens; Cefepime e ciprofloxacina para S. typhimurium; cefepime por E. coli; e cefepime e cefalotina para S. aureus. As bactérias lácticas inibida estirpes patogênicas mas não inibiu sobrenadante C. Perfringens. L. plantarum mostrou crescimento de 32,25 e 32,38 LN CFU/mL para 1 a 1,2% biliar. 28,73, 28,59 e 28,02 LN CFU/mL a pH 2,5, 4,5 e 7. E 31,58 e 31,03 UFC/mL para 38 e 45°C. A fase logarítmica foi observada às 12:00 horas (32,04 UFC/mL, 4,85 de pH, acidez 0,84, 4,79 mg/L de açúcar, 1,59 mg/L de proteína); identificar o VAR-TIR-VAL e péptidos de metionina encefalina etilo, e 74.20% de ácido láctico no sobrenadante. Conclui-se que o L. plantarum tem características probióticas.

INTRODUCCIÓN

Las bacterias ácido-lácticas (BAL) se conocen como agentes que previenen trastornos digestivos y enfermedades; y su administración por vía oral es efectiva en el control de microorganismos gran negativos [1]. El efecto de inhibición de la bacteria se debe a factores como: reducción del pH, producción

PALABRAS CLAVE:

Probiótico, Crecimiento, Antagonismo, Patógeno.

KEYWORDS:

Probiotic, Growth, Pathogenic, Bacterium.

PALAVRAS-CHAVE:

Probiótico, Crescimento, Patógeno. Antagonismo.

de ácidos orgánicos, producción de biocinas y buena capacidad de adherencia a la mucosa intestinal de los mamíferos que le permite competir por espacio [2].

La principal biocina producida por *L. plantarum* es la plantaricina, este compuesto proteínico ha demostrado reducir poblaciones bacterianas presentes en el medio, especialmente bacterias patógenas como *Listeria sp.* Además, la bacteria láctica muestra otros beneficios en el huésped, como es el descenso de los niveles de colesterol [3, 4].

E. coli, *S. typhimurium*, *C. perfringens* y *S. aureus* son bacterias que producen cuadros clínicos complicados en el hombre y otros mamíferos [5]. Algunos de ellos son importantes transmisores de enfermedades a nivel alimentario, con gran variedad de síntomas clínicos y grados de severidad [6]. El tratamiento de enfermedades producidas por estos microorganismos se realiza mediante antibióticos; sin embargo, el uso indiscriminado ha generado resistencia bacteriana que dificulta el control de estos microorganismos [7].

La presente investigación busca determinar el efecto probiótico de *L. plantarum* sobre *E. coli*, *S. typhimurium*, *C. perfringens* y *S. aureus* en condiciones *in vitro*.

MÉTODO

Las cepas utilizadas fueron *Lactobacillus plantarum* ATCC® 8014, *Escherichia coli* ATCC® 25922, *Salmonella typhimurium* ATCC® 25241, *Clostridium perfringens* ATCC® 13124 y *Staphylococcus aureus* ATCC® 25923.

La reconstitución de cada cepa se efectuó de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Para su conservación se realizó repique en medio sólido y líquido cada 5 y 8 días respectivamente, se usaron medios MRS para la cepa láctica, mientras que para las cepas patógenas se usó caldo BHI como medio líquido y como medio sólido agar McConkey para *E. coli*, agar XLD para *S. typhimurium*, agar SPS para *C. perfringens* y agar Baird Parker para *S. aureus*. Las cepas fueron incubadas a 37°C durante 24 horas, luego, refrigeradas a 4°C hasta su utilización.

Para obtener el inóculo de *L. plantarum* se tomó un Erlenmeyer y se depositaron 40 mL de caldo MRS estéril, en este se colocó una alícuota de la cepa láctica y se incubó a 35°C por 24 horas, al terminar el periodo

de incubación se tomaron 4 mL del Erlenmeyer y se depositaron en otros 40 mL de caldo MRS, este último se incubó en las condiciones mencionadas anteriormente. El ajuste del inóculo se realizó mediante la metodología propuesta por Crueger y Crueger [8], para ello se tomó 90 mL de caldo MRS estéril y se adicionó 10 mL de *L. plantarum* de acuerdo con la regla; luego de incubado se tomó 1 mL y se realizó lectura directa en espectrofotómetro a 625 nm. En los casos donde la población fue superior a la establecida se adicionó caldo estéril [9,10].

Los cálculos realizados fueron:

Escala MacFarland 0,125 lectura = 0,800

$$V1 * C1 = V2 * C2 \quad (\text{Ec. 1})$$

$$V1 * 0,800 = 100 \text{ mL} * 0,125$$

$$V1 = 15,625$$

Para 100 mL se necesita:

Se realizó antibiograma a las cepas con Dicloxacilina (DCX 1 µg), Cefepime (FEP 30 µg), Cefalotina (KF 30 µg), Ciprofloxacina (CIP 5 µg), Gentamicina (GN 10 µg) y Penicilina (P 10 IU) con la técnica de Kirby Bauer [11] modificada, para ello se tomaron tubos con 1 mL de agua destilada y se depositó alícuotas de la bacteria, se incubaron a 35°C hasta encontrar el estándar 0,5 de MacFarland, cuando se ajustó las muestras, el contenido fue depositado en cajas de Petri con agar Müller Hilton. Enseguida se tomaron discos impregnados con cada antibiótico y se colocaron en las cajas de petri, se incubaron a 35°C durante 18 horas, al final de la incubación se midió la distancia entre el borde del disco y el borde de inhibición.

Se determinó la inhibición de *L. plantarum* sobre las bacterias patógenas mediante la metodología propuesta por Tagg y McGiven [12] adecuada a las condiciones de nuestro laboratorio. Se tomaron alícuotas de cada bacteria patógena y fueron ajustadas a escala MacFarland 0,5, se colocaron en cajas de petri con agar MüllerHinton; en cada caja se depositaron discos impregnados con *L. plantarum* a concentraciones de 25, 50 y 100µl, las cajas fueron incubadas a 32°C por 24 horas, halos iguales o superiores a 2 mm se consideraron como indicio de susceptibilidad [13]. Para obtener los discos de la bacteria láctica se ajustó a 0,5 en escala McFarland y se colocó en cajas de Petri que contenían agar MRS con azul de anilina en

las concentraciones requeridas y se incubaron a 32°C durante 24 horas.

El efecto *in vitro* del sobrenadante de *L. plantarum* sobre las bacterias patógenas fue determinado por el método de Kirby Bauer [11]. Se realizó el ajuste de la bacteria láctica a 1 en la escala MacFarland, se tomaron muestras de 1,5 mL y se depositaron en tubos Eppendorf, finalmente se centrifugaron a 15000 rpm y 4°C de temperatura, por 15 minutos. El centrifugado se obtuvo de dos formas, el primero sin filtrar y el segundo filtrado (papel filtro 0,25 μ m), enseguida se conservaron en refrigeración (4°C) hasta su análisis. La evaluación del sobrenadante se realizó utilizando dos metodologías: discos de papel pads y cilindros plásticos que se colocaron sobre las cajas de petri y se incubaron en las mismas condiciones propuestas para inhibición con *L. plantarum*. Las concentraciones evaluadas fueron de 50, 75 y 100 μ L para cada método (estas se determinaron mediante micropipeta, en el sobrenadante de la bacteria láctica) [14].

Para el primer método, se recortó discos de 6 mm de papel pads y fueron esterilizados por 15 minutos, se esperó a que secaran, y en cámara de flujo laminar se depositó cada concentración evaluada. Para el segundo método, se cortó puntas de pipeta de 6 mm de diámetro y en cada cilindro se depositó la cantidad de sobrenadante evaluado.

Se determinó la viabilidad de *L. plantarum* concentraciones de 0,5, 1 y 2% de sales biliares bovinas y 1 y 1,2% de bilis bovina; para ello se cultivó en caldo MRS durante 24 horas, se tomaron muestras y se colocaron en tubos con MRS y las concentraciones de bilis y sales biliares a evaluar, de los tubos se tomaron alícuotas y se depositaron en cajas de petri con MRS y azul de anilina, estas fueron incubadas a 32°C durante 48 horas. Al finalizar el periodo de incubación se hizo recuento de bacterias en cada muestra.

Se determinó la producción de gas [15] y reacción de catalasa en la bacteria láctica [16,17]. Además, se evaluó la viabilidad de la cepa láctica a pH 2,5, 4,5 y 7 por un periodo de 3 horas, con mediciones cada hora. Para ello, se usó medio MRS comercial y el pH fue ajustado con ácido tartárico, las condiciones de incubación fueron de 32°C y 48 horas.

Los parámetros cinéticos de *L. plantarum* se determinaron en los medio MRS (comercial) y PRO[18] (propuesto por Ramirez *et al.* 2005). Para ambos medios

se siguió el mismo procedimiento: se tomó un Erlenmeyer, se adicionó 60 mL de inóculo de *L. plantarum* y 540 mL de medio, se llevaron a incubación (incubadora shaker) con agitación constante a 32°C y 100 rpm, el pH no fue controlado debido a la resistencia de la cepa a bajos niveles, se realizaron mediciones cada 2 h 24 min durante 24 horas. En cada medición se determinó conteo de microorganismos viables en placa (UFC/mL), pH, azúcar total, producción de ácido láctico y proteína.

El conteo de microorganismos viables en placa se determinó mediante la disolución de 1 mL de muestra en 9 mL de agua peptonada al 0,1%, se realizó diluciones decimales que fueron transferidas a cajas de Petri, que contenían medio MRS con azul de anilina (0,1 mL) para siembra en superficie. Las cajas fueron incubadas a 32°C y se observaron entre 24 y 48 horas. Se tuvo en cuenta únicamente las cajas de Petri con conteos entre 30 y 300 colonias. El número de colonias fue multiplicado por el inverso de la dilución y por 10 para obtener UFC/mL [19].

El pH se determinó con un pHmetro digital (JENCO® VisionPlus).

El método de Dubois *et al.* [20] fue usado para determinar el azúcar total, se preparó diferentes concentraciones de glucosa para crear una curva patrón mediante los valores obtenidos de las muestras observadas a una densidad óptica de 625 nm. Los valores se graficaron contra la concentración en mg/L, finalmente se obtuvo los valores de la línea recta.

El ácido láctico fue determinado mediante titulación con hidróxido de sodio (1N) [20]. La biomasa se determinó por los métodos de Crueger y Crueger [8] y Rodríguez *et al.* [22], para ello se estableció la velocidad máxima de crecimiento mediante la ecuación 2:

$$V_{max} = \frac{dLnX}{dt} \quad (\text{Ec. 2})$$

Y el tiempo de duplicación celular (td), se determinó teniendo en cuenta la ecuación 3:

$$td = \frac{Ln2}{v_{max}} \quad (\text{Ec. 3})$$

La proteína se determinó con el método de Lowry *et al.* [23] modificado, se obtuvo una curva patrón a partir de seroalbúmina bovina, luego se midió la absorbancia

en espectrofotómetro a 625 nm. La concentración fue graficada contra los valores para obtener la ecuación de la línea recta.

Se determinó la viabilidad de *L. plantarum* a dos temperaturas (38 y 45°C), el tiempo de evaluación se llevó hasta la fase exponencial encontrada en la cinética de fermentación en el medio MRS (12:00 horas). Se usó el procedimiento descrito por Crueger y Crueger[8], para ello se ajustó el inóculo a 0,125 en escala de McFarland y se incubó hasta las 12:00 horas, luego se hicieron diluciones de 10⁻¹ hasta 10⁻¹² con agua peptonada y se sembró en cajas de petri con azul de anilina y se inició en la dilución 10⁻⁸ hasta 10⁻¹² a 37°C y 48 horas, determinando el recuento de UFC/mL.

Se tomó una muestra de sobrenadante de *L. plantarum* se determinó el contenido de péptidos mediante espectrofotometría de alta densidad (HPLC), se usó una alícuota de 25 mL de sobrenadante, la cual fue centrifugada a 18000 rpm, por 30 minutos y 4°C; luego se filtró 2 mL en jeringa de filtrar (0,25 micras) y finalmente fue llevado a lectura en el espectrofotómetro a 650 nm y se obtuvo los resultados.

Para determinar la producción de ácidos orgánicos se tomó caldo de crecimiento y se centrifugó a 8500 rpm, enseguida se filtró en membrana de 0,45 µm y se determinó la producción mediante HPLC de la siguiente manera: solvente de fase móvil, ácido sulfúrico a pH 1,5; presión 800-900 PSI; volumen inyectado: 20 L; temperatura del horno: 65°C; columna BIORAD aminex HPX87 H con soporte de resina trasplantada H+ (copolímero de estireno y bisulfato dedivinilbenzeno) [24].

Los datos fueron evaluados mediante el paquete estadístico SAS 9.1 [25]. Para comparar la cinética de fer-

mentación de los medios, se usó medidas repetidas en el tiempo, con el procedimiento PROC MIXED de SAS.

RESULTADOS

A continuación se muestran los datos reportados para la prueba de susceptibilidad antimicrobiana mediante el método de Kirby Bauer (Cuadro 1, figura 1).

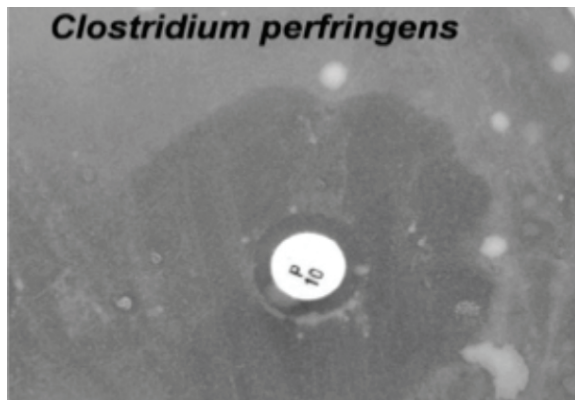
Las bacterias evaluadas presentaron susceptibilidad a los siguientes antibióticos: Dicloxacilina, Ciprofloxacina y Penicilina para *L. plantarum*; Cefalotina para *C. perfringens*; Cefepime y Ciprofloxacina para *S. typhimurium*; Cefepime para *E. coli*; y Cefepime y Cefalotina para *S. aureus*. En la actualidad algunos microorganismos presentan resistencia a los antibióticos como consecuencia del uso indiscriminado de estos. Este antagonismo es un mecanismo natural de supervivencia, que se produce por mutaciones y la adquisición de plásmidos (replicación del ADN extracromosómico) [26, 27]. Para la presente investigación los casos más evidentes se pueden observar en *C. perfringens* y *E. coli*.

Las pruebas *in vitro* con *L. plantarum* indicaron mayor susceptibilidad de *S. aureus*, *C. perfringens* y *E. coli*, y menor efecto en *S. typhimurium* (cuadro 2, figura 2a). Por otra parte, se observó mayor inhibición en las bacterias con el incremento de la concentración de la BAL. Al respecto León [28] y Vegas *et al.* [29], mencionan que las BAL compiten por espacio gastrointestinal con otros microorganismos, evitando su crecimiento, este fenómeno se produce por la generación de compuestos antimicrobianos (bacteriocinas) y la reducción del pH del medio. Los resultados encontrados indican que una baja concentración de la bacteria láctica resulta efectiva en el control de *S. aureus*, mientras que *S.*

Cuadro 1. Poder antagonico de antibi6ticos comerciales frente a cepas de estudio.

Cepas de estudio ATCC	Díametros del halo de inhibición (mm)											
	Antibióticos											
	DCX 1		FEP 30		KF 30		CIP 5		CN 10		P 10	
<i>L. plantarum</i>	10	S	7	R	8	R	40	S	28	R	8	S
<i>C. perfringens</i>	6	R	10	R	30	S	NA	-	NA	-	8	R
<i>S. typhimurium</i>	NA	-	32	S	12	R	45	S	23	R	NA	-
<i>E. coli</i>	NA	-	30	S	10	R	42	S	22	R	NA	-
<i>S. aureus</i>	6	R	20	S	45	S	NA	-	NA	-	20	R

DCX: Dicloxacilina; FEP: Cefepime; KF: Cefalotina; CIP: Ciprofloxacina; CN: Gentamicina; P 10: Penicilina; NA: No aplica; S: sensible; R: resistente

Figura 1. Antibiograma de *Clostridium perfringens*.

tiphymurium necesita mayores concentraciones, ya que fue únicamente susceptible a 100 μ L.

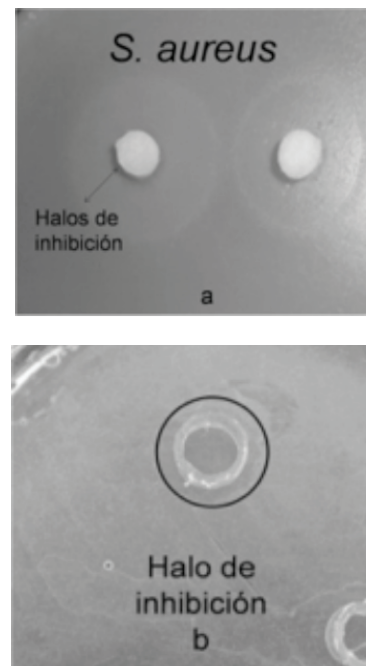
Los resultados del sobrenadante se muestran en el cuadro 3 y figura 2b. Se observa que las cepas presentan mayor susceptibilidad en el método de sensidisco que en el método de cilindros; a pesar de ello, el sobrenadante no inhibió a *C. perfringens* ninguno de los métodos, pero sí a *S. aureus*, con mayor susceptibilidad al sobrenadante en el método del sensidisco filtrado. *S. tiphymurium* y *E. coli* mostraron susceptibilidad al sobrenadante únicamente con el método de sensidisco.

Al respecto Jurado-Gómez *et al.* [30] indican que la inhibición se debe a la producción de compuestos antimicrobianos (bacteriocinas) y productos de la fermentación (ácido láctico, acético y propiónico) presentes en el sobrenadante. De esta manera se observó mejor inhibición de la bacteria láctica en comparación con su sobrenadante.

Las pruebas de gas y catalasa para *L. plantarum* fueron negativas. Estas características son importantes en la evaluación de microorganismos probióticos, dado que la primera indica que la cepa no produce gas, que altere las funciones del tracto gastrointestinal del huésped, mientras que la segunda indica que la cepa pertenece al género de los *Lactobacillus* [14,31].

Cuadro 2. Prueba *in vitro* de *Lactobacillus plantarum*.

Cepas	25 μ l	50 μ l	100 μ l
<i>S. aureus</i>	3	3	5
<i>C. perfringens</i>	1,33	3,17	2
<i>S. tiphymurium</i>	1,33	1,67	3,33
<i>E. coli</i>	1,5	2,33	2,5

Figura 2. Inhibición de *L. plantarum* y su sobrenadante sobre *S. aureus*.a: disco gel de *L. plantarum*; b: Cilindros con sobrenadante.

La evaluación con bilis y sales biliares mostró un crecimiento adecuado de la cepa láctica con valores de 23,03 y 17,75 LN UFC/mL para concentraciones de 1 y 1,2% de bilis bovina; y 16,81, 20,72 y 19,52 LN UFC/mL para concentraciones de 0,5, 1 y 2% de sales biliares bovinas. Esta característica es importante en la identificación de cepas probióticas. Cuando los probióticos son administrados de forma oral, la cepa no solamente debe resistir el pH ácido del estómago, sino también las condiciones presentes a nivel de intestino delgado, lugar donde se secretan las sales biliares y la bilis [14].

La prueba de viabilidad a diferentes pH indicó que la cepa es resistente a modificaciones de la acidez del medio, ya que se observaron crecimientos de 28,73, 28,59 y 28,02 LN UFC/mL para pH 2,5, 4,5 y 7 respectivamente. Los valores de crecimiento son adecuados para garantizar la viabilidad de una cepa probiótica suministrada por vía oral (> 26,4 LN UFC/mL [14]). *L. plantarum* mostró tolerancia a pH bajo debido a su capacidad de fermentar diferentes carbohidratos (pentosas y hexosas) y obtener como producto final ácido láctico que disminuye el pH del medio [32]. Esta característica es fundamental para la producción de inóculos durante los procesos de fermentación a escala industrial [33].

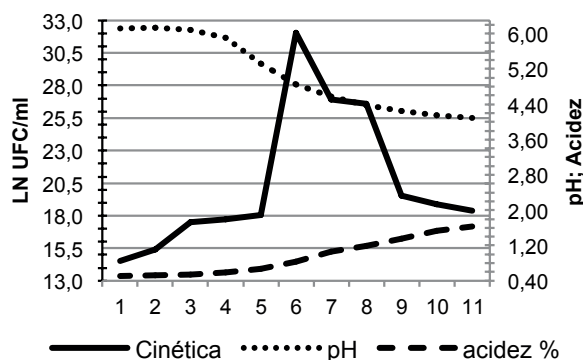
Cuadro 3. Halos de inhibición de *L. plantarum* en bacterias patógenas.

	50 μL	75 μL	100 μL	50 μL	75 μL	100 μL
Sensidiscos						
<i>S. aureus</i>	2,5	2,5	4,5	2	0	1
<i>C. perfringens</i>	0	0,5	1	0	0	0
<i>S. tiphymurium</i>	3,5	5	4,3	1,5	0,5	3,5
<i>E. coli</i>	2	2	2,3	1,5	1,8	1,8
Cilindro						
<i>S. aureus</i>	1	2	1,7	1,8	3	0
<i>C. perfringens</i>	0	0	0	0	0	0
<i>S. tiphymurium</i>	0,7	0	1	0	0,7	0,3
<i>E. coli</i>	1	0,7	1,3	0,5	1,3	0,7

La fase exponencial de la cinética de crecimiento se presentó a las 12:00 horas de iniciada la fermentación con un pH de 4,8 y una acidez de 0,84%; durante este tiempo el pH descendió en 1,276 y la acidez aumentó en 0,331% (figura 3). La cantidad de bacterias viables encontradas durante la fase exponencial es adecuada para la producción de inóculos ($8,2 \times 10^{13}$ UFC/mL) [34]. El crecimiento bacteriano nuevamente demostró la resistencia de *L. plantarum* a bajas concentraciones de pH y el aumento de la acidez evidencia el proceso fermentativo de los carbohidratos presentes en el medio de cultivo. Todas estas características confirman que *L. plantarum* es un buen candidato para el manejo a nivel industrial.

L. plantarum mostró valores de 0,329 mg/L de azúcar y 0,211 mg/L de proteína durante la fase exponencial, con un consumo de 0,176 mg/L de azúcar y 0,155 mg/L de proteína durante las primeras 12 horas de fermentación (figura 4). La disminución del azúcar durante la cinética se debe a su empleo en los procesos

Figura 3. Cinética de crecimiento de *L. plantarum*, pH y acidez en el medio MRS.



metabólicos de la bacteria láctica; de esta manera se garantiza que la cepa obtenga energía para su normal desarrollo y genere ácidos orgánicos que permitan un descenso del pH y la inhibición de otros microorganismos presentes en el medio [35].

El consumo de proteína muestra un descenso durante las primeras cuatro horas de fermentación, debido posiblemente a su utilización en la formación de nuevas células [36], sin embargo, se observa un incremento durante la fase exponencial, lo cual indica la formación de sustancias proteicas en el medio como biocinas y aminoácidos libres, siendo importantes las primeras en la inhibición de microorganismos [37].

El análisis de medidas repetidas en el tiempo no encontró diferencias entre los medios ($p < 0,05$), además, el efecto del tiempo no fue significativo ($p > 0,05$), por lo cual se determina que el medio PRO puede usarse como medio en el crecimiento de *L. plantarum*.

El crecimiento de *L. plantarum* a temperaturas de 45 y 38°C fue de $5,2 \times 10^{13}$ y $3,0 \times 10^{13}$ UFC/mL respectivamente. Estos valores evidencian la viabilidad de la cepa en condiciones gastrointestinales (38°C) cuando se suministra por vía oral y la viabilidad durante el procesamiento de fabricación de alimentos balanceados (45°C) [34].

El sobrenadante presentó una cadena de péptidos de VAL-TIR-VAL en el pico número 9 de la muestra con una concentración de 0,68 mg/mL y el péptido Metionina Enkefalina acetato (TIR-GLI-GLI-FA-MET) en el pico número 12 con una concentración de 0,02 mg/mL (Figura 5).

Figura 4. Cinética de fermentación de *L. plantarum* y consumo de azúcar y proteína.

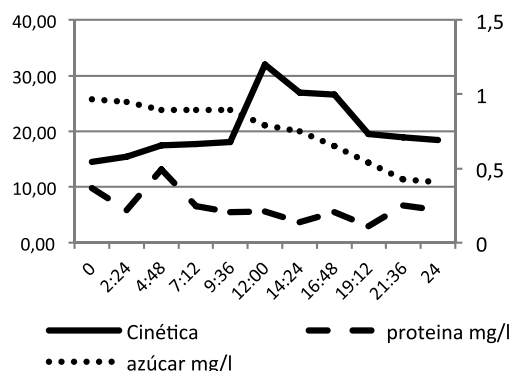
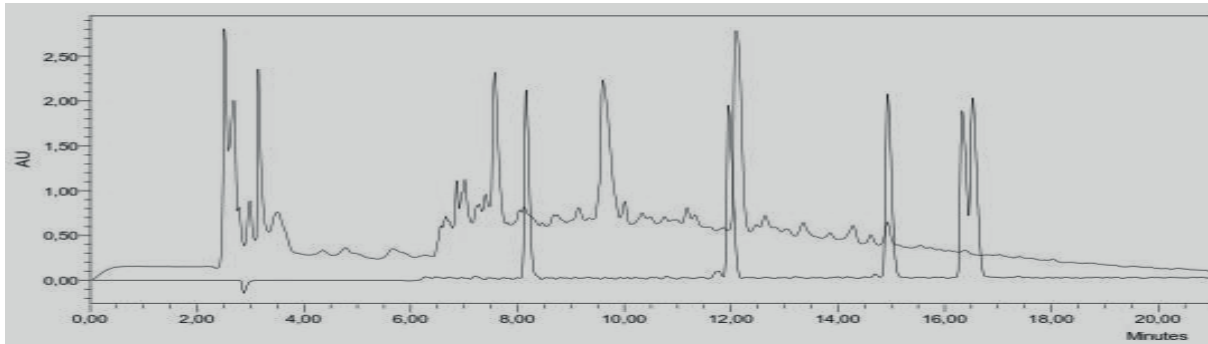


Figura 5. Cromatograma sobrenadante de *L. plantarum*.

Línea superior curva patrón, línea inferior muestra

Se determinó que la bacteria es homofermentadora, dado que presenta un nivel superior al 70% de ácido láctico (cuadro 4 y 5).

Cuadro 4. Ácidos orgánicos presentes en el sobrenadante de *L. plantarum*.

Producto	Concentración	Porcentaje
Ácido cítrico	2,71 (g/L)	10,20%
Glucosa	3,95(g/L)	
Ácido succínico	0,68 (g/L)	7,30%
Ácido láctico	26,1 (g/L)	74,20%
Ácido acético	1,38 (g/L)	6,02%
Etanol	0,88 (g/L)	2,28%

Cuadro 5. Datos de cinética de crecimiento de *L. plantarum*.

Fase lat	0
Vel. Esp. Crec. (μ h ⁻¹)	0,9803
Fin Fase Log (h)	12
Tiem. Dupl. (min)	42,42
Incr. Cel. Total.	9,80 E + 09
Incr. Cel. Final.	2 E + 12
% Azuc. Cons. Total. (g/L)	57,93%
% Azúc. Cons. Fin. Total (g/L)	18,24%
% Prot. Cons. Total. (g/L)	36,36%
% Prot. Cons. Fin. Total (g/L)	3,52%
r ² =	98,45

CONCLUSIONES

Lactobacillus plantarum mostró buen potencial para inhibir el crecimiento de las bacterias patógenas evaluadas; sin embargo, su sobrenadante no inhibió a *C. perfringens* y *S. typhimorium*. La fermentación de la cepa láctica demostró un crecimiento adecuado a si-

mulación *in vitro* de las condiciones gastrointestinales. De esta manera, *L. plantarum* tiene características adecuadas para ser evaluada en condiciones *in vivo* en especies como los bovinos.

REFERENCIAS

- [1] BELKACEM-HANFI, N., FHOULA, I., SEMMAR, N., GUESMI, A., PERRAUD-GAIME, I., OUZARI, H., BOUDABOUS, A. and ROUSSOS, S. Lactic acid bacteria against post-harvest moulds and ochratoxina isolated from stored wheat. *Biological Control*, 76, 2014, p. 52-59.
- [2] VÉLEZ, J., GUTIÉRREZ, L. y MONTOYA, O. Evaluación de la actividad bactericida de bacterias ácido lácticas aisladas en calostro de cerdas frente a *Salmonella typhimurium*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 68(1), 2015, p. 7481-7486.
- [3] MENAD, M., CHERIGUENE, A., BELARDI, F., HAMMOUNI, R. and MOGHTET, S. The antibacterial activity of *Lactococcus lactis* sbsp. *cremoris* against *Salmonella Sp.* *Journal of Medical Microbiology and Diagnosis*, 3 (1), 2014, p. 129.
- [4] ALDUNATE, M., SRBINOVSKI, D., HEARPS, A., LATHAM, C., RAMSLAND, P. GUGASYAN, R., CONE, R. and TACHEDJIAN, G. Antimicrobial and immune modulatory effects of lactic and short chain fatty acids produced by vaginal microbiota associated with eubiosis and bacterial vaginosis. *Frontiers in Physiology*, 6, 2015, p. 164.
- [5] SAND, S., NISSEN, J., SAND, O. and HAUG, T. Plantaricin A, a cationic peptide produced by *Lactobacillus plantarum*, permeabilizes eukaryotic cell membranes by a mechanism dependent on negative surface charge linked to glycosylated

- membrane proteins. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1828, 2013, p. 249-259.
- [6] SAE, Y., YOUNG, K., DO, P., UN, J., SEON, J., YOUNG, A., CHUL, H., ROBIN, M. and MYUNG, C. Probiotics *L. plantarum* and *L. curvatus* in combination alter hepatic lipid metabolism and suppress diet-induced obesity. *Obesity*, 21, 2013, p. 2571-2578.
- [7] KHARE, R., ESPY, M., CEBELINSKI, E., BOXRUD, D., SLOAN, L., CUNNINGHAM, S., PRITT, R., and BINNICKER, M. Comparative evaluation of two commercial multiplex panels for detection of gastrointestinal pathogens by use of clinical stool specimens. *Journal of Clinical Microbiology*, 52(10), 2014, p. 3667-3673.
- [8] STEDT, J., BONNEDHAL, J., HERNÁNDEZ, J., MACMAHON, B., HASAN, B., OLSEN, B., DROBNI, M. and WALDENSTRÖM. Antibiotic resistance patterns in *Escherichia coli* from gulls in nine European country. *Infection Ecology and Epidemiology*, 4, 2014, p. 21565.
- [9] SOLIMAN, R., SALAMA, S., SAYED, R., GALAL, H. and TAWFEK, A. Preparation of combined inactivated Vaccine against *Salmonella enteritidis*, *Salmonella typhimurium* and *Clostridium perfringens* type A and C toxins. *World Applied Science Journal*, 33(3), 2015, p. 472-478.
- [10] CHANDRASEKARAN, D., NAMBI, A., THIRUNAVU-VUKKARASU, P., VAIRAMUTHU, P., VENKATESAN, P. and TIRUMURUGAAN, K. A study on treatment of resistant mastitis in dairy cow. *Journal of Applied and Natural Science*, 6(2), 2014, p. 786-791.
- [11] CRUEGER, W. y CRUEGER, A. *Biotecnología: Manual de Microbiología Industrial*. 1 ed. Madrid (España): Acribia, 1993, 650 p.
- [12] JURADO-GÁMEZ, H., MARTÍNEZ-BENAVIDES, J., CHASPUENGAL-TULCÁN, A. y CALPA-YAMA, F. Evaluación *in vitro* de la acción de *Lactobacillus plantarum* con características probióticas sobre *Yersinia pseudotuberculosis*. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 2014, p. 49-59.
- [13] BAUR, A. and KIRBY, J. Antibiotic susceptibility testing by a standardize single disk method. *American Journal of Clinical Pathology*, 36, 1966, p. 493-496.
- [14] TAGG, J. and MCGIVEN, A. Assay system for Bacteriocins. *Applied Environment Microbiology*, 21(5), 1971, p. 943.
- [15] ESTRADA, A., GUTIÉRREZ, L. y MONTAYO, O. Evaluación *in vitro* del efecto bactericida de cepas nativas de *Lactobacillus* sp. Contra *Salmonella* sp. y *Escherichiacoli*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 58(1), 2005, p. 2601-2609.
- [16] JURADO-GÁMEZ, H. Evaluación *in vivo* de *Lactobacillus plantarum* como alternativa al uso de antibióticos en lechones. *Revista MVZ Córdoba*, 18(supl), 2013, p. 3648-3657.
- [17] DAHL, T., MIDDEN, W. and HARTMAN, P. Of Killing of Gram-negative and Gram-positive Bacteria by Pure Singlet Oxygen. *Journal of Bacteriology*, 171(4), 1989, p. 2188-2194.
- [18] CAI, Y., SUYANANDANA, P., SAMAN, P. and BENNO, Y. Classification and characterization of lactic acid bacteria isolated from the intestines of common carp and freshwater prawns. *Journal of General and Applied Microbiology*, 45(4), 1999, p. 177-184.
- [19] RAMÍREZ, M. Actividad inhibitoria de cepas de bacterias ácido lácticas frente a bacterias patógenas y deterioradoras de alimentos [Tesis Licenciado Químico en Alimentos]. Pachuca de Soto (México): Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2005, 89 p.
- [20] LABORATORIO DE REFERENCIA ANIMAL (LANARA). Métodos analíticos oficiais para controle de produtos de origem animal e seus ingredientes. li- Métodos físico e químicos. Brasília (Brasil): Ministério da Agricultura, 2(25), 1981, p. 1-15.
- [21] DUBOIS, M., GILLES, K., HAMILTON, J., REBERS, P. and SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. *Analytical Chemistry*, 28, 1956, p. 350-356.
- [22] RODRÍGUEZ, L., BUENO, G., RODRÍGUEZ, D., SERRANO, P. and BRIZUELA, M. True and apparent maintenance coefficient and their significance on fermentation kinetics. *New Horizons Biotechnology*, 2003, p. 163-162.
- [23] LOWRY, O., ROSEBROUG, N., FAR, A. and RANDALL, R.J. Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193, 1951, p. 265-75.
- [24] HEMAISWARYA, S., RAJA, R., RAVIKUMAR, R. and CARVALHO, I. Mechanism of action of probiotics. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 56(1), 2013, p. 113-119.
- [25] SAS Institute Inc. SAS/STAT® 9.1 User's Guide. Cary (USA): SAS Institute Inc., 2004, p. 5136.
- [26] AHMAND-BHAT, J. and AHMAND, S. Drug resistance and international issue. *International Journal of Advanced Research*, 3(2), 2015, p. 905-915.
- [27] MARTÍN-POZO, A., ARANA, D., FUENTES, M. y ALÓS, J. Sensibilidad a azitromicina y otros antibióticos en aislados recientes de *Salmonella*,

- Shigella* y *Yersinia*. Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica, 32(6), 2014, p. 369-371.
- [28] PÉREZ-GUERRA, N. Modeling the batch bacteriocin production system by lactic acid bacteria by using modified three-dimensional Lotka-Volterra. Biochemical Engineering Journal, 88, 2014, p. 115-130.
- [29] VEGAS, C., PICHIUHA, B., PEÑA, C. y ZAVALETA, A. Efecto simbiótico del extracto de *Smilax chifolius* (yacón) y *Lactobacillus plantarum* frente a *Escherichia coli*. Ciencia e Investigación, 16(2), 2013, p. 77-82.
- [30] JURADO-GÁMEZ, H., CALPA-YAMA, F. and CHASPUENGAL-TULCÁN, A. Determinación in vitro de la acción probiótica de *Lactobacillus plantarum* sobre *Yersinia pseudotuberculosis* aislada de *Cavia porcellus*. Revista Facultad Medicina Veterinaria y Zootecnia, 61(3), 2014, p. 241-257.
- [31] FONTANA, C., COCCONCELLI, P., VIGNOLO, G. and SAAVEDRA, L. Occurrence of antilisterial structural bacteriocin genes in meat borne lactic acid bacteria. Food Control, 47, 2015, p. 53-59.
- [32] AKABANDA, F., OWUSO, J., TANO, K., GLOVE, R., NIELSEN, D. and JESPERSEN, L. Taxonomic and molecular characterization of lactic acid bacteria and yeasts in nunu, a Ghanaian fermented milk product. Food Microbiology, 34, 2013, p. 277-283.
- [33] KARLSKAS, I., MAUDAL, K., AXELSSON, L., RUD, I., EIJSINK, V. and MATHIESEN. Heterologous protein secretion in lactobacilli with modified pSIP vectors. PLOS one, 9 (3), 2013, p. e91125.
- [34] GÄNZLE, M. Lactic metabolism revisited: metabolism of lactic acid bacteria in food fermentation and food spoilage. Current Opinion in Food Science, 2, 2015, p. 106-117.
- [35] VISIKILI, A., GROUND, A., TASSOU, C., NYCHAS, G. and PANAGO, E. Inoculated fermentation of green olives with potential probiotic *Lactobacillus pentosus* and *Lactobacillus plantarum* starter cultures isolated from industrially fermented olives. Food Microbiology, 38, 2014, p.208-218.
- [36] CALPA-YAMA, F. y CHASPUENGAL-TULCÁN, A. Evaluación *in vitro* de *Lactobacillus casei* características probióticas sobre *Yersinia pseudotuberculosis* [Tesis Zootecnista]. San Juan de Pasto (Colombia): Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Pecuarias, 2013, 98 p.
- [37] FAOUZI, L., KHOUADJA, S., AMINA, B. and FRANCOIS, G. Selection of lactic acid bacteria as candidate probiotics and in vivo test on *Artemia nauplii*. Aquaculture Environment Interactions, 22(2), 2014, p. 699-709.
- [38] JURADO-GÁMEZ, H., RAMÍREZ, C. y AGUIRRE, D. Cinética de fermentación de *Lactobacillus plantarum* en un medio de cultivo enriquecido como potencial probiótico. Veterinaria y Zootecnia, 7(2), 2013, p. 37-53.
- [39] SAEZ-LARA, M., GÓMEZ-LLORENTE, C., PLAZA-DÍAZ, J. and GIL, A. The role of probiotic lactic acid bacteria and bifidobacteria in the prevention and treatment of inflammatory bowel disease and other related diseases. BioMed Research International, 2015, p. 1-15.
- [40] PARK, H., YEO, S., JI, Y., LEE, J., YANG, J., PARK, S., SHIN, H. and HOLZAPFEL. Autoinducer-2 associated inhibit by *Lactobacillus sake* reduce virulence of entero haemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7. Food Control, 45, 2014, p. 62-69.

CAMBIOS FISIOLÓGICOS, TEXTURALES Y FISCOQUÍMICOS DE DOS VARIEDADES DE CHONTADURO (*Bactris gasipaes*) EN POSCOSECHA

PHYSIOLOGICAL, TEXTURAL AND PHYSICOCHEMICAL CHANGES OF PEACH PALM VARIETIES (*Bactris gasipaes*) DURING POSTHARVEST

ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS, TEXTURAI E FÍSICO-QUÍMICAS EM DUAS VARIEDADES DE PUPUNHA (*Bactris gasipaes*) EM PÓS-COLHEITA

JHON ALEXANDER DAZA¹, JOSÉ LUÍS RODRÍGUEZ², SILVIO ANDRÉS MOSQUERA³

RESUMEN

El chontaduro es una de las frutas exóticas más importantes para Colombia debido su considerable aporte en nutrientes y a que posee 8822 hectáreas sembradas en los departamentos de Valle del Cauca, Cauca y Putumayo. Se evaluaron los cambios ocurridos en dos variedades del fruto de chontaduro (roja y amarilla), durante el periodo poscosecha, bajo condiciones ambientales provenientes del Municipio de El Tambo (Cauca) para brindar una guía de compra y venta que ayude en su comercialización. La pérdida de peso, amplitud, longitud y la proporción pulpa-cascara-semilla fueron directamente proporcionales a la pérdida de agua

Recibido para evaluación: 8 de Mayo de 2015. **Aprobado para publicación:** 30 de Octubre de 2015.

- 1 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación Ciencia y Tecnología de Biomoléculas de Interés Agroindustrial (CYTBIA). Ingeniero Agroindustrial. Popayán, Colombia.
- 2 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación Ciencia y Tecnología de Biomoléculas de Interés Agroindustrial (CYTBIA). Ingeniero Agroindustrial. Popayán, Colombia.
- 3 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación Ciencia y Tecnología de Biomoléculas de Interés Agroindustrial (CYTBIA). Ingeniero Industrial de Alimentos, Magíster en Ingeniería. Popayán, Colombia

Correspondencia: smosquera@unicauca.edu.co

en la maduración. En cambio, el contenido de grasas y los sólidos solubles totales fueron inversamente proporcionales. La firmeza permitió diferenciar frutos frescos de frutos sobremadurados, al evidenciar una considerable variación en la resistencia a la penetración pasando de 39,5358N hasta 23,6431N en variedad roja y de 19,6353N hasta 11,7463N en variedad amarilla. De acuerdo con el comportamiento observado en la concentración de O_2 y CO_2 , como también en los cambios físicos y químicos en el fruto de chontaduro, se puede afirmar que este producto es climatérico, lo cual indica que el tiempo de comercialización es corto, ya que sigue madurando incluso después de haber sido cosechado.

ABSTRACT

The chontaduro is one of the most important exotic fruits to Colombia because of its significant contribution in nutrients as it has 8822 hectares in the departments of Valle del Cauca, Cauca and Putumayo. Changes in two varieties of peach fruit (red and yellow) during the postharvest period under ambient conditions from the municipality of El Tambo (Cauca) to provide guidance for buying and selling help in marketing were evaluated. Weight loss, amplitude, length and pulp-shell ratio seed were directly proportional to water loss in ripening, however, the fat content and total soluble solids were inversely. Firmness allowed differentiation of overripe fruit, fresh fruit, to show considerable variation in resistance to penetration from 39,5358N to 23,6431N in red variety and 19,6353N to 11,7463N in yellow variety. According to the behavior observed in the concentration of O_2 and CO_2 , as well as the physical and chemical changes in the fruit of peach, we can say that this product is climacteric, indicating that the time to market is short as it continues to matured even after being harvested

PALABRAS CLAVES:

Bactris gasipaes, Chontaduro, Maduración.

KEYWORDS:

Bactris gasipaes, Chontaduro, Ripening.

PALAVRAS-CHAVE:

Bactris gasipaes, Chontaduro, Amadurecimento.

RESUMO

A pupunha é uma das mais importantes frutas exóticas para a Colômbia, devido à sua contribuição considerável em nutrientes e que tem 8822 hectares plantados nos departamentos de Valle del Cauca, Cauca e Putumayo. Avaliamos as alterações em duas variedades de fruta pupunha (vermelha e amarela) durante pós-colheita em condições ambientais do Município de El Tambo (Cauca) para fornecer um guia de compra e venda que ajudarão em marketing. A perda de peso, largura, comprimento e a proporção de casca-polpa-sementes foram diretamente proporcionais à perda de água na maturação, por outro lado, o teor de gordura e sólidos solúveis totais foram inversamente proporcionais. A firmeza permitiu diferenciar os frutos sobre madurados das frutas frescas, ao mostrar uma considerável variação na resistência à penetração de 39,5358N até 23,6431N na variedade vermelha e 19,6353N até 11,7463N na variedade amarela. Em conformidade com o comportamento observado na concentração de O_2 e CO_2 , como também as alterações físicas e químicas no fruto da pupunha, podemos dizer que este produto é climatérico, indicando que o tempo para a comercialização é curto, uma vez que continua a amadurecer mesmo após ter sido colhida.

INTRODUCCIÓN

El chontaduro (*Bactris gasipaes*) es una de las frutas exóticas más importantes para Colombia que posee 8822 ha sembradas que arrojaron una producción de 70.471 ton durante el 2011, concentradas en los departamentos de Valle del Cauca con 69,3%, Cauca con 19,2% y Putumayo con 11,5% [1]. En el Departamento del Cauca se destaca el Municipio de El Tambo que genera aproximadamente el 30% de la producción de las variedades roja y amarilla, equivalente al 14,3% de la producción total de frutas del departamento. El fruto es un conjunto de drupas recubiertas con una capa amilácea de espesura variable, dispuestas en racimos con colores diversos (rojo, amarillo, anaranjado, jaspeado) con forma cónica, ovoide o elipsoidal, que miden de 2,5 a 5,0 cm y contienen una semilla por fruto [2], por consiguiente, un racimo normal puede contener entre 50 y 100 frutos, con rendimientos que pueden ir de 100 a 3500 Kg/ha [3].

El chontaduro se caracteriza por sus nutrientes, contiene 37,6% de carbohidratos; 52,5% de agua; 4,6% de grasa; 3,3% de proteínas; 1,4% de fibra; 23 mg de calcio; 47 mg de fósforo; 0,7% de hierro y aportar 185 calorías/g [4].

En pos cosecha, el chontaduro sufre cambios fisico-químicos, texturales, fisiológicos y microbiológicos [5] que ocasionan la alteración de sus propiedades y calidad que afectan la comercialización; por lo que se debe evitar la recolección de frutos verdes, sobremaduros, caídos o dañados y se deben manejar frutos desde la cosecha hasta su entrega o acopio en un solo recipiente o empaque, recolectarlos y separarlos según su estado de madurez y tamaño, almacenamiento o transporte en empaques que permitan ventilación y no causen daño; limpiar y desinfectar el empaque, evitar colocar frutos por encima del nivel del empaque, no empacar fruta húmeda, sobremadura o con daños [6]. El fruto sufre daños causados por hongos sobre la epidermis o piel a causa de las espinas de la palma generando podredumbre negra, causada por el hongo *Ceratocystis spp* y pudrición blanca causada por el hongo *Monilia sp*.

El objetivo del estudio fue evaluar los cambios ocurridos en dos variedades del fruto de chontaduro (roja y amarilla), durante la poscosecha bajo condiciones ambientales, con el fin de brindar una guía estándar de compra y venta que ayude a mejorar la comercialización del fruto en la región.

MÉTODO

Ubicación y área de estudio

Los frutos fueron adquiridos en el corregimiento Cuatro Esquinas del Municipio de El Tambo (Cauca), localizado a una altura de 1269 m.s.n.m. con temperaturas que oscilan entre 22 y 28°C, precipitaciones anuales entre 1500 y 2500 mm/año y humedad relativa entre 70 y 80% [7]. El seguimiento se realizó en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca, ubicada en la Vereda las Guacas, Municipio de Popayán en el Departamento del Cauca, a una altura de 1868 m.s.n.m., con temperatura promedio de 19°C y humedad relativa de 77,75% [8].

Materiales

Materia prima. Se usaron frutos de las variedades amarilla y roja adecuados para comercialización y consumo [9].

Equipos. Analizador de gas portátil Oxybaby que toma una muestra de gas al interior del empaque que contiene el fruto, comparándolo con valores grabados previamente como patrones de referencia y luego la conduce hacia la célula de O₂ y CO₂. [10]. **pH-metro.** Es un voltímetro que junto con los electrodos, al ser sumergidos en una sustancia, generan una corriente eléctrica que depende de la concentración de iones de hidrógeno en la solución. **Refractómetro** (ATAGO N-1 Alpha) usa la refracción para determinar el grado de concentración de los sólidos solubles disueltos en una solución [11]. **Máquina universal de ensayos** (marca Shimadzu y referencia EZ-L) usada para probar la tensión de tracción y la tensión de compresión de los materiales [12]. **Cámara Digital** (NIKON COOLPIX S2600) para capturar las imágenes que fueron procesadas en el software MATLAB que determinó el cambio de color en la superficie de los frutos expresado en Energía y Entropía. **Balanza** (marca OHAUS, referencia 700/800 SERIES) para determinar las variaciones de peso del fruto de chontaduro, al transcurrir el tiempo. **Extractor Soxhlet** para la extracción de grasa [13].

Métodos

Cosecha. Se cosecharon frutos con grado 5 de madurez, que corresponde a un estado de madurez de consumo [9], a las 7:00 am y de forma manual.

Clasificación. Se cortaron los frutos conservando el pedúnculo, se clasificaron según la forma cónica, tamaño (4 a 5 cm de longitud y amplitud) y color, desechando los frutos verdes, de tamaño irregular y con daños físicos (cortados, magullados, partidos y con manchas).

Acondicionamiento. Se limpiaron con agua potable seguido de la desinfección por inmersión en solución con Hipoclorito de sodio con una concentración de 50 ppm durante 15 minutos, se escurrieron y se secaron.

Medición de variables fisiológicas. Se realizaron las siguientes mediciones.

Concentración de gases (O₂ y CO₂). El producto se dispuso en bandejas de icopor, selladas con vinipel y se usó el analizador de gas portátil Oxybaby, para visualizar los cambios ocurridos en las concentraciones de los gases (O₂ y CO₂).

Pérdida de peso. Se cuantificó aplicando la ecuación 1 [14]:

$$Pérdida\ peso(\%) = \frac{(Peso\ inicio - Peso\ final)}{Peso\ inicio} * 100$$

(Ec. 1)

Análisis de Imágenes. Los frutos se ubicaron en un cajón de fondo azul y se realizó seguimiento cada dos días, para analizar posibles cambios en el tiempo.

Firmeza. El fruto se evaluó sobre su eje ecuatorial con una sonda de punzón, previamente calibrada, colocándola en la fase móvil para medir la fuerza máxima ante la penetración (Newtons) a una velocidad de penetración del punzón de 3 mm/min y la distancia de penetración de 7 mm aproximadamente [9].

Dimensiones (longitud y amplitud). Utilizando un calibrador o pie de rey se midió la longitud del fruto desde la base hasta el ápice y la amplitud en la parte más amplia de su zona ecuatorial [15].

Cambios fisicoquímicos. Se realizaron las siguientes mediciones:

Proporción pulpa-cáscara-semilla. Se tomó el peso inicial del fruto entero, luego se separaron los tres componentes (pulpa, cáscara y semilla) por separado, para luego calcular su proporción.

Sólidos solubles totales. Se homogeneizó la pulpa y se mezcló con agua en relación 3:1 y se procedió a tomar la lectura de las siguientes variables [16].

pH. Se homogeneizó la pulpa del fruto en una licuadora, utilizando una relación 3:1 de agua con respecto a la masa y se procedió a medir el pH directamente sobre la muestra.

Contenido de grasas. La muestra se trituró y deshidrató, se realizó la extracción de la grasa usando éter de petróleo, haciendo la separación y determinación gravimétrica del extracto seco, que representa los lípidos de la muestra [17].

Diseño experimental

El seguimiento se desarrolló durante 17 días con 3 réplicas por variedad en donde los niveles fueron los datos tomados en un rango máximo de 17 días (cuadro 1), el número de réplicas fue n=3 para cada variedad, excepto para la prueba de análisis de imágenes que se trabajó con una sola réplica.

Utilizando un nivel de confianza del 95%, se usó el programa SPSS V.20, ejecutando la prueba de normalidad y según los resultados, se realizó la prueba ANOVA, comprobando la normalidad de la información, se decidió la aplicación de pruebas paramétricas o no paramétricas.

Cuadro 1. Variables de respuesta, niveles, tamaño de muestra y número de replicas.

Variables de respuesta	Niveles	Tamaño de muestra por variedad	Réplicas
Pérdida de peso	17	7	3
Dimensiones	17	7	3
Proporción pulpa-cáscara-semilla	9	3	3
pH	9	3	3
Sólidos solubles totales	9	3	3
Color	9	7	1
Tasa de respiración	5	4	3
Contenido de grasas	5	3	3
Firmeza	5	3	3

RESULTADOS

Pérdida de Peso

Los frutos de ambas variedades perdieron peso debido a la respiración y pérdida de agua, a un ritmo elevado por el movimiento desde el ambiente más saturado hasta el menos saturado, causando el marchitamiento [18]. Desde el día 9, la variedad amarilla presentó mayor pérdida de peso (13,93%) que la variedad roja (12,79%) hasta el día 15 (24,84% y 21,73%), tendencia similar a la hallada por otros autores en chontaduro [9], aguacate [19] y pimentón [20], incidiendo de manera directa sobre la disminución de los diámetros longitudinal y ecuatorial y sobre la firmeza provocando ablandamiento e indirectamente sobre la tasa de respiración, por efecto de la transformación del oxígeno liberado en CO₂ que se incrementó.

El análisis estadístico arrojó normalidad en los datos de las variedades y la prueba de Levene, no indicó diferencias significativas entre las variables peso-variedad. La relación peso-días no presentó homogeneidad y la prueba de Dunnet arrojó dieciséis (16) subgrupos con mayor diferencia en la pérdida de peso de los primeros 5 días y mayor homogeneidad en los restantes.

Dimensiones (amplitud y longitud)

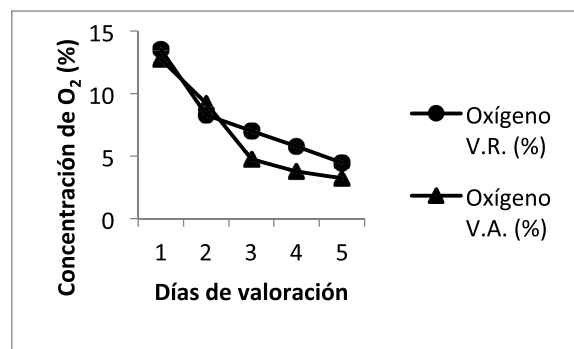
Los frutos presentaron disminución de longitud y amplitud en las dos variedades, a causa de la respiración, transpiración y por el retiro del fruto de su estado natural, que lo obliga a usar sus reservas de agua [18]. Hubo normalidad y homogeneidad de los datos, mientras que el ANOVA no arrojó diferencias significativas entre las variedades (sig. = 0,064). La relación entre amplitud y tiempo (días), mostró homogeneidad (sig. = 0,234) pero el ANOVA indicó diferencias significativas, por lo que se procedió a aplicar la prueba T3 de Dunnet que arrojó dieciséis (16) subgrupos, con incidencia de los días de seguimiento sobre la disminución de la amplitud. La prueba de normalidad para la longitud presentó tendencia normal y la prueba de Levene mostró homogeneidad entre longitud y variedad (sig. = 0,056); sin embargo, el ANOVA mostró diferencias significativas entre las variedades (sig. = 0,017) por lo que se compararon las medias, encontrando que la variedad amarilla obtuvo mayor disminución en su longitud (Media = 9,9644) con respecto a la variedad roja (Media = 7,4408).

Concentración de gases (O₂ y CO₂)

La concentración de oxígeno (O₂) disminuyó mientras que la de CO₂ se incrementó, hasta alcanzar el pico climatérico el día 12, lo que justifica la corta vida útil de los frutos. La dos variedades iniciaron con el mismo porcentaje de CO₂ (figuras 1 y 2); con el tiempo, la variedad roja presentó menor concentración de este gas, posiblemente por efecto del área del producto en contacto con el oxígeno [18].

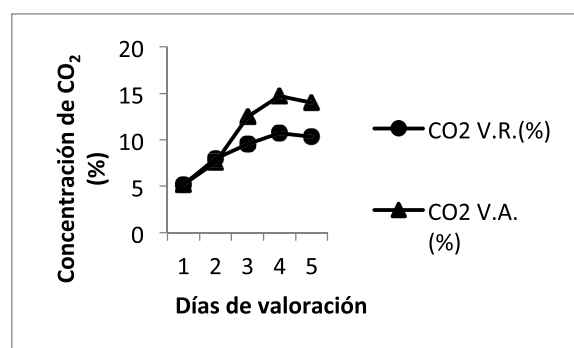
El análisis estadístico indicó normalidad en los datos y homogeneidad entre el contenido de oxígeno y la variedad, en tanto que el ANOVA no encontró diferencias significativas entre las variedades. La interacción entre los días y la cantidad de O₂ demostró heterogeneidad en los datos (sig. = 0,033) y la prueba T3 de Dunnet ordenó cinco (5) subgrupos, lo que evidencia un decrecimiento notable de O₂ con el transcurso del tiempo. Para el CO₂ se encontró normalidad en los datos, la prueba de Levene reveló homogeneidad (sig. = 0,052), al evaluar la relación CO₂ y variedad. La tabla ANOVA mostró diferencias significativas entre las va-

Figura 1. Concentración de O₂ (%) en las variedades.



Nota: Las 5 valoraciones fueron los días 0, 4, 8, 12 y 16.

Figura 2. Concentración de CO₂ (%) en las variedades.



Nota: Las 5 valoraciones fueron los días 0, 4, 8, 12 y 16

riedades. La interacción entre CO₂ y días indicó homogeneidad, pero el ANOVA mostró diferencias significativas, lo que conllevó a evaluar la prueba T3 de Dunnet que generó 5 subgrupos, evidenciando un incremento significativo en la producción de CO₂.

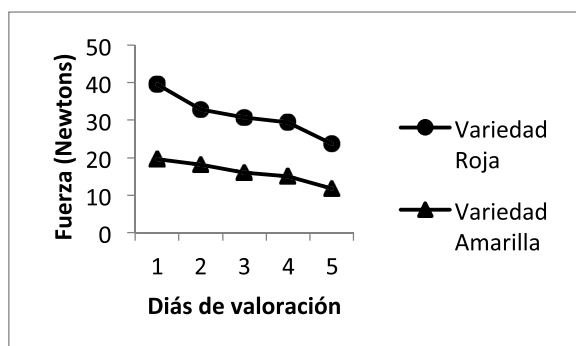
Firmeza

Disminuyó la resistencia a la penetración (figura 3) por la pérdida de agua y la exposición al etileno que causan encogimiento de la cáscara, ablandamiento de la pulpa y conversión del almidón en azúcares simples [18], así como por la degradación de las paredes celulares por hidrólisis, afectando las fuerzas de cohesión que mantienen a las células unidas entre sí, dando paso al ablandamiento del fruto [20].

La variedad amarilla tuvo menor resistencia a la penetración con 19,6353 Newtons (N) al inicio y 11,7463 N al final, con diferencia de 7,889 N. La variedad roja presentó valores entre 39,5358 N al inicio y 23,6431 N al final con diferencia de 15,8927 N, debido posiblemente a que la actividad de las pectinesterasas y galacturonasas en los frutos de variedad roja, se activan en mayor proporción que en los frutos de variedad amarilla durante la maduración [21].

Se encontró normalidad en los datos y la relación entre la firmeza y la variedad presentó homogeneidad (sig. = 0,677); al aplicar el ANOVA se encontraron diferencias significativas entre las variedades, ya que al comparar las medias se evidenció una clara diferencia entre sus valores. La relación entre firmeza y los días, arrojó homogeneidad sin diferencias significativas y al aplicar la prueba de Tukey se generó un subgrupo, lo que permite inferir que los frutos de chontaduro pierden firmeza con el transcurso del tiempo.

Figura 3. Fuerza de penetración (N) vs Días de evaluación.



Nota: Las 5 valoraciones fueron los días 0, 4, 8, 12 y 16.

Sólidos solubles totales

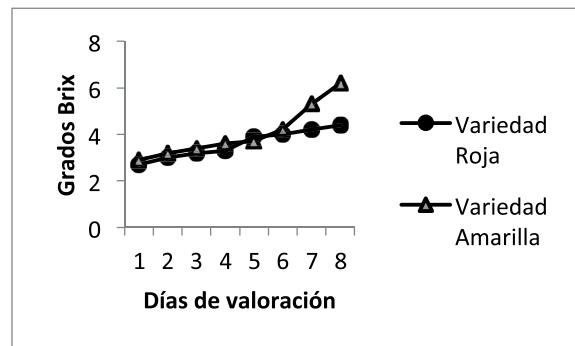
Mostraron comportamiento creciente en las dos variedades debido a la degradación del almidón en azúcares (sacarosa) [20]. Sin embargo, diversas frutas incluyendo el chontaduro contienen otros compuestos solubles en agua, como por ejemplo, ácidos, vitamina C, aminoácidos y algunas pectinas [22]. El aumento de sólidos solubles es leve, sin cambios bruscos durante la maduración, aunque los frutos de variedad amarilla en los días 12 y 14 muestran un incremento (5,4 y 6,2) mayor que los de variedad roja (4,2 y 4,4).

Los datos presentaron normalidad (cuadro 1) y al aplicar el ANOVA (cuadro 3) no se evidenciaron diferencias significativas entre las variedades, así como tampoco existió homogeneidad debido al deterioro de los frutos que ocasionaron el cambio brusco de los °Brix, en los días 12 y 14 para la variedad amarilla, incrementando la media (4,060) con respecto a la variedad roja (3,592). En la relación °Brix y días no hubo diferencias significativas ni homogeneidad en los datos, y la prueba T3 de Dunnet los dividió en seis subgrupos, reflejando una tendencia creciente de los °Brix con el paso del tiempo.

pH

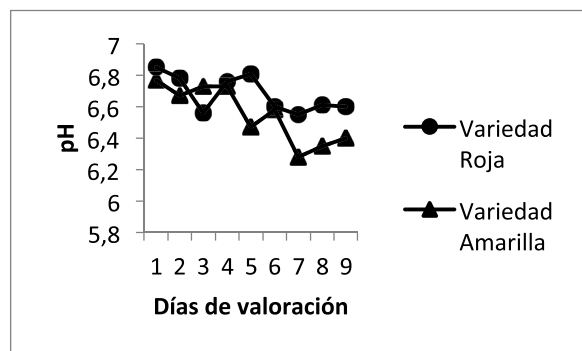
El comportamiento en las dos variedades fue variable (figura 5) manteniendo una tendencia decreciente. Usualmente, el pH de las frutas aumenta debido a que los ácidos orgánicos durante la maduración se convierten en azúcares [23], en contraste con lo anterior, algunas frutas, en este caso el chontaduro, presentan aumento de la concentración total de ácidos en su etapa de poscosecha, con la consecuente disminución del pH por la presencia de ácidos orgánicos generados

Figura 4. Variación de Sólidos solubles vs Días de evaluación.



Nota: Las 8 valoraciones fueron los días 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 y 14 y 16.

Figura 5. pH vs Días de evaluación.



Nota: Las 8 valoraciones fueron los días 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 14 y 16.

por la fermentación de carbohidratos, tanto solubles como de la degradación del almidón.

No se encontró normalidad en los datos y se aplicaron pruebas no paramétricas para la relación entre pH y días, generando 8 grupos cuya significancia fue evaluada dando como resultado que en los días (0-12), (2-12) y (6-12) se encontraron diferencias significativas, ya que, para los días 0, 2 y 6 los valores de pH con respecto a los del día 12, presentaron una diferencia relevante debido a la disminución drástica en el día 12, siendo más notorio para la variedad amarilla cuya media mucho menor que la variedad roja.

Proporción pulpa-cáscara-semilla

Los porcentajes oscilaron entre 79 y 87% para pulpa, 5 y 13% para cáscara y 7 y 10% para semilla: el porcentaje de la pulpa evidenció un leve incremento, lo que significa rendimientos más altos para la agroindustria en los estados avanzados de madurez. Por otra parte, aunque la diferencia no es tan marcada, la variedad roja presentó mejor rendimiento en pulpa a diferencia del porcentaje de cáscara que disminuyó en ambas variedades a causa la hidrólisis del almidón en el proceso de maduración [18], ocasionando que los frutos variedad roja perdieran el 7,9% y variedad amarilla 4%. La variación del porcentaje de semillas no fue notoria debido a que su estructura es dura y contiene poca humedad, con poca pérdida de peso. Sin embargo, al comparar las dos variedades se encontró que variedad amarilla contiene mayor proporción de semilla a pesar de que el fruto es de menor tamaño y peso.

El análisis para pulpa arrojó normalidad en los datos y homogeneidad entre las dos variedades mostró diferencias significativas, donde la media de los porcenta-

jes de pulpa para la variedad roja es mayor (83,262), que la amarilla (81,353) La relación pulpa-tiempo mostró homogeneidad en los datos y diferencias significativas, por lo que se aplicó la prueba T3 de Dunnet en la cual se obtuvieron 8 subgrupos, en donde se observa un crecimiento leve del porcentaje de pulpa con el transcurrir de los días.

Las mediciones del porcentaje de cáscara presentaron normalidad en los datos y homogeneidad entre las variedades y no se encontraron diferencias significativas. En el factor tiempo, la prueba de Levene no encontró homogeneidad y el ANOVA arrojó diferencias significativas y la prueba T3 de Dunnet ordenó los datos en 8 subgrupos mostrando una tendencia decreciente más notoria a partir del día 4.

El análisis para la semilla arrojó normalidad en los datos y la relación de ésta con la variedad no presentó homogeneidad entre las Variedades (sig. = 0,000). El ANOVA no encontró diferencias significativas a pesar de que las medias evidenciaron diferencia. La relación de la semilla y los días no presentó diferencias significativas y la prueba de Tukey generó un subgrupo demostrando que la diferencia de peso de las semillas fue mínima.

Determinación de grasas

La variedad amarilla se incrementó desde 18,53% en el día 0 hasta 31,30% en el día 16 (diferencia del 12,77%) mientras que la variedad roja 5,70% al inicio y 12,67% al finalizar el seguimiento (diferencia del 6,97%). Hubo normalidad en los datos y la relación entre el contenido de grasa y la variedad presentó homogeneidad (sig. = 0,155); al aplicar el ANOVA se encontraron diferencias significativas entre las dos variedades; al aplicar la prueba T3 de Dunnet generó 5 subgrupos mostrando una tendencia creciente de la información.

Análisis de imágenes

No se presentaron cambios significativos en el color, posiblemente por el estado de madurez fisiológica avanzado, es decir que el color predominante (rojo y amarillo) cubría la totalidad de los frutos. Se encontraron diferencias significativas entre la textura superficial del fruto y el área entre las variedades, que está directamente relacionada con la pérdida de agua y los cambios en el tamaño. El análisis de textura superficial, midió los cambios que sufrieron los frutos en cuanto a entropía y energía, usando medidas aleatorias (ran-

dom) de los elementos de una matriz, que para este caso fueron imágenes, ya que la entropía es la encargada de medir la aleatoriedad de los píxeles en escala de grises [24] y la energía mide la uniformidad entre los mismos, arrojando valores elevados cuando en la matriz de coocurrencia tiene pocas entradas de gran magnitud, así como valores bajos cuando todas las entradas son similares [25].

Hubo normalidad en los datos de energía y homogeneidad entre las variedades, sin embargo, el ANOVA con significancia de 0,001 indicó diferencias significativas, a pesar de que las medias fueron similares debido a un cambio de energía en el día 8 causado por un evento alterno que modificó las condiciones iniciales del fruto y originó las diferencias. Por otro lado, la relación energía y días arrojó homogeneidad en los datos que dividió los datos en nueve subgrupos que reflejan un leve incremento de energía al transcurrir el tiempo (días), por lo que no es prudente afirmar que existe uniformidad en los frutos.

La entropía arrojó normalidad en los datos y homogeneidad para la relación entre entropía y variedad (sig. = 0,956), en tanto que la ANOVA no mostró diferencias significativas entre las dos variedades, ya que al relacionar las medias reflejaron similitud entre sus valores. Por otro lado, la relación de entropía y días presentó homogeneidad con significancia de 0,140 y diferencias significativas, por lo que se efectuó la prueba de Dunnett, que organizó 9 subgrupos mostrando un comportamiento estable de los datos, la afirmación de que la entropía es alta, cuando los elementos de la matriz de coocurrencia tienen relativamente valores iguales.

CONCLUSIONES

La pérdida de peso, amplitud y longitud del fruto son directamente proporcionales a la pérdida de agua en la maduración, disminuyendo hasta 21,73% en la variedad roja y 24,84% en la variedad amarilla. En cambio, el contenido de grasas y los sólidos solubles totales son inversamente proporcionales a dicha pérdida, debido a que el contenido de grasas aumentó de 5,70% en el día 0 hasta 12,67% en el día 15 en la variedad roja y en la variedad amarilla se incrementó desde 18,53% hasta 31,30% en el mismo periodo de tiempo.

La firmeza permitió diferenciar frutos frescos de frutos sobre madurados por la variación en la resisten-

cia a la penetración disminuyendo desde 39,5358N hasta 23,6431N en variedad roja y 19,6353N hasta 11,7463N en variedad amarilla.

De acuerdo con el comportamiento observado en la concentración de O₂ y CO₂ y en los cambios físicos y químicos en el fruto, se puede afirmar que este producto es climatérico, lo cual indica que el tiempo de comercialización es corto ya que sigue madurando incluso después de haber sido cosechado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad del Cauca por los recursos aportados para el desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS

- [1] COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Anuario estadístico de frutas y hortalizas 2007-2011 y sus calendarios de siembras y cosechas: resultados evaluaciones agropecuarias municipales 2011. Bogotá (Colombia): Dirección de Política Sectorial - Grupo Sistemas de Información, 2012.
- [2] COLOMBIA. PROGRAMA REGIONAL AGRICOLA. El cultivo de chontaduro para fruto y palmito [en línea]. 1998. Disponible: <URL: http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/Caracteristicas%20del%20cultivo%20de%20chontaduro.pdf>. [Citado 4 de Abril, de 2012]
- [3] RIOS, A., NEITHA, J.C. y MOSQUERA, R. Perspectivas para la Agroindustrialización del Chontaduro *Bactris gassipaes* en la zona de influencia del municipio de Quibdó, Choco. Quibdó (Colombia): 1997.
- [4] CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA (CRC). El Chontaduro: cartilla básica de extensión No.11. Popayán (Colombia): División de Asistencia Técnica Agropecuaria, Sección Fomento y Extensión, 2007.
- [5] GODOY, S.P., PENCUE, L., RUIZ, A. y MONTILLA, D.C. Clasificación Automática Del Chontaduro (*Bactris gassipaes*) para su aplicación en conserva, mermelada y harinas. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, 5(2), 2007, p. 137-146.
- [6] ERAZO, Y. y MURILLO, J. Criterios para manejo de cosecha y poscosecha de chontaduro [en línea]. 1995. Disponible: <URL: <http://www.agro->

- net.gov.co/www/docs_si2/Criterios%20para%20manejo%20de%20cosecha%20y%20poscosecha%20de%20chontaduro.pdf>. [Citado 16 de Mayo, de 2012]
- [7] SALAZAR, Z. La mini cadena del chontaduro en El Tambo Cauca. El Tambo (Colombia): CORPO-TAMBO, 2008.
- [8] IDEAM. Pronósticos [en línea]. 2012. Disponible en web: <http://www.pronosticosyalertas.gov.co/jsp/index.jsf>. [Citado 5 de Junio, 2014].
- [9] TOZNE, Z.L., MOSQUERA, S.A. y VILLADA, H.S. Efecto de recubrimiento de almidón de *yuca* y *cera de abejas sobre el chontaduro*. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, 12(2), 2014, p. 30-39.
- [10] WITT-TECHNOLOGY FOR GASES. Instruction Manual OXYBABY VO₂/CO₂ [en línea]. 2004. Disponible: <URL: http://cambridgesensotec.co.uk/gallery/InstructionManualPDF/PDF_OXYBABY_V_O2CO2_instruction_manual.pdf>. [Citado 9 de Julio, de 2012].
- [11] CARDONA, L. Sistema de medición en línea de una solución acuosa de café [en línea]. 2010. Disponible: <URL: [http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/\(A\)_SISTEMA_DE_MEDICION_EN_LINEA_DE_UNA_SOLUCION_ACUOSA_DE_CAFE_oDGGij.pdf](http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/(A)_SISTEMA_DE_MEDICION_EN_LINEA_DE_UNA_SOLUCION_ACUOSA_DE_CAFE_oDGGij.pdf)>. [Citado 4 julio de 2012].
- [12] ZULUAGA, A.M. Diseño de metodologías para un equipo universal de ensayos con aplicación en la industria alimenticia [Tesis Química Industrial]. Pereira (Colombia): Universidad Tecnológica de Pereira, Programa de Química Industrial, Escuela de Tecnología Química, 2012, p. 14.
- [13] CALDAS, A. Optimización, escalamiento y diseño de una planta piloto de extracción sólido-líquido [Tesis Ingeniero Químico]. Cuenca (Ecuador): Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Escuela de Ingeniería Química, 2012, p. 19.
- [14] VILLAMIZAR, F. Manejo tecnológico poscosecha de frutas y hortalizas: manual de prácticas. Bogotá (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, 2001, 130 p.
- [15] GRAZIANI, L., ORTIZ, L. ANGULO, J. y PARRA, P. Características físicas del fruto de cacao tipos criollo, forastero y trinitario de la localidad de Cumboto, Venezuela. *Agronomía tropical*, 52(3), 2002.
- [17] HOYOS, O.L. y VELEZ, P.H. Determinación del extracto etéreo o grasa bruta. En: *Análisis de alimentos: Manual de prácticas de laboratorio*. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación, 2000, p. 23.
- [18] MOSQUERA, S.A., VILLADA, H.S. y HOYOS, J.L. Fisiología de la maduración de frutas. 1 ed. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca, 2010, 157 p.
- [19] PINEDA, L. y SOLIS, D. Efecto de la aplicación de recubrimiento de almidón hidrolizado de yuca (*Manihot sculenta* Crantz) sobre la maduración del aguacate (*Persea americana* Miller) variedad Hass [Tesis Ingeniería Agroindustrial]. Popayán (Colombia) : Universidad del Cauca, Facultad Ciencias Agrarias, 2012, p. 33, 34.
- [20] ORDÓÑEZ, D., ZUÑIGA, D., HOYOS, J.L., MOSQUERA, S.A. y MOSQUERA, L.P. Efecto de recubrimiento de almidón de yuca modificado y aceite de tomillo aplicado al pimiento (*Capsicum annum*). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 2014, p. 795-805.
- [21] NAVARRO, M., MASSA, A. and PÉREZ, M. Effect of beeswax content on hydroxypropyl methylcellulose-based edible film properties and postharvest quality of coated plums (cv. *Angeleno*). *LWT- Food Science and Technology*, 44, 2011, p. 2328- 2334.
- [22] DADZIE, B.K. y ORCHARD, J.E. Evaluación rutinaria poscosecha de híbridos de bananos y plátanos: criterios y métodos [en línea]. 1997. Disponible en: http://www.biodiversityinternational.org/uploads/tx_news/Routine_post-harvest_screening_of_banana_plantain_hybrids_Criteria_and_methods_235_ES.pdf. [citado 22 de agosto, de 2014].
- [23] WILLS, R. Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas y hortalizas y plantas ornamentales. Zaragoza (España): Acribia, 1999, p. 260.
- [24] TRIBUJ, M.A. y WAISBAUM, A.D. Segmentación de imágenes texturadas [Tesis Licenciatura en Ciencias de la computación]. Buenos Aires (Argentina): Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de computación, 2006, 117 p.

APROVECHAMIENTO DE PULPA Y CÁSCARA DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca spp*) PARA LA OBTENCIÓN DE MALTODEXTRINA

LEVERAGING OF PULP AND PEEL OF BANANA (*Musa paradisiaca spp*) FOR THE OBTENTION OF MALTODEXTRIN

APROVEITAMENTO DE POLPA E DA CASCA DE BANANA (*Musa paradisiaca spp*) PARA OBTER MALTODEXTRINA

DIANA VICTORIA MELO-SABOGAL¹, YENNIFER TORRES-GRISALES²,
JOHANNA ANDREA SERNA-JIMÉNEZ³, LAURA SOFÍA TORRES-VALENZUELA⁴

RESUMEN

*Los subproductos de las cadenas agroindustriales constituyen alrededor del 90% de la parte del cultivo, por lo cual, establecer alternativas de aprovechamiento puede ser importantes para los productores. En este trabajo se evaluó el efecto del tratamiento enzimático sobre almidón obtenido de pulpa y cáscara de plátano (*Musa paradisiaca spp.*) y se estableció el efecto de la temperatura de secado en almidón hidrolizado sobre propiedades químicas, físicas y reológicas. Se cuantificó la actividad de agua, el contenido de humedad y el contenido de dextrosa equivalente, azúcares reductores presentes en la maltodextrina por cromatografía líquida de alta eficacia; además se determinaron parámetros de color y reológicos. La hidrólisis enzimática presentó efecto significativo sobre la cantidad de dextrosa*

Recibido para evaluación: 30 de abril de 2015. **Aprobado para publicación:** 1 de Julio de 2015

- 1 Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia, Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniera Agroindustrial. Ingeniera Agroindustrial. Armenia, Colombia.
- 2 Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia, Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniera Agroindustrial. Ingeniera Agroindustrial. Armenia, Colombia.
- 3 Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia, Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniera Agroindustrial. Magister en Diseño y Gestión de Procesos. Armenia, Colombia.
- 4 Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia, Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniera Agroindustrial. Magister en Ingeniería de Alimentos. Armenia, Colombia.

Correspondencia: laurasofiatv@gmail.com

equivalente, permitió la obtención de maltotriosa, maltosa y glucosa, compuestos propios de maltodextrina, además, tuvo efecto sobre los parámetros reológicos, evidenciándose el cambio de la estructura del almidón. La temperatura de 130°C fue la que tuvo mayor efecto sobre las variables de actividad de agua, contenido de humedad y cambio de color. Lo anterior demuestra que es posible la obtención de maltodextrinas a partir de pulpa y cáscara de plátano por vía enzimática y secado por atomización a temperatura de 130°C.

ABSTRACT

*The subproducts of agribusiness chains constitute about 90% of the portion of the crop, therefore, establish alternative uses may represent alternatives for producers. The aim of this study was evaluated the effect of enzymatic treatment on starch obtained from pulp and banana peel (*Musa paradisiaca* spp.) and establish the effect of drying temperature on starch hydrolyzate on chemical, physical and rheological properties. Water activity, moisture content and the dextrose equivalent content was quantified, reducing sugars present in the maltodextrin were determined by High-performance liquid chromatography; besides color and rheological parameters were determined. Enzymatic hydrolysis showed a significant effect on the amount of dextrose equivalent, allowed obtaining maltotriose, maltose and glucose, typical compounds maltodextrin also had an effect on the rheological parameters, showing the change of the starch structure. The temperature of 130°C was the one that had the greatest impact on the variables of water activity, moisture content and color. This shows that it is possible to obtain maltodextrins from pulp and banana peel enzymatically and spray drying temperature of 130°C.*

RESUMO

*Os derivados de cadeias agroindustriais constituem cerca de 90% da parte da colheita, portanto, estabelecer usos alternativos podem representar alternativas para os produtores. O objetivo deste trabalho, foi avaliar o efeito do tratamento enzimático de amido obtido a partir de casca e de polpa de banana (*Musa paradisiaca* spp.), estabelecer o efeito da temperatura de secagem no amido hidrolisado sobre as propriedades reológicas, químicas e físicas. foi quantificadas a atividade da água, o teor de umidade e o teor de equivalente de dextrose; açúcares redutores presentes nas maltodextrinas foram determinados por cromatografia líquida de alto desempenho; parâmetros de cor foi determinados e os parâmetros reológicos. A hidrólise enzimática mostrou um efeito significativo sobre a quantidade de equivalente em dextrose, permitiu a obtenção de maltotriose, maltose e glicose, compostos típicos maltodextrina também teve um efeito sobre os parâmetros reológicos, que mostra a mudança da estrutura de amido. A temperatura de 130°C foi a que teve o maior impacto sobre as variáveis da atividade de água, teor de umidade e cor. Isto mostra que é possível obter a partir de casca de maltodextrinas polpa de banana e enzimaticamente e spray temperatura de secagem de 130°C.*

PALABRAS CLAVE:

Almidón, Almidones modificados, Dextrosa equivalente, Enzimas, Reología.

KEY WORDS:

Starch, Modified starch, Dextrose equivalent, Enzymes, Reology.

PALAVRAS-CHAVE:

Amido, Amidos modificados, Equivalente dextrose, Enzimas, Reologia.

INTRODUCCIÓN

El plátano (*Musa spp.*) es una de las frutas más importantes en países desarrollados de Asia, Latinoamérica y África [1, 2]. En Colombia, este cultivo representa uno de los principales renglones agropecuarios con un área sembrada de 378.884 ha y una producción de 3.072.974 ton, adicionalmente, el plátano es el cultivo de mayor importancia económica para el Quindío, con una producción de 221.929 ton y una participación departamental (plátano y tubérculos) del 97,04% representando el 7,22% de la producción nacional [3]. La cáscara representa del 35% al 40% del fruto, generando residuos que se podrían aprovechar para la fabricación de diferentes productos de valor agregado entre los que se encuentra la extracción de almidón [4] para su aplicabilidad en la industria alimentaria [5, 6,7].

El almidón es un biopolímero de gran importancia compuesto por amilosa y amilopectina [8,9,10,11], es la mayor fuente de nutrición para animales y humanos y es una importante materia prima para la industria [12], es un material abundante, renovable, biodegradable y de bajo costo, extraído de diversas fuentes naturales [13] como tubérculos, cereales, legumbres y frutos inmaduros [14,15] que al hidrolizarse puede generar productos de mayor valor comercial.

Aparicio-Saguilán *et al.* (2014) reportan el creciente interés por la obtención de almidón a partir de fuentes no convencionales debido a que pueden presentar propiedades fisicoquímicas y funcionales diferentes a las que presentan los almidones convencionales, como los aislados de maíz, arroz, trigo y papa [16]. El plátano se ha estudiado como una fuente alterna para la obtención de almidón y se ha resaltado su potencial debido a sus propiedades físicas, químicas y funcionales, a su digestibilidad, modificación química y usos industriales [16].

Utrilla-Coello *et al* (2014) reportan la evaluación de las propiedades fisicoquímicas, estructurales y funcionales de almidones aislados de diversas variedades de plátano y sus características de digestibilidad [17]. Por su parte, Bello-Pérez *et al* (2002) y Aparicio-Saguilán *et al* (2014) obtuvieron almidones modificados mediante la hidrólisis de almidones de plátano, por métodos enzimáticos y ácidos [16, 18]. Por sus características y propiedades, este tipo de almidón puede ser utilizado para el desarrollo de nuevos productos, especialmente como nuevos ingredientes con características nutracéuticas [14].

Una alternativa de desarrollo de nuevos productos puede darse con la obtención de maltodextrina, que es un polisacárido no dulce, que consiste de unidades D-glucosa enlazadas principalmente por enlaces alfa(1-4) con valor de dextrosa equivalente inferior a 20 y puede ser obtenida por hidrólisis enzimática [19, 20]. Entre las enzimas empleadas para la hidrólisis de almidones se encuentra la enzima alfa-amilasa (Alfa 1,4-D- Glucan Glucano-hidrolasa) la cual permite la transformación de almidón a maltosa, glucosa y dextrinas.

La maltodextrina se utiliza en la industria alimentaria y farmacéutica porque permite la unión de sabor y grasa, la reducción de la permeabilidad del oxígeno a la pared de la matriz y la viscosidad aparente de un fluido [21, 22].

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del tratamiento enzimático sobre almidón obtenido a partir de pulpa y cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* spp.) variedad Dominico Hartón y determinar el efecto de la temperatura de secado en almidón hidrolizado sobre propiedades físicas, químicas y reológicas.

MÉTODO

Se utilizó plátano variedad Dominico-Hartón (*Musa AAB Simmonds*) de segunda calidad y en estado de madurez verde, según NTC 1190 [23], del cultivo ubicado en el Km 7 vía Armenia - La Tebaida (Quindío), con coordenadas 4°29'0,00"N, 75°44'45,91"O y 1209 m.s.n.m.

Extracción de almidones

Se extrajo almidón de pulpa y cáscara de plátano a nivel de laboratorio siguiendo metodología reportada por Torres *et al.* [24]. El secado del almidón se realizó en una estufa de circulación forzada (Binder, USA) a 40°C por 24 horas y la pulverizaron se hizo en un molino de cuchillas (Samurai, Colombia). Los productos fueron almacenados en bolsas de poliestireno de alta densidad a 24°C \pm 3 y un 60% de humedad relativa.

Hidrólisis enzimática de almidones

Se obtuvo maltodextrina de almidones de pulpa y cáscara de plátano a través de hidrólisis enzimática siguiendo la metodología reportada por Bello Pérez *et al* (2002) con algunas modificaciones [25]. La hidrólisis

se realizó con la enzima α -amilasa de origen fúngico (*Fungamyl 800 L, Dinamarca*). Se prepararon soluciones de ambos almidones en agua (20% p/v) y se ajustó su pH a 6,5. En un baño térmico (Mettmert, Alemania) se calentaron las soluciones hasta 72°C, temperatura a la que se adicionó la enzima en concentración de 0,02% v/v. El proceso se realizó con agitación manual durante 15 minutos. La enzima fue inactivada con choque térmico a 4°C \pm 2 por 5 minutos.

El secado se realizó en un secador por atomización (Instrument YC-015 Pilotech, Beijing China) a temperaturas de 110, 120 y 130°C.

Análisis químicos

Se determinó la actividad de agua (a_w), el contenido de humedad (CH) y los azúcares reductores expresados como dextrosa equivalente (DE). Se midió la a_w por el método del punto de rocío en un medidor de actividad de agua Aqualab Lite (Decagon, USA), y el CH fue determinado a través del método gravimétrico siguiendo la norma AOAC 934.06 usando una estufa de circulación forzada (Binder, USA) y balanza analítica (Mettler Toledo, Suiza). Los azúcares reductores se determinaron por el método de DNS (*ácido 3-amino-5-dinitrosalicílico*), según metodología modificada de Amid *et al.* [26].

Cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC)

Para los análisis cromatográficos se utilizó un cromatógrafo líquido de alta eficacia (Hitachi Elite Lachrom, Japón) con una fase móvil de ácido sulfúrico 5mM y un flujo de inyección 0,4 μ L/min, una columna Hi-Plex H Ligand Exchange (30 cm x 6,5 mm) (Agilent, Estados Unidos), tamaño de partícula de 8 μ m, acondicionada en un equipo con detector IR (L-2490), temperatura de la columna de 65°C alcanzada en un horno (L-2300).

Análisis de color

El color fue determinado mediante un colorímetro (CM-600d, Konica Minolta Optics Inc., Japón). Se obtuvieron coordenadas de color CIE $L^*a^*b^*$ empleando como referencia el iluminante D65 con observador de 10°. El rango de los parámetros de color fue $L^* = 0$ (negro) hasta 100 (blanco), $a^* = -60$ (verde) hasta +60 (rojo), y $b^* = -60$ (azul) hasta +60 (amarillo).

Análisis reológico

Se determinó a partir de suspensiones de 25 mL de maltodextrina al 8% (p/v) en base seca, sometidas a barridos de temperatura y agitación, siguiendo metodología reportada por Torres *et al.* [24]. El análisis reológico se realizó en un reómetro rotacional (TA Instrument, AR1500ex, USA), con el software *Reology Advantage Data Analysis*®, con el cual se obtuvieron los viscoamilogramas que representan las curvas de empastamiento.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se aplicó un diseño factorial completamente aleatorizado, donde los factores evaluados fueron tratamiento enzimático y temperatura de secado ($T_1 = 110^\circ\text{C}$; $T_2 = 120^\circ\text{C}$; $T_3 = 130^\circ\text{C}$). Se tuvieron como controles los almidones sin hidrolizar. Los ensayos se corrieron por triplicado.

Los resultados se analizaron a través de análisis de varianza con un nivel de significancia del 95%, empleando el software estadístico Statgraphics centurion xv versión 15.1.02 ®.

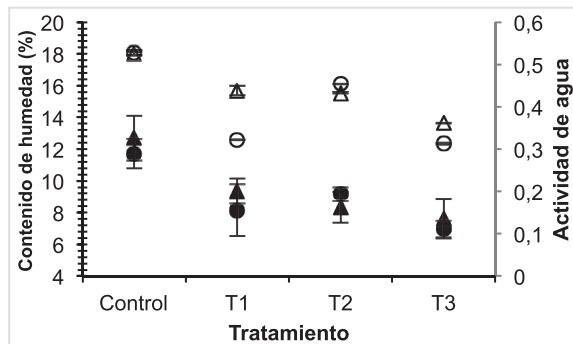
RESULTADOS

Análisis químico

En cuanto al análisis químico de las maltodextrinas, en la Figura 1, se presentan los resultados de la a_w y CH en función del tratamiento. El incremento en la temperatura generó mayor disminución de la a_w ($p < 0,05$). En maltodextrina de pulpa, la a_w osciló entre $0,313 \pm 0,002$ y $0,454 \pm 0,002$, mientras que el almidón tiene una a_w de $0,529 \pm 0,002$; siendo los tratamientos 1 y 3 los que presentaron una menor a_w . La maltodextrina de cáscara de plátano presentó a_w entre $0,361 \pm 0,003$ y $0,438 \pm 0,003$, el almidón de cáscara tuvo una a_w de $0,525 \pm 0,003$.

Con respecto al contenido de humedad se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). La maltodextrina obtenida de pulpa y cáscara de plátano presentaron valores de CH que oscilan entre $6,954 \pm 0,576$ y $9,171 \pm 0,576$ para pulpa y $7,610 \pm 0,648$ y $9,353 \pm 0,648$ para cáscara, mientras que los almidones de pulpa y cáscara presentaron un CH de $11,713 \pm 0,576$ y $12,681 \pm 0,648$, respectiva-

Figura 1. Actividad de agua y contenido de humedad en maltodextrina de pulpa (▲) y cáscara (●).



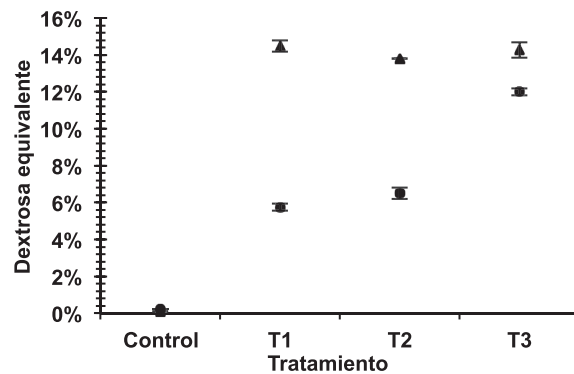
Formas sin relleno corresponden a actividad de agua.

mente. El menor contenido de humedad fue generado a temperatura de secado de 130°C. La a_w y el CH de materiales alimenticios son parámetros importantes que permiten predecir los cambios en sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas que pueden ocurrir durante su almacenamiento y transformación [27, 28]. Para productos secados por aspersión, la a_w es un índice importante, ya que puede afectar en gran medida la vida útil del polvo producido [29, 30]. Productos con valores de a_w menores a 0,6 pueden ser considerados estables desde el punto de vista microbiológico y con valores entre 0,2 y 0,4 permiten asegurar que son estables frente a pardeamiento y reacciones hidrolíticas, oxidación lipídica, auto-oxidación, y actividad enzimática y enzimáticas [30, 31]. Lo anterior sugiere que la maltodextrina de pulpa y cáscara de plátano son productos estables desde el punto de vista bioquímico, enzimático y microbiológico.

Formas sin relleno corresponden a actividad de agua

En la Figura 2 se presentan los resultados de DE, se obtuvieron valores para maltodextrina de cáscara de 14% \pm 0,004 para todos los tratamientos, mientras que el almidón no presentó niveles de dextrosa equivalente. Para maltodextrina de pulpa, se obtuvieron valores de DE entre 5,75% \pm 0,001 y 12,0% \pm 0,001, siendo la maltodextrina secada a 130°C la que tuvo el mayor porcentaje, por su parte, el almidón no presentó DE. Los resultados obtenidos presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) Los valores obtenidos fueron similares a los reportados por Bello-Pérez (2002), que oscilaron entre de 7-11 para maltodextrina producidas a partir de la hidrólisis enzimática de almidón de plátano.

Figura 2. Dextrosa equivalente en almidón hidrolizado en Pulpa (▲) y cáscara (●) de plátano.



Los resultados obtenidos sugieren que hubo modificación del almidón por efecto de la hidrólisis enzimática, obteniéndose maltodextrina, dado que éstas últimas se caracterizan por tener un DE menor al 20% [32]. La dextrosa equivalente es el principal parámetro para definir el uso de la maltodextrina [32]; los valores de DE obtenidos en este trabajo a temperatura de 130°C podrían sugerir su posible potencial como coadyudante de secado por aspersión de frutas y verduras, según lo planteado por Matsuura *et al.* (2015), quienes reportan el uso de maltodextrina que contienen de 10 a 15 DE para dicho fin [32].

Cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC)

En el Cuadro 1 se presentan los azúcares encontrados en los almidones modificados enzimáticamente. En los cromatogramas se encontró principalmente maltotriosa, maltosa y glucosa.

Se encontraron grandes áreas de maltotriosa en todos los tratamientos y diferencias significativas ($p < 0,05$). Para maltodextrina de pulpa se presentó un aumento del área de maltotriosa desde 162,9 hasta el 222,1%, siendo la maltodextrina secada a 120°C (T2) la que presentó una mayor área de maltotriosa. Comportamiento contrario se presentó para maltodextrina de cáscara, debido a que para los tratamientos T2 y T3 (muestras secadas a 120 y 130°C) se observó un descenso del 6,3 y 8,7% del área de este compuesto, respectivamente, mientras que para la muestra secada a menor temperatura (T1) se presentó un aumento del 0,5%. Para la maltosa, también se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre almidón y maltodextrina (p -valor=0). Se obtuvo una reducción del área de maltosa para maltodextrina de pulpa en un

Cuadro 1. Azúcares componentes de las maltodextrinas.

Muestra	Áreas de azúcares presentes en las muestras						
	% A	Δ A (%)	% B	Δ B (%)	% C	Δ C (%)	
1	C1	86,8	0,0	3,8	0,0	0,8	0,0
	T1	87,3	0,5	4,3	14,6	0,5	-41,0
	T2	81,3	-6,3	6,9	83,8	0,3	-65,4
	T3	79,2	-8,7	5,6	48,4	0,2	-76,9
2	C2	29,3	0,0	9,8	0,0	5,3	0,0
	T1	77,0	162,9	6,9	-29,9	0,3	-95,0
	T2	94,3	222,1	1,3	-86,7	0,1	-98,6
	T3	92,6	216,3	1,3	-86,5	0,4	-93,1

Cáscara (1) y pulpa de plátano (2) para los tratamientos evaluados, expresados en % de área (A: Maltotriosa; B: Maltosa; C: Glucosa).

rango entre 29,9% y 86,7%. De otra parte, para maltodextrina de pulpa, las áreas de la maltosa aumentaron tras el proceso de hidrólisis, variando con respecto al control entre 14,6 y 83,8%. Para ambos tipos de maltodextrina, el mayor cambio de área se evidenció para las muestras secadas a 120°C. Con respecto a las áreas de glucosa, los resultados obtenidos muestran diferencias altamente significativas entre las muestras con y sin tratamiento enzimático (Valor p=0). Se observa la reducción del área de glucosa para todas las muestras. Los tratamientos que permitieron la mayor variación del compuesto fueron T3 para la maltodextrina de cáscara y T2 para la de pulpa, con una disminución de 76,9 y 98,6%, respectivamente. Los altos valores de maltotriosa, seguido de la maltosa se deben a que durante la hidrólisis, la enzima α-amilasa corta la cadena de los polímeros amilosa y amilopectina en cadenas de tamaño regular, que dan como resultado maltotriosa, maltosa y dextrinas. La poca presencia de glucosa es debida a que para su producción es necesaria una fase de sacarificación donde interviene la enzima amiloglicosidasa [33].

Análisis de color

Los valores de luminosidad, croma, ángulo de tono y cambio de color se presentan en el Cuadro 2. En la Figura 3, se muestran los cambios encontrados para estos parámetros.

Se observa que la luminosidad de la maltodextrina de pulpa y cáscara de plátano aumentaron con respecto a los controles, lo que muestra que el secado por as-

Cuadro 2. Valores medios de Luminosidad. W

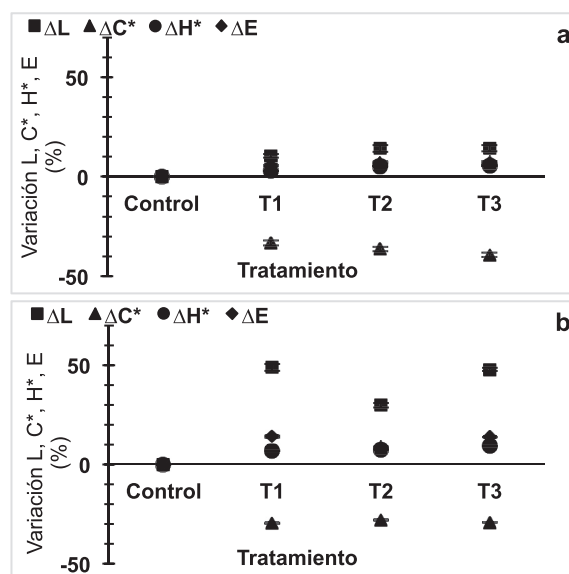
Muestra	Tratamiento	Lo*	L*	Co*	C*	Ho*	H*
1	C1	28,1	28,1	9,3	9,3	70,9	70,9
	T1	28,1	41,8	9,3	6,5	70,9	75,7
	T2	28,1	36,4	9,3	6,7	70,9	76,2
	T3	28,1	41,5	9,3	6,5	70,9	77,4
2	C2	40,2	40,2	11,0	11,0	74,5	74,5
	T1	40,2	44,4	11,0	7,3	74,5	76,7
	T2	40,2	45,9	11,0	7,0	74,5	78,4
	T3	40,2	46,0	11,0	6,7	74,5	78,7

(L*), Croma (C*), Ángulo de tono (H*) y Cambio de color (ΔE*) para las maltodextrinas de cáscara (1) y pulpa (2) a diferentes tratamientos y sus respectivos controles C1 y C2 (almidón de cáscara y de pulpa).

persión bajo las temperaturas evaluadas favorece la obtención de productos más claros que los almidones. Aunque no hay diferencias estadísticamente significativas entre los cambios de luminosidad, se muestra un mayor cambio para el tratamiento 3 (ΔL* = 14,3%). En maltodextrina de cáscara, se muestra un mayor cambio de luminosidad para el tratamiento 1 (ΔL* = 48,7%).

Los valores de croma indican que el color en las muestras de almidón hidrolizado es menos intenso que en el no hidrolizado (control) y por tanto más puro. No se

Figura 3. Cambios en parámetros de color por efecto del tratamiento enzimático de almidón.



Pulpa (a), y cáscara de plátano (b).

evidencian diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Los cambios de esta variable en maltodextrina de pulpa oscilaron entre -33,25 y -39,32% mientras que para maltodextrina de cáscara los cambios presentados estuvieron entre -28,04 y -29,65%. Los mayores cambios de cromas se encontraron en el tratamiento 3, lo que indica que a una mayor temperatura de secado (130°C) se obtiene un color menos intenso que los almidones.

Con respecto al ángulo de tono, se muestra un incremento por efecto del tratamiento enzimático y está ubicado en el primer cuadrante según CIELAB, indicando coloraciones entre rojo y amarillo, inclinándose más hacia este último. Los cambios en este parámetro variaron entre 2,94 y 5,58% y 6,81 y 9,13%, en pulpa y cáscara respectivamente.

En referencia al cambio de color, se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (valor $p=0$), encontrándose un menor cambio en maltodextrina de pulpa (5,6 y 7,2%), comparado con cáscara (8,8 y 14,0%). Se reporta un cambio de color de maltodextrina de plátano promedio de 5,8 [25], variación similar a la obtenida para las maltodextrinas de pulpa. El tratamiento que reflejó un mayor cambio de color en maltodextrina de cáscara fue el de 110°C, mientras que en maltodextrina de pulpa fue el de 130°C. La alteración del color se debe a la modificación de las características de la superficie del producto por efecto del secado [34].

Los tratamientos 1 y 3 permitieron obtener los mejores resultados para los parámetros de color determinados. Aunque algunas investigaciones reportan un cambio negativo en el color de productos secados con aire caliente debido a las altas temperaturas a las que se someten durante el proceso de secado [35], la maltodextrina de pulpa y cáscara de plátano presentaron un cambio de color favorable en comparación al color de los almidones, obteniéndose muestras más claras, de menor intensidad y agradables a la vista, ello posiblemente a que el secado por aspersión aunque maneja altas temperaturas, son cortos los tiempos de contacto de los productos con el aire caliente. Estos parámetros de color son muy importantes para evaluar la posible aplicación de estos tipos de maltodextrina en alimentos [25].

Análisis reológico

Los parámetros obtenidos para la prueba reológica en los tratamientos evaluados se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Parámetros determinados a través de las pruebas reológicas de las maltodextrinas.

Muestra		Tg (°C)	μ_i (Pa.s)	μ_m (Pa.s)	μ_f (Pa.s)
1	C1	65,000	0,011	0,800	1,180
	T1	86,500	0,014	0,013	0,017
	T2	84,000	0,012	0,011	0,013
	T3	81,500	0,011	0,011	0,013
2	C2	74,000	0,011	1,740	2,520
	T1	76,900	0,013	0,011	0,015
	T2	79,500	0,014	0,015	0,018
	T3	65,500	0,029	0,017	0,020

Cáscara (1) y pulpa de plátano (2). Tg: Temperatura de gelatinización; μ_i : viscosidad inicial; μ_m : viscosidad máxima; μ_f : viscosidad final.

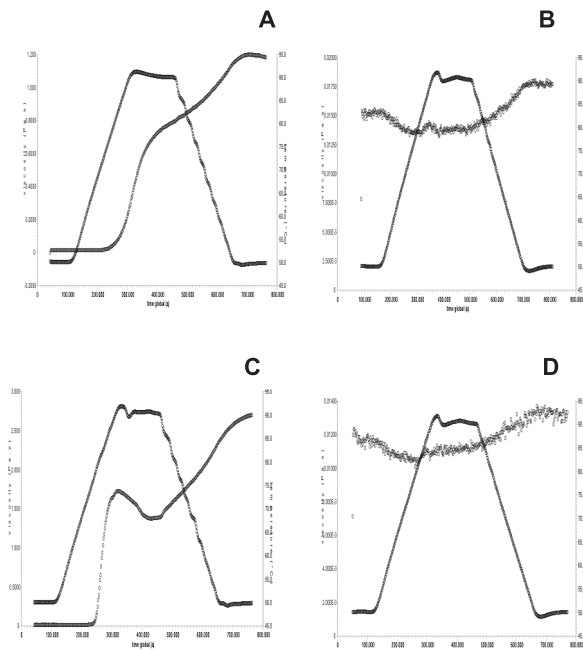
Se observa que para los almidones de cáscara y pulpa de plátano la temperatura de gelatinización es de 65 y 74°C, respectivamente.

Temperaturas de gelatinización similares a la de almidón de cáscara se han reportado para los almidón de maíz con valores entre 66 y 73 °C en función de la concentración de sacarosa [13]. Los valores de temperatura de gelatinización más altos representan una mayor estabilidad interna del gránulo de almidón, generalmente asociada a un mayor contenido de amilosa. La viscosidad final muestra un incremento relacionado con el enfriamiento de los almidones y se asocia con el fenómeno de retrogradación y con el contenido de amilosa [36].

En la Figura 4, se muestran los viscoamilogramas típicos obtenidos para almidones de cáscara y pulpa de plátano (A y C, respectivamente) y para maltodextrinas de cáscara y pulpa de plátano (B y D, respectivamente). Se observa un aumento de la viscosidad de los almidones en la etapa de calentamiento, este incremento es debido al hinchamiento que sufren los gránulos de almidón al estar sometidos a una temperatura de calentamiento, según se reporta en la literatura, los puentes de hidrógeno más débiles en el área amorfa se rompen y el gránulo se hincha progresivamente a medida que se hidrata [36].

Por su parte, no se evidencia en los viscoamilogramas para ninguna de las maltodextrinas un comportamiento similar a los almidones; debido a que no hay incremento de la viscosidad durante la etapa de calentamiento, por efecto del cambio de estructura en los almidones generado por la hidrólisis enzimática.

Figura 4. Viscoamilogramas característicos para almidón y maltodextrina.



Cáscara de plátano (A y B, respectivamente) y de almidón y maltodextrinas obtenidas de pulpa de plátano (C y D, respectivamente).

CONCLUSIONES

El tratamiento enzimático con alfa amilasa generó efecto significativo sobre las propiedades químicas y reológicas de almidón obtenido a partir de pulpa y cáscara de plátano. La aplicación de este tratamiento podría generar una alternativa de uso para subproductos de pulpa y cáscara de plátano.

El proceso de secado convectivo no es adecuado para la obtención de maltodextrina de pulpa y cáscara de plátano. El incremento en la temperatura de secado por atomización generó disminución del contenido de humedad y actividad de agua, generando productos estables en almacenamiento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al programa de semilleros de investigación de Colciencias por la financiación de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] SONG, M.B., TANG, L.P., ZHANG, X.L., BAI, M., PANG, X.Q. and ZHANG, Z.Q. Effects of high CO₂ treatment on green-ripening and peel senescence in banana and plantain fruits. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(5), 2015, p. 875-887.
- [2] OLOYEDE, O.O., OCHEME, O.B. and NURUDEEN, L.M. Physical, Sensory and Microbiological Properties of Wheat-Fermented Unripe Plantain Flour. *Nigerian Food Journal*, 31(2), 2013, p. 123-129.
- [3] COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR). Anuario Estadístico del Sector Agropecuario 2012. Evaluaciones Agropecuarias Municipales. Bogotá (Colombia): 2013, 294 p.
- [4] YUSUFU, P.A., MOSIKO, T.B. and OJUKO, O.O. Effect of Firm Ripe Plantain Fruit Flour Addition on the Chemical, Sensory and Microbial Quality of Fura Powder. *Nigerian Food Journal*, 32(1), 2014, p. 38-44.
- [5] WATERSCHOOT, J., GOMAND, S.V., DELCOUR, J.A. and GODERIS, B. Direct evidence for the non-additive gelatinization in binary starch blends: A case study on potato starch mixed with rice or maize starches. *Food Hydrocolloids*, 50, 2015, p. 137-144.
- [6] ZAIDUL, I.S.M., NODA, T., SHARIF, K.M., KARIM, A.A. and SMITH, R.L. Reduction of gelatinization temperatures of starch blend suspensions with supercritical CO₂ treatment. *The Journal of Supercritical Fluids*, 95, 2014, p. 499-505.
- [7] CHEN, W., ZHOU, H., YANG, H. and CUI, M. Effects of charge-carrying amino acids on the gelatinization and retrogradation properties of potato starch. *Food Chemistry*, 167, 2015, p. 180-4.
- [8] MOORE, S.A., AI, Y., CHANG, F. and JANE, J.L. Effects of alpha-amylase reaction mechanisms on analysis of resistant-starch contents. *Carbohydrate Polymer*, 115, 2015, p. 465-71.
- [9] CARLSTEDT, J., WOJTASZ, J., FYHR, P. and KOCHERBITOV, V. Understanding starch gelatinization: the phase diagram approach. *Carbohydrate Polymers*, 129, 2015, p. 62-69.
- [10] WANG, K., WAMBUGU, P.W., ZHANG, B., WU, A.C., HENRY, R.J. and GILBERT, R.G. The biosynthesis, structure and gelatinization properties of starches from wild and cultivated African rice species (*Oryza barthii* and *Oryza glaberrima*). *Carbohydrate Polymers*, 129, 2015, p. 92-100.

- [11] SCHWARTZ, J.M., LE BAIL, K., GARNIER, C., LLAMAS, G., QUEVEAU, D., PONTOIRE, B., SRZEDNICKI, G. and LE BAIL, P. Available water in konjac glucomannan–starch mixtures. Influence on the gelatinization, retrogradation and complexation properties of two starches. *Food Hydrocolloids*, 41, 2014, p. 71-78.
- [12] HUANG, J., ZHAO, L., MAN, J., WANG, J., ZHOU, W., HUAI, H. and WEI, C. Comparison of physicochemical properties of B-type nontraditional starches from different sources. *International Journal of Biological Macromolecules*, 78, 2015, p. 165-172.
- [13] LI, Q., LI, H. and GAO, Q. The influence of different sugars on corn starch gelatinization process with digital image analysis method. *Food Hydrocolloids*, 43, 2015, p. 803-811.
- [14] BELLO-PÉREZ, L.A. and PAREDES-LÓPEZ, O. Starches of Some Food Crops, Changes During Processing and Their Nutraceutical Potential. *Food Engineering Reviews*, 1(1), 2009, p. 50-65.
- [15] HERNANDEZ-JAIMES, C., BELLO-PÉREZ, L.A., VERNON-CARTER, E.J. and ALVAREZ-RAMIREZ, J. Plantain starch granules morphology, crystallinity, structure transition, and size evolution upon acid hydrolysis. *Carbohydrate Polymer*, 95(1), 2013, p. 207-13.
- [16] APARICIO-SAGUILÁN, A., AGUIRRE-CRUZ, A., MÉNDEZ-MONTEALVO, G., RODRIGUEZ-AMBRIZ, S.L., GARCIA-SUAREZ, F.J., PÁRAMO-CALDERÓN, D.E. and BELLO-PÉREZ, L.A. The effect of the structure of native banana starch from two varieties on its acid hydrolysis. *LWT - Food Science and Technology*, 58(2), 2014, p. 381-386.
- [17] UTRILLA-COELLO, R.G., RODRIGUEZ-HUEZO, M.E., CARRILLO-NAVAS, H., HERNANDEZ-JAIMES, C., VERNON-CARTER, E.J., and ALVAREZ-RAMIREZ, J. In vitro digestibility, physicochemical, thermal and rheological properties of banana starches. *Carbohydrate Polymer*, 101, 2014, p. 154-62.
- [18] ESPINOSA-SOLIS, V., SANCHEZ-AMBRIZ, S.L., HAMAKER, B.R. and BELLO-PÉREZ, L.A. Fine structural characteristics related to digestion properties of acid-treated fruit starches. *Starch-Stärke*, 63(11), 2011, p. 717-727.
- [19] UDOMRATI, S. and GOHTANI, S. Tapioca maltodextrin fatty acid ester as a potential stabilizer for Tween 80-stabilized oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*, 44, 2015, p. 23-31.
- [20] LI, Z., LIU, W., GU, Z., LI, C., HONG, Y. and CHENG, L. The effect of starch concentration on the gelatinization and liquefaction of corn starch. *Food Hydrocolloids*, 48, 2015, p. 189-196.
- [21] VIDOVIĆ, S.S., VLADIĆ, J.Z., VAŠTAG, Ž.G., ZEKOVIĆ, Z.P. and POPOVIĆ, L.M. Maltodextrin as a carrier of health benefit compounds in Satureja montana dry powder extract obtained by spray drying technique. *Powder Technology*, 258, 2014, p. 209-215.
- [22] LARGO-ÁVILA, E., CORTÉS-RODRÍGUEZ, M. and CIRO-VELÁSQUEZ, H.J. Influence of Maltodextrin and Spray Drying Process Conditions on Sugarcane Juice Powder Quality. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 68(1), 2014, p. 7509-7520.
- [23] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS (ICONTEC). Clasificación de plátano. Bogotá (Colombia): 1990.
- [24] TORRES-GRISALES, Y., MELO-SABOGAL, D.V. y TORRES-VALENZUELA, L.S. Alternativas de uso de subproductos para la funcionalización de alimentos. *Cap&Cua*, 13, 2014, p. 33-38.
- [25] BELLO-PÉREZ, L.A., SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, L., MORENO-DAMIÁN, E. and TORO-VAZQUEZ, J.F. Laboratory scale production of maltodextrins and glucose syrup from banana starch. *Acta Científica Venezolana*, 53, 2002, p. 44-48.
- [26] AMID, M. and ABD-ANAP, M.Y. Purification and characterisation of a novel amylase enzyme from red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel. *Food Chemistry*, 165, 2014, p. 412-8.
- [27] MOREIRA, R., CHENLO, F., TORRES, M.D., and VALLEJO, N. Thermodynamic analysis of experimental sorption isotherms of loquat and quince fruits. *Journal of Food Engineering*, 88(4), 2008, p. 514-521.
- [28] AYALA-APONTE, A. Estimación de las isothermas de adsorción y del calor isostérico en harina de yuca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(1), 2011, p. 88-96.
- [29] QUEK, S.Y., CHOK, N.K. and SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 2007, p. 386-392.
- [30] CALISKAN, G. and NUR-DIRIM, S. The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. *Food and Bioproducts Processing*, 91(4), 2013, p. 539-548.

- [31] MARQUES, L.G., FERREIRA, M.C. and FREIRE, J.T. Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra* L.). Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 46(5), 2007, p. 451-457.
- [32] MATSUURA, T., OGAWA, A., TOMABECHI, M., MATSUSHITA, R., GOHTANI, S., LOON-NEOH, T. and YOSHII, H. Effect of dextrose equivalent of maltodextrin on the stability of emulsified coconut-oil in spray-dried powder. Journal of Food Engineering, 163, 2015, p. 54-59.
- [33] CHEETHAM, P. Aplicación de los enzimas en la industria. Manual de Biotecnología de las Enzimas. Madrid (España): Acribia, 1985, p. 269-368.
- [34] CHRANIOTI, C., NIKOLOUDAKI, A. and TZIA, C. Saffron and beetroot extracts encapsulated in maltodextrin, gum Arabic, modified starch and chitosan: Incorporation in a chewing gum system. Carbohydrate Polymer, 127, 2015, p. 252-63.
- [35] MORENO, D.C. y DÍAZ, A.C. Influencia de las temperaturas del proceso de secado por aire caliente en las características de calidad de tomate (*Lycopersicum esculentum*). Bogotá (Colombia): Memorias del Encuentro Nacional de Investigación y Desarrollo (ENID), 2012.
- [36] SUELY-MADRUGA, M., MEDEIROS DE ALBUQUERQUENE, F.S., ALVES-SILVA, I.R., SILVA DO AMARAL, D., MAGNANI, M. and QUEIROGA NETO, V. Chemical, morphological and functional properties of Brazilian jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) seeds starch. Food chemistry, 143, 2014, p. 440-445.

HIDRÓLISIS ENDO-ENZIMÁTICA Y PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DEL BANANO DE RECHAZO

ENDO-ENZYMATIC HYDROLYSIS AND ETHANOL PRODUCTION FROM BANANA REJECTED

ENDO-HIDRÓLISE ENZIMÁTICA E PRODUÇÃO DE ETANOL DE BANANA DE REJEIÇÃO

CARLOS A. GUEVARA-BRAVO¹, HÉCTOR A. ARENAS², CARLOS A. PELÁEZ-JARAMILLO³

RESUMEN

Los polisacáridos del banano de rechazo verde (Variedad Cavendish AAA), de la zona de Urabá, fueron hidrolizados eficientemente, utilizando tratamiento endo-enzimático a altas temperaturas. Posteriormente los azúcares simples fueron extraídos y los jugos resultantes fermentados con levaduras comerciales. Al final del proceso se determinó la concentración de etanol y se calcularon los rendimientos. Primero, se desarrollaron experimentos a escala de 1,0 Kg y se determinaron las mejores condiciones de hidrólisis: Concentración de etileno exógeno (50 ppm), temperatura (33°C) y cantidad de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (10 g/Kg de banano), adecuada para la extracción. Teniendo como referencias las condiciones anteriores, fue escalado el proceso a 40 Kg, para determinar la metodología de extracción de los azúcares (en contracorriente), mediante la utilización de lechada de cal (1,0%), para precipitar los sólidos, centrifugación y posterior neutralización con H_2SO_4 hasta pH 5,5. Finalmente los jugos ricos en azúcares fueron fermentados con levaduras a 5 g/L, donde se alcanzó un rendimiento de 52 mL de etanol/Kg de banano. Estos resultados indican que el proceso es promisorio para producir alcohol a gran escala, Sin

Recibido para evaluación: 3 de Diciembre de 2014. **Aprobado para publicación:** 14 de Octubre de 2015.

- 1 Universidad del Quindío, Programa de Química. Dr. Ciencias Químicas. Armenia, Colombia
- 2 Universidad de Antioquia, Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares. Ingeniero Químico. Medellín, Colombia
- 3 Universidad de Antioquia, Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares. Dr. Química. Medellín, Colombia.

Correspondencia: caguevara@uniquindio.edu.co

embargo se debe mejorar, para que sea competitivo con los rendimientos obtenidos con de caña de azúcar (86 mL de etanol/Kg de caña).

ABSTRACT

Polysaccharides from bananas rejected (Cavendish AAA group) from Urabá were hydrolyzed efficiently using an endo-enzymatic treatment at high temperatures. Subsequently the simple sugars were extracted and the resultant juices were fermented with commercial yeast. Finally ethanol concentration was determined and the yields calculated. First, experiments at 1,0 Kg scale were developed and were determined the better hydrolysis condition: exogenous ethylene concentration (50 ppm), temperature (33°C) and Ca(OH)₂ amount (10 g/Kg of banana), suitable for extraction. Taking as references the before conditions, was scaled up the process at 40 Kg level, where was determined the better sugars extraction methodology (cross-current), by means of utilization of lime solutions (1,0%), for solids precipitation, centrifugation and after neutralization with H₂SO₄ at pH 5,5. Finally the rich sugars juices were fermented with yeast at 5 g/L, where was found a maximum relation of 52 mL of ethanol/kg of banana. This results suggest that the proposal process is promissory to produce ethanol at large scale, but is necessary to improve the efficiency to be competitive with yields gets a industrial level with sugar cane (86 mL of ethanol/Kg of sugarcane).

RESUMO

Polissacarídeos bananas rejeitados (AAA variedade Cavendish) da região de Urabá, foram hidrolisados de forma eficiente usando tratamento endoenzima em altas temperaturas. Posteriormente açúcares simples foram extraídos e sucos fermentados resultando leveduras comerciais. Após o processo, a concentração de etanol foi determinada e os rendimentos foram calculados. Em primeiro lugar, as experiências foram desenvolvidas 1,0 Kg de escala e foram determinadas as melhores condições de hidrólise: Concentração de etileno exógeno (50 ppm), temperatura (33°C) e a quantidade de Ca(OH)₂ (10 g/kg bananas), adequado para a extração. Tomando como referência as condições acima, o processo foi dimensionada para 40 kg, a metodologia para a determinação de extração de açúcares (contracorrente), usando leite de cal (1,0%) para precipitar sólidos, centrifugação e subsequente neutralização com H₂SO₄ a pH 5,5. Finalmente sumos de açúcar elevados foram fermentado com levedura a 5 g/L, em que um caudal de 52 mL de etanol/kg de banana foi atingido. Estes resultados indicam que o processo é promissor para a produção de escala álcool, no entanto deve ser melhorada, para torná-lo competitivo com os rendimentos obtidos com a cana (86 mL de etanol/kg de cana).

INTRODUCCIÓN

La producción colombiana de bananos de rechazo (no apto para exportación) en la zona de Urabá se estima en 250.000 ton al año, de las cuales 140.000 son usadas para satisfacer el consumo nacional y 110.000 para la produc-

PALABRAS CLAVE:

Fermentación, Extracción, Etileno, Escalamiento, Enzimas.

KEYWORDS:

Fermentation, Extraction, Ethylene, Escal up, Enzymes.

PALAVRAS CHAVE:

Fermentação, Extração, Etileno, Scaling, Enzima.

ción de compost y alimentación animal [1]. La fruta está concentrada en las empacadoras y además contiene carbohidratos entre 22 y 25% en peso húmedo [2], que pueden ser utilizados para la producción de etanol. Sin embargo, la mayoría de los carbohidratos presentes en los bananos verdes son polisacáridos complejos y por lo tanto no están disponibles para ser metabolizados por las levaduras; así que se hace necesario realizar la hidrólisis de estos carbohidratos, en su mayor parte almidón, para convertirlos en azúcares simples [3]. En el caso específico del banano, se ha investigado sobre la implementación de diversos procesos hidrolíticos como la hidrólisis ácida y exo-enzimática [4].

La hidrólisis endo-enzimática (hidrólisis endógena o maduración inducida), es un proceso ampliamente usado en la cadena de comercialización de diversas frutas, entre ellas el banano. Este proceso se basa en la activación de los enzimas endógenos (amilasas, celulasas, pectinasas etc), mediante la aplicación de etileno (hormonas de la maduración), y en condiciones controladas de temperatura y humedad relativa [5], con el fin de obtener una fruta con características organolépticas deseadas por el consumidor final [6]. La desactivación de éste proceso ha sido también estudiada, principalmente mediante el bloqueo de la hormona etileno, realizando la aplicación de 1-MCP (1-Metilciclopropano), con el objetivo de extender la vida de los frutos [7].

Si se desea proyectar la producción de etanol a nivel industrial, a partir de los carbohidratos de los frutos verdes de banano, se requieren condiciones más fuertes, con el fin de obtener la mayor cantidad de azúcares fermentables en el menor tiempo posible, independiente de las características organolépticas finales. Por lo tanto, es posible utilizar concentraciones elevadas de la hormona etileno, temperaturas mayores a las del ambiente y % de humedad relativa cercana a los valores máximos. A pequeña escala, se ha dedicado especial atención al efecto de la concentración de etileno y la temperatura en recipientes de vidrio [8] y a las cinéticas del cambio de color y textura de los frutos a altas temperaturas [9]. Además, se ha determinado el comportamiento de los enzimas endógenos, por ejemplo de α y β amilasas a diferentes temperaturas [10], de la pectatoliasa (PEL) [11] y los efectos inhibitorios de extractos sobre la polifenol-oxidasa [12].

La extracción acuosa de los azúcares fermentables, presentes en el fruto hidrolizado, es el siguiente paso para la obtención de jugos con alto contenido de sólidos solubles, que se pueden fermentar. Se han utilizado

bananos maduros sin cáscara, molidos y luego sometidos a extracción con solo agua caliente [13]. Se ha comparado el efecto de las extracciones enzimáticas y mecánicas con respecto al rendimiento y composición del jugo [14]. Se ha utilizado la hidrólisis exo-enzimática a bananos maduros (*Musa sapientum* Linn.), utilizando pectinasas y α -amilasas comerciales, por separado, como pre-tratamiento antes de la producción de vinos [15]; el uso de pectinasas comerciales a concentraciones entre 0,01 y 0,05% v/w y entre 30-60°C, para la obtención de jugos de banano y posterior filtración en tela [16]. También, con el objetivo de determinar la influencia de la microestructura y el contenido de taninos en la extracción de jugos a partir de banano; se realizaron exámenes microscópicos de las secciones de pulpa y se determinó que los taninos liberados durante la ruptura, facilitan la liberación del jugo [17].

Algunas investigaciones se han realizado con el objetivo de evaluar todas las etapas involucradas en el proceso de producción de etanol a partir de bananos. Hammond analizó el potencial de los bananos maduros en la producción de alcohol [18]. A partir de bananos verdes se consiguieron eficiencias superiores al 95% en un sistema enzimático de SSF, utilizando glucoamilasas, enzimas pectinolíticas y levadura [19].

Los objetivos de ésta investigación fueron: la determinación a escala de laboratorio, de las mejores condiciones de hidrólisis endo-enzimática de los polisacáridos presentes en el banano verde y determinar los reactivos necesarios para la extracción; posteriormente se escaló el proceso a un nivel de 40 Kg para establecer las metodologías adecuadas de extracción de los azúcares fermentables y los rendimientos de la fermentación alcohólica.

MÉTODO

Material vegetal

Bananos verdes de rechazo provenientes de la zona de Urabá fueron comprados en la Central Minorista de la ciudad de Medellín, sin desgajar, libres de daños y posteriormente fueron lavados, desinfectados con solución de hipoclorito 0,1% v/v y finalmente pesados individualmente.

Métodos analíticos

Tanto las pérdidas de peso de los bananos completos como el peso de cáscara y pulpa fueron realizados

en una balanza analítica OHAUSS con $1 \pm 0,001$ g. Para la determinación de sólidos solubles, se tomaron 2,0 g de pulpa de banano triturada y centrifugada; el sobrenadante se usó para la medición directa en el refractómetro y la medida fue reportada como °Brix. La cuantificación de azúcares reductores se realizó por el método del DNS (Ácido 3,5 dinitro salicílico), donde 100 μ L de jugo fueron diluidos a 10 mL y una alícuota de 500 μ L fue mezclada con 500 μ L de DNS y calentados a baño de agua hirviendo durante 12 min. Posteriormente se adicionaron 2 mL de agua destilada y finalmente se determinó la Absorbancia a 540 nm; la cuantificación se realizó tomando como base una curva de calibración elaborada con glucosa. La concentración de etanol se determinó en un cromatógrafo de gases Agilent 6890N, con detector FID, H₂ como gas de arrastre, columna Carbowax 20M de 50 m de longitud. La metodología fue la siguiente: 50°C durante 1 min, calentamiento a 20°C/min hasta 150°C, y estabilización por 2 minutos, rampa a 30°C/min hasta 200°C y estabilización por 1 min. Una curva de calibración desde 5 a 500 ppm, fue preparada usando etanol grado cromatográfico para determinar la relación entre el área del pico y la concentración.

Hidrólisis endo-enzimática y extracción a escala de laboratorio

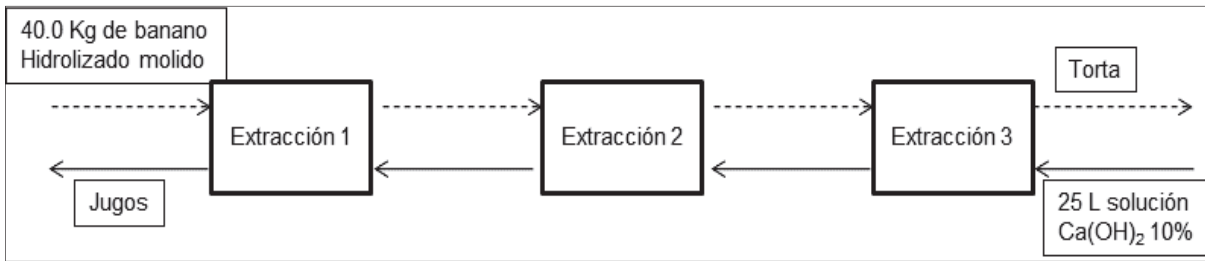
Para determinar la concentración óptima de etileno, se utilizaron 10 recipientes de vidrio, con sistema de cerrado hermético y acondicionados con válvulas para la inyección de gases (etileno: Mezcla de maduración "Azetil" conteniendo etileno 5% Cryogas®). En cada recipiente se colocaron siete (7) bananos verdes pesados y se inyectó etileno, de tal forma que las concentraciones dentro del sistema alcanzaran 25, 50, 100 y 200 ppm y adicionalmente el control (0,0 ppm). Por lo tanto se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con de 5 tratamientos con dos replicas. Todos los experimentos se realizaron por duplicado a temperatura ambiente ($\approx 25^\circ\text{C}$). Fue monitoreada la concentración de sólidos solubles (°Brix), en la pulpa 24, 66, 88 y 114 horas, tomando un banano por vez, al azar, de cada recipiente. La concentración de etileno que permitió obtener la mayor concentración de sólidos solubles en la pulpa, fue utilizada para los siguientes experimentos. El efecto de la temperatura fue determinado utilizando los recipientes descritos anteriormente. Se utilizaron doce (12) recipientes de vidrio conteniendo siete (7) bananos verdes cada uno; a todos les fueron inyectados una concentración fija de etileno comercial (anteriormente establecida) y de-

jados en reposo por 24 horas a temperatura ambiente para inducción de la maduración. Pasado este tiempo, los recipientes fueron trasladados a incubadoras donde las temperaturas se establecieron en 29, 33, 37°C y se dejó un control a temperatura ambiente. Los experimentos se realizaron por duplicado. Durante los experimentos se monitoreó la pérdida de peso, °Brix en la pulpa y en la cáscara y el peso de pulpa a 0, 24, 48, 60, 66, 88 y 114 horas. Para realizar estos fue necesario extraer un banano del recipiente, al azar, en cada estadio de la maduración y destruirlo para obtener los datos experimentales. Para la extracción de los jugos fueron utilizadas 70 mL de disoluciones acuosas de Ca(OH)₂ a diferentes concentraciones (1, 2,5, 5, 10 y 15% p/v), a 80°C, que fueron mezcladas con 100 g de bananos molidos. Después de un tiempo de contacto de 15 min, las mezclas fueron centrifugadas y se determinó el volumen obtenido de los jugos, así como la concentración de sólidos solubles (°Brix). Los experimentos se realizaron por triplicado.

Hidrólisis endo enzimática y extracción a escala de 40 Kg

Fueron utilizados aproximadamente 40 Kg de bananos verdes sin desgajar, pesados y lavados con solución de hipoclorito 0,1% y colocados en cámara de maduración. Fueron inyectados 50 ppm de la mezcla de maduración (etileno). La cámara se mantuvo sellada durante 24 horas, manteniendo la humedad relativa $\geq 85\%$ y la temperatura de 25°C. Pasado éste tiempo, se abrió la cámara y se permitió el intercambio de gases con el ambiente. Durante el resto del proceso, se aumentó la temperatura a 33°C y se mantuvo la humedad relativa, abriendo periódicamente la cámara y usando un ventilador y un humidificador. Para la extracción, los bananos hidrolizados a 33°C durante 66 h, fueron triturados enteros en un molino de tornillo sin fin y sus azúcares extraídos con 3 diferentes metodologías, a saber: 1. Extracción en una etapa, adicionando 100 mL/Kg de banano de lechada de cal al 10%, mezclado y centrifugado a 1000 rpm 2. Extracción en dos etapas. Adición de 100 mL/Kg de banano de lechada de cal al 10% a 70°C, mezclado y centrifugación y nuevamente adición a la torta de banano, agua caliente 200 mL/Kg de banano, mezclado y centrifugación. 3. Extracciones en contracorriente en 3 etapas (figura 1). Este proceso es más complejo y para evaluarlo se utilizaron varios lotes de 40 Kg de bananos. Se pretendió implementar un proceso de extracción similar al de caña de azúcar. En estos procesos, el material con el mayor contenido de sólidos solubles es puesto en

Figura 1. Metodología para la extracción del jugo, en contracorriente.



Las flechas punteadas indican el flujo del material sólido y las flechas continuas indican el flujo del agua

contacto con un líquido que contiene una concentración de sólidos solubles obtenida del contacto con un material sólido más agotado.

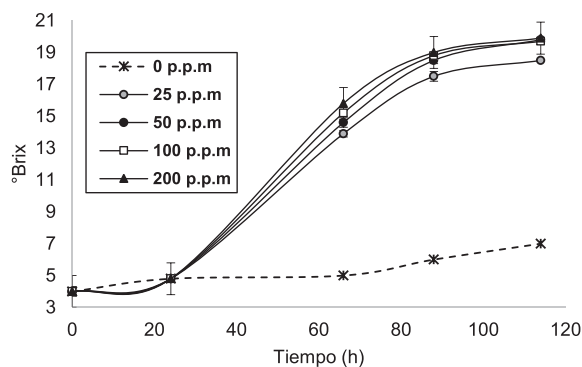
Fermentaciones

Los jugos de banano a pH básico, obtenidos en la etapa anterior fueron neutralizados con H₂SO₄ concentrados hasta pH 5,5, esterilizados y filtrados. Las fermentaciones fueron realizadas en erlenmeyers de 500 mL de capacidad, llenados hasta un 60% con jugos de banano de cada uno de los tratamientos. Los jugos fueron inoculados con levadura comercial a una concentración de 5 g/L y el recipiente fue adaptado a una trampa de gases para promover la fermentación; pasadas 72 horas, se determinó la concentración de etanol por cromatografía gaseosa.

RESULTADOS

Con respecto a la hidrólisis endo-enzimática, en la figura 2 se observa el efecto de la concentración de etileno sobre los °Brix en la pulpa a diversos tiempos de hidrólisis.

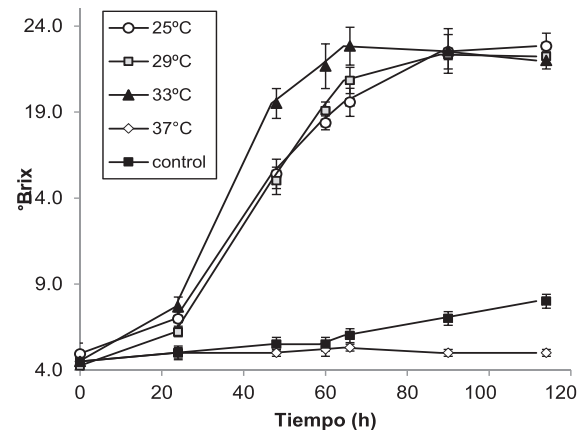
Figura 2. Efecto de la concentración de etileno sobre la hidrólisis endo-enzimática.



El test de rango múltiple realizado a 88 horas de hidrólisis endo-enzimática, indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones utilizadas a (200, 100, 50 ppm), pero si se encuentran diferencias con la concentración de 25 ppm con un nivel de confianza del 95%. También hay diferencias significativas con respecto al blanco. Estos resultados concuerdan con la bibliografía donde se indica que en algunos tratamientos, usando apenas 0,1 mg/L de etileno inducen la hidrólisis endo-enzimática en bananos [20]. En tratamientos comerciales, para lograr las características organolépticas deseadas, es común el uso de 100 a 1000 ppm. Utilizando como base los resultados, se determinó continuar los siguientes experimentos, usando la concentración de 50 ppm.

En la figura 3, se observa el comportamiento de los sólidos solubles (°Brix), en la pulpa, cuando se realiza la hidrólisis endo-enzimática a diferentes temperaturas. La mayor cantidad de sólidos solubles en la pulpa (22,5 °Brix), se obtuvieron después de 66 horas de transcurrido el proceso a una temperatura de 33°C y

Figura 3. Comportamiento de los °Brix en la pulpa durante la hidrólisis endo-enzimática.



una Humedad relativa de 85-90%. En este tiempo, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento a 33°C y los realizados a 29 y 25°C. Esto quiere decir que la actividad enzimática, principalmente de celulasas y amilasas se ve aumentada con la temperatura, hasta alcanzar un límite a los 37°C donde se presenta inhibición enzimática.

Cabe anotar que la temperatura aquí enunciada corresponde a la de la cámara utilizada para la hidrólisis y no la temperatura interna de los bananos. Transcurridas 88 horas, se nota un leve descenso de los sólidos solubles en el tratamiento a 33°C, hasta alcanzar los obtenidos a 25 y 29°C, lo que puede ser indicativo de la degradación de los azúcares provocada por fermentación.

El comportamiento de la cáscara en éste proceso se observa en la figura 4. Se alcanzaron la mayor cantidad de sólidos solubles (9,2 °Brix), transcurridas 60 horas del experimento a 33°C. Se encontró que en ese momento, existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de 33, 29 y 25°C. Nuevamente, se puede notar que al aumentar la temperatura, se disminuye el tiempo necesario para alcanzar la mayor cantidad de sólidos solubles (°Brix) y que transcurridas 88 horas, la cantidad de sólidos solubles empieza a disminuir en el tratamiento a 33°C.

Es de importancia anotar que la coloración de los bananos durante el proceso a alta temperatura no cambia, permaneciendo de coloración verde; esto concuerda con resultados que indican que a temperaturas mayores de 25°C, hay baja actividad clorofilasa que conduce a la degradación incompleta de clorofila y la formación de color amarillo es inhibido e indica que se presenta un estrés por calor en la fruta [21, 22].

En la figura 5, se relaciona la pérdida de peso del fruto con la temperatura de hidrólisis endo-enzimática. Inicialmente, se presenta una mayor velocidad de pérdida de peso en los experimentos a 29°C, pero transcurridas 88 horas no se presentan diferencias estadísticamente significativas. A las 66 horas, tiempo en el cual se alcanza la mayor cantidad de sólidos solubles en la pulpa a una temperatura de 33°C, no presentan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

Esta pérdida de peso es atribuida a la deshidratación por la exposición a altas temperaturas y la degradación de los azúcares en la respiración de los bananos. El tratamiento a 37°C, produce una disminución rápida del peso de los bananos en los estadios iniciales po-

siblemente debido la rápida deshidratación del fruto, pero luego esta tendencia disminuye debido a la inhibición de los procesos enzimáticos por la temperatura.

Figura 4. Comportamiento de los °Brix en la cáscara durante la hidrólisis endo-enzimática.

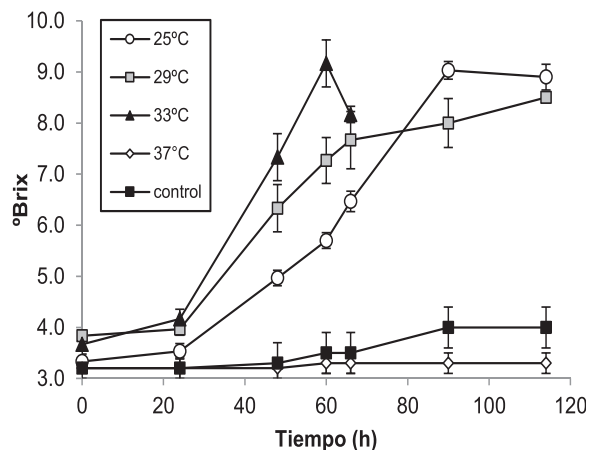
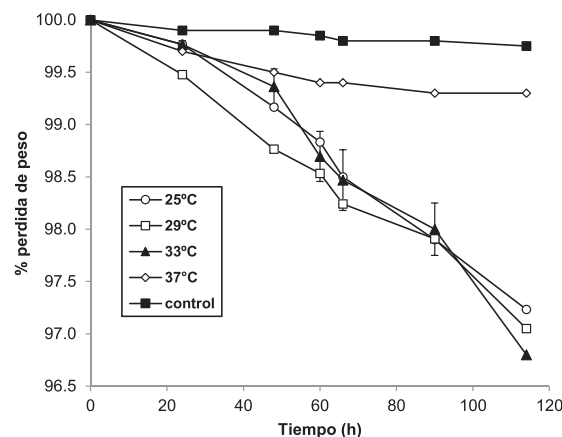


Figura 5. Pérdida de peso del banano durante hidrólisis endo-enzimática a diferentes temperaturas.



Cuadro 1. Efecto de la concentración de Ca(OH)₂ sobre el volumen de jugo extraído.

g Ca(OH) ₂ / Kg B.H	°Brix	Volumen filtrado (mL)	pH
1,0	9,5±0,4	110±3	5,4±0,4
2,5	9,5±0,3	110±3	7,4±0,3
5,0	9,5±0,2	117±5	8,1±0,6
10,0	9,5±0,2	122±2	9,4±0,4
20,0	9,1±0,4	109±1	10,3±0,1

Cuadro 2. Comparación de los diferentes tipos de extracciones.

Extracción	Ensayos	°Brix	g A.R/Kg B.M.	g A.R/Kg B.H.	mL EtOH/Kg B.H.
1 extracción simple	4	14,5±0,5	76,5±11,8	69,9±10,8	35,5 ± 1,6
2 extracciones simples	4	12,8±0,9	114,8±12	104,6±11,7	52,2±5,1
Extracción en contracorriente	4	13,7±0,8	111,1±4,4	101,5±4,1	52,1± 1,5

(g): gramos; (A.R.): azúcares reductores; (B. V): Banano verde; (B.H.): Banano Hidrolizado; (EtOH): Etanol.

Los bananos hidrolizados a 33°C fueron utilizados para realizar la extracción de los azúcares fermentables. Inicialmente, se determinó la concentración óptima de solución de lechada de cal en la extracción. Los resultados son expuestos en el cuadro 1:

El jugo extraído en las concentraciones de 5, 10, 20 g de Ca(OH)_2 /Kg banano fue translucido de color amarillo verdoso, lo que indica la separación óptima de los sólidos. Para posteriores ensayos se determinó utilizar la concentración de 10 g Ca(OH)_2 /Kg banano. Sin embargo un pH de 9,4 en el jugo hace necesaria una neutralización, antes de iniciar la fermentación, con H_3PO_4 , tal como se realiza con jugo de caña.

Para la etapa a escala de 40 Kg, se redujo la proporción de agua utilizada, para evitar la excesiva dilución de los azúcares y por tanto concentraciones de etanol bajas al final de la fermentación.

En los ensayos realizados a 40 Kg, las pérdidas de peso, por hidrólisis endo-enzimática ascendieron a 5,1% ± 0,78 y al quitar los pedúnculos, las pérdidas ascendieron a 8,6% ± 1,7. Este aumento en las pérdidas con respecto a los experimentos a nivel de laboratorio (2,5%) es debido a que en los experimentos a mayor escala, los bananos fueron hidrolizados, sin quitar los pedúnculos, con el objetivo de simular un proceso industrial. Estos pedúnculos fueron retirados antes de la molienda, reduciendo la materia prima disponible. En el cuadro 2, se presentan los rendimientos obtenidos con cada uno de los sistemas de extracción y la concentración de etanol después de la fermentación de los jugos

El Análisis estadístico indicó que no hay diferencias significativas en el proceso de dos extracciones secuenciales (52,2±5,1) y el proceso de extracción en contracorriente (52,1± 1,5). Ambas extracciones pueden ser usadas, sin embargo la extracción en contracorriente necesita una mayor cantidad de tiempo y energía, para ser realizada. Estos resultados indican que el procedimiento de extracción en 2 etapas es pro-

misorio. Sin embargo, el rendimiento de todo el proceso es bajo, si se compara con el proceso de obtención de alcohol a partir de caña de azúcar, donde se logran hasta 144 g de Azúcares reductores/Kg de caña de azúcar [23]. La cantidad de Etanol obtenido en todo el proceso, por Kg de materia prima es también bajo si se compara con la cantidad de etanol obtenida de caña de azúcar (hasta 85 mL/Kg).

CONCLUSIONES

La hidrólisis endo-enzimática es una alternativa viable, para la obtención de azúcares fermentables a partir del banano verde de rechazo y su posterior fermentación alcohólica. Con los experimentos realizados a dos escalas diferentes se obtuvieron resultados complementarios y satisfactorios, que permitirán el desarrollo de procesos a escala piloto. Sin embargo, es de anotar que los rendimientos de producción de etanol por kilogramo de banano verde, distan mucho todavía de los rendimientos a partir de caña de azúcar y por tanto próximos estudios deben enfatizar en la optimización del proceso hidrolítico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a COLCIENCIAS por su apoyo económico, en la realización de esta investigación

REFERENCIAS

- [1] AFANADOR, A. M. El Banano Verde de Rechazo en la Producción de Alcohol Carburante. Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia EIA, 3, 2005, p. 51-68.
- [2] AGAMA, E., NUÑEZ, M., ALVAREZ, J. and BELLO, L. Physicochemical, digestibility and structural characteristics of starch isolated from banana cultivars. Carbohydrate polymers, 124, 2015, p. 17-24.

- [3] PERONI, F., SIMAO, R., CARDOSO, M., SOARES, C., LAJOLO, F. and CORDENUNSI, B. In vivo degradation of banana starch: Structural characterization of the degradation process. *Carbohydrate polymers*, 81, 2010, p. 291-299.
- [4] GUEVARA, C., ARENAS, H., MEJIA, A., y PELAEZ, C. Obtención de etanol y biogás a partir de banano de rechazo. *Información Tecnológica*, 23(2), 2012, p.19-30.
- [5] WILLS, R.B.H., HARRIS, D.R., SPOHR, L.J. and GOLDING, J.B. Reduction of energy usage during storage and transport of bananas by management of exogenous ethylene levels. *Postharvest Biology and Technology*, 89, 2014, p. 7-10.
- [6] SOZMEZDAG, A., KELEBEK, H. and SELLI, S. Comparison of the Aroma and Some Physico-chemical Properties of Grand Naine (*Musa acuminata*) Banana as Influenced by Natural and Ethylene-treated Ripening. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(5), 2014, p. 2137-2145.
- [7] BOTONDI, R., DE SANCTIS, F., BARTOLONI, S. and MENCARELLI, F. Simultaneous application of ethylene and 1-MCP affects banana ripening features during storage. *Journal of the Science Food and Agriculture*, 94, 2014, p. 2170-2178.
- [8] SOARES, F.D., DANTELA, D., MOREIRA, S.H., BORGES, J.L., PERALTA, R.F. and SALVADOR, F.S.R. Study of Banana (*Musa aaa* Cavendish cv *Nanica*) Trigger Ripening for Small Scale Process. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 51(5), 2008, p. 1033-1047.
- [9] FREITAS, J., REZENDE, R. and RODRIGUES, F. Colorimetric indicator for classification of bananas during ripening. *Scientia Horticulturae*, 150, 2013, p. 201-205.
- [10] PERONI, F., CARDOSO, B., AGOPIAN, R., LOURO, R., NASCIMENTO, J., PURGATTO, E. and CORDENUNSI, B. The cold storage of green bananas affects the starch degradation during ripening at higher temperatura. *Carbohydrate polymers*, 96, 2013, p. 137-147.
- [11] WANG, J., JUAN, X., SHENG, P. and HUA, H. Changes in resistant starch from two banana cultivars during postharvest storage. *Food Chemistry*, 156, 2014, p. 319-325.
- [12] JU-HUA, L., GUANG-HONG, C., CAI-HONG, J., JIAN-BIN, Z., BI-YU, X. and ZHI-QIANG, J. Function of a citrate synthase gene (MaGCS) during postharvest banana fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 84, 2013, p. 43-50.
- [13] CALLIGARIS, S., FOSCHIA, M., BARTOLOMEOLI, I., MAIFRENI, M. and MANZOCCO, L. Study on the applicability of high-pressure homogenization for the production of banana juices. *Food Science and Technology*, 45, 2012, p.117-121.
- [14] YU, Y., XIAO, G., WU, J. and XU, Y. Comparing characteristic of banana juices from banana pulp treated by high pressure carbono dioxide and mild heat. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 18, 2013, p. 95-100.
- [15] CHEIRSILP, B. Processing of Banana-Based wine Product Using Pectinase and α -amilasa. *Journal of Food Process Engineering*, 31, 2008, p. 78-90.
- [16] TCHEWONPI, S., JONG, E., KARMAKAR, S. and DE, S. Optimisation of low temperature extraction of banana juice using commercial pectinase. *Food Chemistry*, 151, 2014, p. 182-190.
- [17] KYAMUHANGIRE, W., KREKLING, T., REED, E., and PEHRSON, R. The microstructure and tannin content of banana fruit and their likely influence on juice extraction. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 2006, p. 1908-1915.
- [18] BELLO, R., LINZMEYER, P., BUENO, C., SOUZA, O., WESTRUPP, S. and MARANGONI, C. Pervaporation of ethanol produced from banana waste. *Waste Management*, 34, 2014, p. 1501-1509.
- [19] BELLO, R., SOUZA, O., SELLIN, N., MEDEIROS, S. and MARANGONI, C. Effect of the microfiltration phase on pervaporation of ethanol produced from banana residues. *Computer Aided Chemical Engineering*, 31, 2012, p. 820-824.
- [20] DU, L., YANG, X., SONG, J., ZHUANGZHUANG, M., ZHANG, Z. and PANG, X. Characterization of the stage dependency of high temperature on green ripening reveals a distinct chlorophyll degradation in banana fruit. *Scientia Horticulturae*, 180, 2014, p. 139-146.
- [21] XIAOTANG, Y., SONG, J., FILLMORE, S., PANG, X. and ZHANG, Z. Effect of high temperature on color, chlorophyll fluorescence and volatile biosynthesis in green-ripe banana fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 62, 2011, p. 246-257.
- [22] BENJAMIN, Y., GÖRGENS, J.F. and JOSHI, S.V. Comparison of chemical composition and calculated ethanol yields of sugarcane varieties harvested for two growing seasons. *Industrial crops and products*, 58, 2014, p. 133-141.
- [23] ROLZ, C. and DE LEON, R. Ethanol fermentation from sugarcane at diferente maturities. *Industrial crops and products*, 33, 2011, p. 333-337.

AGROBIODIVERSIDAD UTIL EN ALIMENTACIÓN Y EN MEDICINA TRADICIONAL EN DOS MUNICIPIOS DEL CAUCA

USEFUL AGROBIODIVERSITY IN FOOD AND IN TRADITIONAL MEDICINE IN TWO MUNICIPALITIES OF CAUCA

AGROBIODIVERSIDADE ÚTIL NA COMIDA E NA MEDICINA TRADICIONAL EM DOIS MUNICÍPIOS DE CAUCA

CONSUELO MONTES-ROJAS¹, JUAN PABLO PAZ-CONCHA²

RESUMEN

En El Tambo y Timbío la base de la economía son las actividades del sector primario, especialmente producción agropecuaria y actividades forestales. Este trabajo tuvo por objeto reconocer e identificar especies vegetales útiles en alimentación y medicina local y el conocimiento asociado a su uso y manejo en fincas de El Tambo y Timbío, Cauca, como estrategia para contribuir a la conservación de la agrobiodiversidad y al fortalecimiento de la seguridad alimentaria de las comunidades de la región. La metodología del trabajo se fundamentó en la "Investigación Acción Participativa". El área de la investigación incluyó nueve veredas en El Tambo y dos en Timbío, se realizaron talleres, encuestas semiestructuradas y entrevistas personalizadas. En total se seleccionaron 25 fincas con alta agrobiodiversidad vegetal, donde se identificaron especies y el conocimiento tradicional asociado a su uso y manejo. Se pudo constatar que la agrobiodiversidad de plantas de uso alimenticio y medicinal, y el conocimiento tradicional asociado a ellas, se encuentra en alto grado de vulnerabilidad, porque existe un fuerte proceso de erosión genética y de pérdida de conocimiento ancestral que amenaza la seguridad alimentaria de los núcleos familiares de los campesinos asentados en esta

Recibido para evaluación: 14 de abril de 2015. **Aprobado para publicación:** 14 de octubre de 2015.

- 1 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias, TULL, Grupo de Investigación para el Desarrollo Rural. M Sc Profesora de planta. Popayán, Colombia.
- 2 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias, TULL, Grupo de Investigación para el Desarrollo Rural. M Sc Profesor de planta. Popayán, Colombia.

Correspondencia: cmontesr@unicauca.edu.co

región. Se espera contribuir con esta investigación en la conservación de los recursos naturales y en la concientización de la problemática actual.

ABSTRACT

El Tambo and Timbío the basis of the economy are the primary sector activities, especially agricultural production and forestry. This study aimed to recognize and identify useful plant species in local food and medicine and associated with their use and management in farms and Timbío El Tambo, Cauca knowledge as a strategy to contribute to the conservation of agricultural biodiversity and to strengthening food security of communities in the region. The work methodology was based on the "Participatory Action Research". The research area included nine villages in El Tambo and two Timbío, workshops, semi-structured surveys and personal interviews were conducted. In total 25 farms were selected with high agrobiodiversity plant where species and traditional knowledge associated with their use and management were identified. It was found that the agro-biodiversity of plant food and medicinal use, and the traditional knowledge associated with them, is in highly vulnerable, because there is a strong process of genetic erosion and loss of ancestral knowledge that threatens food security the households of farmers settled in this region. It is expected to contribute to the research in the conservation of natural resources and awareness of the current problems.

RESUMO

El Tambo e Timbío a base da economia são as actividades do sector primário, em especial a produção agrícola e florestal. Este estudo teve como objetivo reconhecer e identificar espécies de plantas úteis no local de alimentos e medicamentos e associados à sua utilização e gestão em fazendas e Timbío El Tambo, Cauca conhecimento como estratégia para contribuir para a conservação da biodiversidade agrícola e para o fortalecimento segurança alimentar das comunidades da região. A metodologia de trabalho baseou-se na "Pesquisa Acção Participativa". A área de pesquisa incluiu nove aldeias de El Tambo e dois Timbío, oficinas, pesquisas semi-estruturadas e entrevistas pessoais foram realizadas. No total, foram selecionados 25 fazendas com planta alta agrobiodiversidade, onde foram identificadas espécies e dos conhecimentos tradicionais associados à sua utilização e gestão. Verificou-se que a agro-biodiversidade de alimentos vegetais e uso medicinal, e do conhecimento tradicional a eles associados, está em altamente vulneráveis, porque há um forte processo de erosão genética e perda de conhecimento ancestral que ameaça a segurança alimentar as famílias de agricultores estabeleceram nesta região. Espera-se contribuir para a investigação no domínio da conservação dos recursos naturais e conscientização dos problemas atuais.

INTRODUCCIÓN

Si se considera que la biodiversidad constituye "el sostén de una gran variedad de servicios ambientales de los cuales han dependido las sociedades

PALABRAS CLAVES:

Seguridad alimentaria, Biodiversidad, Conocimiento tradicional, Recursos genéticos, Investigación participativa.

KEYWORDS:

Food security, Biodiversity, Traditional knowledge, Genetic resources, Participatory research

PALAVRAS CHAVE:

Segurança alimentar, Biodiversidade, Conhecimento tradicional, Recursos genéticos, Pesquisa participativa

humanas” porque proporciona bienes para la alimentación, los tejidos, las medicinas, el alojamiento y el combustible, cuando se pierde algún elemento de esta los ecosistemas pierden la capacidad de recuperación y los servicios que prestan se ven amenazados” [1].

Colombia se encuentra catalogada dentro del grupo de los 14 países que alberga el mayor índice de biodiversidad en la tierra denominada países mega diversos compartiendo esta categoría con, Argentina, Bolivia, Brasil, China, Costa Rica, Ecuador, India, Indonesia, Kenia, México, Perú, Sudáfrica y Venezuela [1]. El país vive un proceso acelerado de transformación de su hábitat y de los ecosistemas naturales y dentro de las causas directas de la pérdida de biodiversidad se identifican las políticas de estímulo a la ocupación y uso del territorio, el surgimiento y consolidación de los cultivos ilícitos, la construcción de obras de desarrollo e infraestructura sin las debidas consideraciones ambientales, la actividad minera, el consumo de leña, los incendios y la introducción de especies foráneas. Adicional a estos factores, es notorio el desconocimiento del potencial estratégico para la humanidad. Este fenómeno se manifiesta en la escasa investigación con las consecuentes deficiencias en el conocimiento científico del patrimonio natural del país. Este conjunto de causas, sumado a la débil capacidad institucional y la baja presencia del Estado en las zonas de alta biodiversidad, conduce a una situación de pérdida, en muchos casos irreversible [2]. La pérdida no sólo afecta el valor potencial de la flora y la fauna, sino también la salud, la seguridad y la soberanía alimentaria de las poblaciones humanas.

Lamentablemente, como consecuencia de lo anterior también están en grave riesgo de desaparecer, los conocimientos y saberes desarrollados y apropiados durante generaciones por las familias campesinas [2]. Con consecuencias sobre la sostenibilidad social y ambiental de los ecosistemas y las comunidades de la región, así como las especies vegetales y animales que coevolucionaron con éstas en la apropiación de sus territorios.

Por esta razón, en los municipios de Timbío y El Tambo como estrategia de prevención y atención al desplazamiento, dentro del proyecto de seguridad alimentaria de la Organización Internacional para las migraciones, se planteó reconocer la agrobiodiversidad con valor alimenticio, medicinal y el conocimiento tradicional asociado a su uso y manejo, como mecanismo para contribuir al conocimiento que aún se conserva en el departamento del Cauca y es importante en la seguridad alimentaria regional.

MÉTODO

La investigación se realizó en el Departamento del Cauca, en los Municipios de El Tambo (veredas de San Joaquín, Cabuyal, Loma Larga, Alto del Credo, Pomorrosos, Independencia, Versalles, Loma de Astudillo y El Placer) y Timbío (veredas de Urubamba y Samboní Alto).

El Municipio de El tambo está ubicado en la zona centro-occidente del Departamento del Cauca, a 33 kilómetros de la capital, Popayán, localizado entre los 2°27'15" de latitud norte y los 76°40'04" de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Por su extensión territorial 3.280 km² es el segundo municipio más grande del país. Tiene una altitud que varía entre 340 y 3.100 m.s.n.m., la temperatura promedio oscila entre 5 y 32°C y la precipitación media anual es de 2.035 mm, se caracteriza porque la mayor parte de su territorio es montañoso y su relieve pertenece a la cordillera occidental, las tierras están distribuidas en los pisos térmicos cálido, templado y frío y hace parte del piedemonte costero del Pacífico [3].

El Municipio de Timbío se encuentra situado en la región andina, altiplano de la zona centro del Departamento del Cauca, mejor conocida como meseta de Popayán, en medio de las cordilleras Central y Occidental, al suroccidente de la República de Colombia. Hace parte del Macizo Colombiano; se caracteriza por presentar una topografía desde ligeramente plana a fuertemente ondulada. Una pequeña porción del sector sur occidental del territorio se localiza en la zona transicional de la meseta de Popayán y la fosa o depresión del Patía, presentando aquí una topografía montañosa con relieve que varía desde quebrada a escarpada; la altura promedio es de 1850 msnm. La superficie de Timbío está distribuida en el piso térmico templado húmedo, presenta una temperatura promedio de 18°C y una precipitación media anual de 2.065 mm [4 y 5].

La metodología se fundamentó en la “Investigación Acción Participativa” donde se desarrollaron estrategias enfocadas a la obtención ágil y eficiente de información sobre los recursos y la vida en ámbitos rurales [6]. Para contextualizar a los protagonistas de la investigación se aplicaron herramientas como: talleres de sensibilización, entrevistas semiestructuradas, entrevistas personalizadas, encuestas y ejercicio de cartografía social.

Talleres de sensibilización

Se realizaron talleres de sensibilización en las veredas de San Joaquín, El Placer, Cabuyal de El Tambo y en

la vereda Urubamba de Timbío. Con el apoyo de los profesores y estudiantes de las escuelas de cada vereda se convocó a las comunidades a jornadas de trabajo práctico y participativo, donde se socializó la importancia de adelantar la investigación. Igualmente, se trabajaron temas sobre la agrobiodiversidad en el mundo y en Colombia, la importancia de esta en la vida cotidiana de las comunidades y la amenaza que ejerce el hombre sobre los recursos naturales y su estado actual. Se sensibilizó a la comunidad sobre la importancia de adelantar un ejercicio de cartografía social, que permitiera recrear el territorio y el reconocimiento de los habitantes como parte integral del mismo.

Encuestas semi- estructuradas

Dentro del desarrollo de los talleres de sensibilización se realizaron encuestas semi-estructuradas que permitieron obtener información complementaria sobre la agrobiodiversidad existente en los agro-ecosistemas de la región, en estas encuestas se hicieron preguntas prácticas de fácil respuesta para orientar el trabajo, teniendo en cuenta información como: nombre de la finca, vereda a la que pertenece, núcleo familiar, cultivos comerciales existentes, plantas medicinales, frutales, hortalizas, plantas poco conocidas y el uso y manejo asociado a cada una de ellas, animales domésticos y silvestres y su uso y aprovechamiento.

Cartografía social

Para la recreación del entorno, se llevó a cabo un ejercicio de cartografía social, donde se planteó su importancia y se dieron las pautas para desarrollarlo. El ejercicio consistió en la elaboración del mapa de uso actual del suelo y se realizó con la participación de los alumnos de las escuelas, quienes apoyaron a sus padres en el ejercicio, generando una participación activa y una transmisión del conocimiento en cuanto al territorio y la agrobiodiversidad que éste alberga. Cada familia, agricultores, amas de casa, abuelos y nietos dibujaron y demarcaron en papel su territorio, caracterizando su sistema tradicional de cultivo y la localización de la agrobiodiversidad cultivada.

Los mapas resultado del ejercicio de cartografía social, permitieron establecer cuales fincas aun conservaban sistemas de producción con alta agrobiodiversidad y no se habían acogido al monocultivo de café.

Identificación de especies y recopilación de conocimiento tradicional asociado a uso y manejo

Con base en los resultados obtenidos en los talleres, se identificaron las fincas con mayor número de especies de interés (uso alimenticio y medicina local), y aquellas donde había adultos mayores con conocimiento tradicional asociado al uso y manejo de las mismas, especialmente en lo que se refiere a requerimientos sobre manejo y aprovechamiento de las plantas.

Se planificaron giras de campo para identificar especies y el conocimiento tradicional asociado a su uso y manejo. Esta labor involucró a personas de la región que acompañaron la investigación en la fase de exploración. Se realizaron visitas programadas, donde se reconocieron especies y se hicieron las entrevistas personalizadas.

En las 25 unidades productivas se adelantaron diálogos con todos los miembros de la familia presentes, se socializó el trabajo y se pidió la colaboración y acompañamiento en el recorrido de la finca. Los propietarios guiaron la visita mostrando las especies existentes, contaron todo lo que sabían de ellas, como su nombre común, uso y manejo. Igualmente, permitieron y facilitaron el reconocimiento de especies vegetales, se registraron los datos de ubicación de cada especie, lo cual permitió obtener datos como: fecha, localización geográfica, temperatura, nombre de la finca, vereda, propietario, especies vegetales de interés existentes, vegetación asociada, usos, tipo de producción, sistemas de conservación utilizados y requerimientos agronómicos entre otros.

Todas las especies [7] fueron registradas debidamente y se localizaron dentro de las fincas con el fin de que sirvieran en futuros procesos de conservación *in situ*.

Simultáneamente al proceso de registro de especies en campo, se llevó a cabo la recopilación del conocimiento tradicional asociado al uso y manejo de las especies cultivadas en los agroecosistemas campesinos de la zona. Para la obtención del saber local sobre las especies trabajadas se recurrió a entrevistas semi-estructuradas en las cuales se llevaban predeterminadas algunas preguntas y otras surgieron en el transcurso de la conversación. Para considerar una persona importante para la entrevista, ésta debía ser adulto mayor integrante de la unidad familiar, debido a que son ellos quienes han adquirido a lo largo de su vida un valioso conocimiento tradicional, gracias a la observación y práctica del uso y manejo de los recursos biológicos disponibles en sus agroecosistemas; igualmen-

te, personas claves en la comunidad como médicos tradicionales o hierbateros y parteras.

RESULTADOS

Caracterización y Selección de Fincas

Se elaboraron 160 mapas de las unidades productivas, con base en ellos se seleccionaron las 25 fincas con mayor biodiversidad distribuidas en la zona geográfica del trabajo de investigación. En los mapas, el agricultor y su familia caracterizaron la finca y se pudo observar la agrobiodiversidad y cantidad de especies cultivadas, la distribución y tamaño de los cultivos, el tipo de producción, ya fuera de subsistencia o comercial, condiciones medioambientales, principalmente

fuentes de agua presentes en el sistema y a su vez contextualizar aspectos socioculturales, porque la siembra y mantenimiento de las diversas poblaciones permite al agricultor obtener y acumular conocimiento sobre la relación del medio con el manejo sostenible de los cultivos [7].

Agrobiodiversidad en las Unidades de Producción Seleccionadas

Se identificaron 73 materiales vegetales que representan 53 especies de plantas alimenticias, dentro de las que se encuentran 31 variedades pertenecientes a 27 familias botánicas (Cuadro 1); y 41 especies de plantas medicinales pertenecientes a 20 familias (Cuadro 2). Se identificaron de un total de 53 especies

Cuadro 1. Plantas alimenticias identificadas.

N° Especie	Nombre común	Nombre científico	Familia	N° Familia
1	Anón	<i>Annona squamosa</i>	ANONACEAE	1
2	Chirimoya	<i>Annona cherimola</i> L.		
3	Guanábana	<i>Annona muricata</i>		
4	Mango	<i>Mangifera indica</i> L.	ANACARDIACEAE	2
5	Chontaduro	<i>Bactris gasipaes</i>	ARECACEAE	3
6	Arracacha	<i>Arracacia xanthorrhiza</i>	UMBELLIFERAE	4
7	Achiote	<i>Bixa orellana</i>	BIXACEAE	5
8	Piña	<i>Ananas comosus</i>	BROMELIACEAE	6
9	Higuillo	<i>Vasconcellea goudotina</i>	CARICACEAE	7
10	Papaya común	<i>Carica papaya</i>		
11	Achira	<i>Canna edulis</i>	CANNACEAE	8
12	Pitahaya	<i>Hilocereus sp</i>	CACTACEAE	9
13 A	Batata blanca	<i>Ipomea batatas</i>	CONVOLVULACEAE	10
13 B	Batata morada	<i>Ipomea batatas sp2</i>		
13 C	Batata rosada	<i>Ipomea batatas sp3</i>		
14	Cidra papa	<i>Sechium edule</i>	CUCURBITACEAE	11
15	Alchucha	<i>Cyclantera pedata</i>		
16	Zapallo	<i>Cucurbita moschata</i>		
17	Madroño	<i>Garcinia madrunno</i> H.B.K.	CLUSIACEAE	12
18	Cacao	<i>Theobroma cacao</i> L.	ESTERCULIACEAE	13
19 A	Yuca chirosa	<i>Manihot esculenta</i>	EUFORBIACEAE	14
19 B	Yuca sata	<i>Manihot sp2</i>		
19 C	Yuca valluna	<i>Manihot sp3</i>		
20	Chachafruto	<i>Erythrina edulis</i>	FABACEAE	15
21	Frijol cachea	<i>Phaseolus polyanthus</i>		
22	Soya	<i>Glycine max</i>		
23	Guandul	<i>Cajanus cajan</i>		
24	Maní	<i>Arachis hipogea</i>		

N° Especie	Nombre común	Nombre científico	Familia	N° Familia
25	Caña panelera	<i>Saccharum officinarum</i>	GRAMINACEAE	16
26 A	Maíz de año	<i>Zea mays</i> L		
26 B	Maíz capio	<i>Zea sp2</i>		
26 C	Maíz curuntillo	<i>Zea sp 3</i>		
27 B	Aguacate	<i>Persea americana</i>	LAURACEAE	17
28 A	Guama común	<i>Inga densiflora</i> Benth	MIMOSACEAE	18
28 B	Guama churimba	<i>Inga edulis</i>		
28 C	Guama de cajita	<i>Inga sp</i>		
29	Brevo	<i>Ficus carica</i> L	MORACEAE	19
30 A	Banano común	<i>Musa sapientium</i>	MUSACEAE	20
30 B	Banano bocadillo	<i>Musa balbisiana</i>		
30 C	Banano portugués	<i>Musa sp</i>		
30 D	Guineo	<i>Musa sp</i>		
31 A	Plátano manzano	<i>Musa paradisiaca</i>		
31 B	Plátano guayabo			
31 C	Plátano negro o huertero	<i>Musa sp</i>		
31 D	Plátano cachaco	<i>Musa sp</i>		
31 E	Plátano blanco	<i>Musa sp</i>		
32	Pomoroso	<i>Syzygium jambos</i>	MYRTACEAE	21
33	Guayaba	<i>Psidium guajava</i>		
34	Arrayán	<i>Myrtus popayanensis</i>		
35	Uva de árbol	<i>Myrciaria spp</i>		
36	Michinche	<i>Campomanesia lineatifolia</i>		
37	Badea	<i>Passiflora quadrangularis</i>	PASIFLORACEAE	22
38 A	Granadilla tripona	<i>Passiflora ligularis</i> L		
38 B	Granadilla de quijo	<i>Passiflora vitifolia</i>		
39	Maracuyá	<i>Passiflora edulis</i>	PUNICACEAE	23
40	Granada	<i>Punica granatum</i> L		
41	Fresa	<i>Fragaria vesca</i>	ROSACEAE	24
42	Manzana criolla	<i>Prunus malus</i>		
43 A	Mora común o silvestre	<i>Rubus urticifolius</i>		
43 B	Fresa silvestre- frambuesa			
43 C	Mora de castilla	<i>Robus glaucus</i>		
44	Níspero	<i>Eriobotrya japonica</i>		
45	Limón común Castilla	<i>Citrus limon</i> L	RUTACEAE	25
46	Naranja común	<i>Citrus sinensis</i> L		
47	Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>		
48	Zapote	<i>Matisia cordata</i>	BOMBACACEAE	26
49 A	Caimo amarillo	<i>Chrysothryllum caimito</i> L		
49 B	Caimo rojo	<i>Chrysothryllum caimito</i>		
50 A	Ají común	<i>Capsicum annum</i>	SOLANACEAE	27
50 B	Ají pique	<i>Capsicum pubescens</i>		
51	Tomate de árbol	<i>Cyphomandra betaceae</i>		
52	Uchuva	<i>Physalis peruviana</i>		
53	Pepino dulce	<i>Solanum muricatum</i> Aiton		

* En la numeración de especies las letras que acompañan a los números representan las variedades que posee cada una de ellas. Fuente: [8, 9 y 10].

Cuadro 2. Plantas medicinales tradicionales.

N°	Nombre común	Nombre científico	Familia	N° de familia
1	Ajenjo	<i>Artemisia absinthium</i> L	Malvaceae	1
2	Altamisa	<i>Ambrosia artemisiaefolia</i>		
3	Caléndula	<i>Calendula officinalis</i>		
4	Diente de león	<i>Taraxacum officinalis</i>		
5	Malva	<i>Malva parviflora</i> L		
6	Manzanilla	<i>Matricaria chamomilla</i>		
7	Apio	<i>Apium graveolens</i> L	Apiaceae	2
8	Perejil	<i>Petroselinum sativum</i>		
9	Cilantro cimarrón	<i>Eryngium foetidum</i> L	Boraginaceae	3
10	Borraja	<i>Borago officinalis</i> L		
11	Confrey	<i>Symphytum officinalis</i>		
12	Marihuana	<i>Cannabis sativa</i>	Cannabaceae	4
13	Saúco	<i>Sambucus nigra</i> L	Caprifoliaceae	5
14	Paico	<i>Chenopodium ambrosioides</i> L	Chenopodiaceae	6
15	Coca	<i>Erythroxylum coca</i> Lamarck	Eritroxilaceae	7
16	Orozu	<i>Espilantes sp</i>	Fabaceae	8
17	Citronela	<i>Cimbopogon nardus</i>	Poaceae	9
18	Limoncillo	<i>Cimbopogon citratus</i> Stopf		
19	Albaca	<i>Ocimum basilium</i>	Labiataeae	10
20	Hierbabuena	<i>Menta sativa</i> L		
21	Mejorana	<i>Origanum majorana</i>		
22	Romero	<i>Rosmarinus Officinalis</i> L		
23	Salvia de castilla o común	<i>Salvia officinalis</i>		
24	Toronjil	<i>Melissa officinalis</i> L		
25	Orégano	<i>Origanum vulgare</i>		
26	Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i> L		
27	Poleo	<i>Limpia turbinagris</i>		
28	Sábila	<i>Aloe vera</i>	Liliaceae	11
29	Verdolaga	<i>Portulaca oleraceae</i>	Portulacaceae	12
30	Hierbamora	<i>Solanum nigrum</i> L		
31	Hinojo	<i>Foeniculum vulgare</i> Miller	Umbeliferaceae	13
32	Ortiga	<i>Urtica urens</i>	Urticaceae	14
33	Anamú	<i>Petiveria alliacea</i>	Phytolaccaceae	15
34	Llantén	<i>Plantago major</i>	Plantaginaceae	16
35	Naranja agria	<i>Citrus aurantium</i>	Rutaceae	17
36	Ruda	<i>Ruta graveolens</i> L		
37	Cedrón	<i>Limpia citriodora</i>	Verbenaceae	18
38	Pronto alivio	<i>Lippia alba</i>		
39	Verbena	<i>Limpia eryphylla</i>		
40	Violeta	<i>Viola odorata</i>	Violaceae	19
41	Valeriana	<i>Valeriana officinalis</i>	Valerianaceae	20

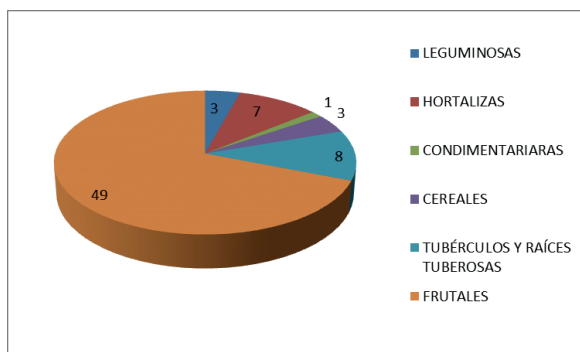
Fuente: [11, 12 y 13].

alimenticias, 37 frutales, 19 de las cuales correspondientes a variedades comerciales; 2 especies de tubérculos de las cuales 3 son variedades; 2 especies de raíces tuberosas; 6 especies de granos, de las cuales 3 son variedades y 6 especies entre hortalizas y gramíneas, de las cuales 2 son variedades (Figura 1).

Dentro de las especies registradas en la región se encuentran plantas que poseen reconocido valor nutricional y de adaptación a las condiciones medioambientales, de las cuales se han clasificado como especies subutilizadas (Chirimoya, Michinche, Cidra papa, Alchucha, Arracacha, Chachafruto, Frijol cachea y Guandul, entre otros) y a la vez se han definido como "cultivos no comerciales, que son parte de un portafolio de agrobiodiversidad anteriormente más popular y que hoy día no son apreciados por los productores y consumidores debido a factores agronómicos, genéticos, económicos, sociales y culturales" [10].

Estas especies se caracterizan por que son parte de la cultura local, tienen ventajas comparativas sobre los cultivos comerciales, soportan condiciones adversas de producción y pueden cultivarse con bajos insumos y técnicas biológicas sostenibles, son cultivadas y utilizadas con base al conocimiento local. Muchas especies subutilizadas por los agricultores fueron años atrás parte importante de la dieta de la comunidad, y hoy, desafortunadamente el abandono de estos cultivos ha causado la pérdida del saber tradicional, lo que significa que sus usos en la zona han sido olvidados. En el cuadro 3 se relacionan las especies subutilizadas presentes en la zona, dentro de los cuales se destacan: frutales neotropicales con muy bajas poblaciones en la región, algunos tubérculos andinos tradicionales, leguminosas y hortalizas entre otras. Se consideran con grado de población baja porque los individuos por especie son menores a 10, media entre 10 y 20.

Figura 1. Porcentaje de vegetales identificados.



Cuadro 3. Plantas en peligro de extinción que son subutilizadas.

Nombre común	Nombre científico	Grado población
Frutales neotropicales		
Manzana "criolla"	<i>Prunus malus</i>	Baja
Madroño	<i>Garcinia madrunno H.B.K.</i>	Baja
Caimo amarillo	<i>Chrysophyllum caimito L</i>	Baja
Caimo rojo	<i>Chrysophyllum caimito sp2</i>	Baja
Arrayán	<i>Myrtus popayanensis</i>	Baja
Uva de árbol	<i>Myrciaria spp</i>	Baja
Anón	<i>Annona squamosa</i>	Baja
Higuillo	<i>Vasconcellea goudotina</i>	Baja
Guayaba	<i>Psidium guajava</i>	Media
Guama churimba	<i>Inga edulis</i>	Baja
Guama común	<i>Inga densiflora</i>	Media
Guama de cajita	<i>Inga sp</i>	Baja
Brevo	<i>Ficus carica</i>	Baja
Chirimoya	<i>Annona cherimola</i>	Baja
Granada	<i>Punica granatum</i>	Baja
Níspero	<i>Eriobotrya japonica</i>	Baja
Badea	<i>Pasiflora quadrangularis</i>	Baja
Michinche	<i>Campomanesia lineatifolia</i>	Baja
Pomorroso	<i>Syzygium jambos</i>	Baja
Tubérculos andinos tradicionales, leguminosas, hortalizas y otros		
Ají pique	<i>Capsicum pubescens</i>	Media
Achira	<i>Canna edulis</i>	Baja
Achiote	<i>Bixa orellana</i>	Baja
Arracacha	<i>Arracacia xanthorhiza</i>	Baja
Batata	<i>Ipomea batata</i>	Baja
Cidra papa	<i>Sechium edule</i>	Baja
Chachafruto	<i>Erythrina edulis</i>	Baja
Frijol cachea	<i>Phaseolus polyanthus</i>	Baja
Guandul	<i>Cajanus cajan</i>	Baja
Pepino dulce	<i>Solanum muricatum</i>	Baja
Zapallo	<i>Cucurbita moschata</i>	Baja
Alchucha	<i>Cyclantera pedata</i>	Baja

Fuente: [14 y 15]

Se registró la información de 94 especies vegetales, 53 de uso alimenticio y 41 especies de uso medicinal. Los datos presentes en este medio están organizados por categorías de uso (datos de identificación del sitio y medio ambiente, de caracterización y el conocimiento tradicional) que facilitan el registro, almacenamiento, actualización y procesamiento de la información.

Se tuvo la participación de 106 personas en los talleres donde se realizaron conferencias y se llevó a cabo la preparación de recetas con recursos genéticos de la zona cidra papa, chachafruto, maracuyá y zapallo, entre otros. Los productores manifestaron la problemática de bajas en la producción en determinadas épocas (meses de enero, septiembre, octubre y parte de noviembre).

Se capacitó a las amas de casa sobre las diferentes formas de preparación y presentación de los alimentos, lo cual cambia el sabor y estimula el consumo especialmente en los niños. Además, se enfatizó en el mejoramiento de la dieta de las familias, la mayor parte de productos poseen alto valor nutritivo por su contenido de proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales y son una alternativa para reemplazar productos que se compran a un alto costo en el mercado.

CONCLUSIONES

En general se encuentra que las fincas donde se tiene alta agrobiodiversidad todavía, mantienen aunque en baja población muchas especies que son de importancia medicinal y alimenticia.

Se registraron 160 fincas, de las cuales se identificaron 25 con alta agrobiodiversidad vegetal y donde habitaba al menos un adulto mayor que resultó ser la principal fuente de conocimiento tradicional.

Se reconocieron en los municipios de Timbío y El Tambo 73 especies de plantas de uso alimenticio pertenecientes a 27 familias botánicas, 53 especies y 31 variedades, representadas por frutales, tubérculos, leguminosas y cereales, entre otros. La mayor parte de estas plantas se encuentran en bajas poblaciones y el consumo de sus productos ha disminuido, lo cual ha ocasionado la fragmentación de todo un proceso de conocimiento asociado a su uso y manejo.

Se identificaron 41 especies de uso medicinal, pertenecientes a 27 familias botánicas; caracterizadas por encontrarse en espacios altamente agrobiodiversos como patios y huertos caseros, lugares que

poseen gran variabilidad genética, pero por tener un área de distribución tan reducida son vulnerables y propensas a desaparecer.

En la zona se encontraron 114 especies de uso alimenticio y medicinal, lo cual muestra la diversidad genética y la complejidad de las interrelaciones socio-culturales y económicas asociadas a los sistemas de producción de la zona.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las comunidades de Timbío y El Tambo, a la Organización Internacional para las migraciones y a la Universidad del Cauca por el apoyo en la realización de la investigación.

REFERENCIAS

- [1] ANDRADE, M.G. Estado del conocimiento de la biodiversidad en Colombia y sus amenazas: Consideraciones para fortalecer la interacción ambiente-política. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 35(137), 2011, p. 491-507.
- [2] RUDAS, M.D., ARMENTERAS, D., RODRÍGUEZ, N., MORALES, M., DELGADO, L.C. y SARMIENTO, A. Biodiversidad y actividad humana: relaciones en ecosistemas de bosque subandino en Colombia. Bogotá (Colombia): Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2007, 128 p.
- [3] ADMINISTRACIÓN MUNICIPAL DE EL TAMBO. Formulación del plan de ordenamiento territorial. El Tambo (Colombia): 2000, 290 p.
- [4] ANAYA, F.O. Municipio de Timbío: compilación de datos generales [online]. 2008. Disponible URL: http://www.timbio-cauca.gov.co/apc-aa-files/62636335356437333763363736636366/MUNICIPIO_DE_TIMBIO_CAUCA_compilacion_datos_generales.pdf. [citado 12 octubre 2012].
- [5] ADMINISTRACIÓN MUNICIPAL DE TIMBÍO. Plan básico de ordenamiento territorial. Timbío (Cauca): 2000, 341 p.

- [6] ALBERICH, N.T. Acción Participativa y Mapas Sociales. Seminario de Estudios para la Intervención Social y Educativa (SEPISE) y del Observatorio Internacional de Ciudadanía y Medio Ambiente Sostenible (CIMAS), Universidad de Jaen [online]. 2007. Disponible URL: [http:// file:///G:/UNIVERSIDAD%202015/PUBLICACIONES/BIODIVERSIDAD/invest%20particip.pdf](http://file:///G:/UNIVERSIDAD%202015/PUBLICACIONES/BIODIVERSIDAD/invest%20particip.pdf). [citado 18 septiembre 2012].
- [7] BAENA, M., JARAMILLO, S. y MONTOYA, J.E. Conservación *in situ* de la diversidad vegetal en áreas protegidas y en fincas. Cali (Colombia): Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), 2003, 95 p.
- [8] GAMARRA, G. Las frutas nativas: de testimonios del hambre a exquisitez en la mesa. *Leisa Revista de agroecología*, 20(1), 2004, p. 10-12.
- [9] OSORIO, D. y ROLDA, J.C. Enciclopedia volvamos al campo: manual de Cítricos. Bogotá (Colombia): Grupo Latino, 2004, p. 6-43.
- [10] VICENTE, C. ¿A qué denominamos especies subutilizadas?. *Leisa Revista de agroecología*, 20(1), 2004, p. 6-8.
- [11] SORIANO, J.J., GUZMÁN, G.I., CASADO, S.F., GARCÍA, J., FIGUEROA, M. y LORA, L. Recuperación de variedades locales de hortalizas para su cultivo ecológico [online]. 2003. Disponible en Internet: http://www.esporus.org/recursos/resultats_sobre/caracteriteacio/documents/caract_part_cip_de_var_loc_sevilla.pdf. [citado en 5 octubre de 2004].
- [12] SANABRIA, O.L. Manejo vegetal en agroecosistemas locales de tierradentro, Cauca, Colombia. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca, 2001, 112 p.
- [13] SANABRIA, O.L. y BALCAZÁR, F. Plantas comestibles de Tierradentro Cauca. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca, 2000, p. 7-23.
- [14] LEMOS, M. Propuesta para el fortalecimiento de la seguridad alimentaria en la vereda San Joaquín, municipio de El Tambo (Cauca) como alternativa de prevención al desplazamiento forzado. Popayán [Tesis Agrozootecnista]. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2005, 164 p.
- [15] JARAMILLO, J.F. 101 hierbas medicinales: sección de obras de ciencia y tecnología. Bogotá (Colombia): Martínez Roca, 2005, p. 5-54.
- [16] MONTES, C., PAZ, J.P., CORONEL, S.E., PAZ, M. y MEDINA, N. Biodiversidad para la soberanía alimentaria: Una experiencia de investigación acción participativa con la red de educación rural de los municipios de Timbio y El Tambo, Cauca. Popayán (Colombia): Editorial Universidad del Cauca, Tomo I, 2007, 107 p.
- [17] MONTES, C., PAZ, J.P., CORONEL, S.E., PAZ, M. y MEDINA, N. Biodiversidad para la soberanía alimentaria: Una experiencia de investigación acción participativa con la red de educación rural de los municipios de Timbio y El Tambo, Cauca. Popayán (Colombia): Editorial Universidad del Cauca, Tomo II, 2007, 113 p.
- [18] INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLDT. Sistemas de producción y biodiversidad [online]. 2003. Disponible en URL: <http://araneus.humboldt.org/instituto/contacte.htm>. [citado 5 de noviembre 2012].

EFFECTO DEL PROCESAMIENTO TÉRMICO SOBRE EL COLOR SUPERFICIAL DEL PIMENTÓN ROJO (*Capsicum annuum*) VARIEDAD “NATALY”

EFFECT OF THERMAL PROCESSING ON RED PAPRIKA COLOR SURFACE (*Capsicum annuum*) VARIETY “NATALY”

EFEITO DO PROCESSAMENTO TÉRMICO NA SUPERFÍCIE DE COR VERMELHO PÁPRICA (*Capsicum annuum*) VARIETY “NATALY”

JADER MARTÍNEZ- GIRÓN¹, LUIS EDUARDO ORDÓÑEZ- SANTOS²

RESUMEN

*El color es uno de los parámetros más importantes a la hora de medir la calidad de productos que van a ser procesados a partir del pimentón rojo (*Capsicum annuum*), para la fabricación de condimentos, colorantes, conservas y aderezos. En este estudio, se evaluó el efecto del procesamiento térmico (freído y conserva) con respecto al cambio de color y los carotenoides en frutos de pimentón rojo. Para el freído se utilizó aceite de soya a una temperatura de 175°C por 5 min; en la elaboración de la conserva, se realizó un proceso de escaldado y pasteurización a 100°C durante 15 min. Después de los tratamientos térmicos (freído y conserva) la concentración de carotenoides totales y el color superficial en los frutos de pimentón rojo se afectaron significativamente. El proceso de freído obtiene los valores medios más altos de unidades ASTA (72,214), Carotenoides Totales (95,464), L* (38,26) y a* (34,13). La conserva registró los atributos más altos de color b* (21,81), h° (30,42), IP (145,40) y ΔE* (4,56-31,84). Estos resultados evidencian*

Recibido para evaluación: 17 de Abril de 2015. **Aprobado para publicación:** 20 de Octubre de 2015.

- 1 Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Programa de Tecnología en Alimentos. Profesor de Química de Alimentos. Investigador. MSc. Químico y Tecnólogo en Alimentos. Palmira, Colombia.
- 2 Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Profesor Asociado, Líder del Grupo de Investigación en Procesos Agroindustriales (GIPA). Ingeniero Agroindustrial, Ph.D en Ciencia y Tecnología en Alimentos. Palmira, Colombia.

Correspondencia: jader.martinez@correounivalle.edu.co

que el freído es una operación que mejora el atributo de color, al aumentar la disponibilidad de carotenoides e incrementar el color superficial a.*

ABSTRACT

*Color is one of the most important parameters when measuring the quality of products to be processed from red pepper (*Capsicum annuum*), for the manufacture of seasonings, colorants, preserves and dressings. In this study, the effect of thermal processing (fried and canned) was evaluated with respect to color change and carotenoids in fruits of red pepper. For frying soybean oil was used at a temperature of 175°C for 5 min; in the development of conservation as a process of blanching and pasteurization was carried out at 100°C for 15 min. After heat treatment (frying and preserves) the concentration of total carotenoids and surface color of red pepper fruits significantly affected. The frying process obtains the highest average values of ASTA (72,214) Total Carotenoids (95,464), L* (38,26) and (34,13). The registry retains the highest color attributes b* (21,81), h° (30,42), IP (145,40) and ΔE^* (4,56 to 31,84). These results show that frying is an operation that improves the color attribute, by increasing the availability of carotenoids and increase the surface color a*.*

RESUMO

*A cor é um dos parâmetros mais importantes quando se mede a qualidade dos produtos a serem processados a partir de pimento vermelho (*Capsicum annuum*), para a produção de condimentos, corantes, conservas e curativos. Neste estudo, o efeito do tratamento térmico (frito e enlatado) foi avaliada no que diz respeito à mudança de cor e os carotenóides de frutos de pimenta vermelha. Para fritar óleo de soja foi usada a uma temperatura de 175°C durante 5 min; no desenvolvimento de conservação como um processo de branqueamento e de pasteurização foi efectuada a 100°C durante 15 min. Após o tratamento térmico (Fritando e conservas) a concentração de carotenóides totais e cor da superfície dos frutos de pimenta vermelha significativamente afectada. O processo de fritura obtém os maiores valores médios de ASTA (72,214) de carotenóides totais (95,464), L* (38,26), a* (34,13). A Secretaria mantém os mais altos atributos de cor b* (21,81), h° (30,42), IP (145,40), ΔE^* (4,56-31,84). Estes resultados mostram que a fritura é uma operação que melhora o atributo de cor, através do aumento da disponibilidade de carotenóides e aumentar a* cor da superfície.*

INTRODUCCIÓN

El pimentón (*Capsicum annuum*) es una solanácea que engloba diferentes colores y tamaños de acuerdo a la variedad y las condiciones de cultivo. Su fruto es una baya que se caracteriza por su agradable sabor y coloraciones que pueden ir desde el amarillo, el verde y el rojo de acuerdo al estado de madurez y el grado de pungencia (contenido de capsaicina) [1].

PALABRAS CLAVES:

CIEL*a*b*, Pigmento, ASTA, pH, Matéria seca.

KEYWORDS:

CIEL*a*b*, Pigment, ASTA, pH, Dry matter.

PALAVRAS-CHAVE:

CIEL*a*b*, Pigmento, ASTA, pH, Matéria seca.

Generalmente el pimentón (*Capsicum annuum*), habitualmente se consume mínimamente procesado en trozos escaldados o freídos para la preparación de ensaladas; en conserva o congelado para platos rápidos como (pizza y tortillas). También se utiliza para producir diversos productos procesados tales como: condimentos en polvo (paprika), salsas, aderezos, extracción de oleorresinas, entre otros [2]. A nivel industrial, la coloración roja del pimentón y el contenido de oleorresina son criterios de calidad fundamentales que determinan y expresan el contenido total de carotenoides presentes en el fruto. El valor comercial del pimentón depende básicamente de estos dos factores, por lo que la cuantificación del contenido de pigmentos carotenoides es de gran interés [3, 4]. Los principales compuestos responsables del color en este material vegetal, obedecen a compuestos carotenoides entre los que se destacan la capsantina, neoxantina, violaxantina, zeaxantina, luteína, β -criptoxantina y el β -caroteno [5]. La gran mayoría de estos pigmentos se usan en la elaboración de alimentos, nutracéuticos y farmacéuticos, debido a sus aplicaciones potenciales como colorantes y dependiendo de su estructura molecular se convierten en fuente promisorias de provitamina A. También se caracterizan por presentar actividad antioxidante y conservante al eliminar los radicales de oxígeno y reducir el estrés oxidativo [6].

El color del pimentón se puede determinar por diversos métodos, como el Standard MSD-10, el método ASTA 20-1 y el método Standard EOA. A nivel internacional, el método más aceptado para determinar la calidad de pimentón y oleorresina es el método ASTA 20-1 propuesto por la American Spice Trade Association que establece los grados ASTA con base al color extractable del pimentón (*Capsicum annuum*) [7]. También ha sido muy empleada la técnica de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC); en la evaluación de pigmentos carotenoides en materiales vegetales donde se incluye el pimentón (*Capsicum annuum*) [8].

Por otra parte, el procesamiento para la obtención de productos derivados del pimentón, demanda realizar operaciones que involucren tratamientos térmicos que inactiven los complejos enzimáticos con el fin de asegurar la calidad durante la vida útil de los productos procesados. Sin embargo, dependiendo de las condiciones de temperatura y tiempo de procesamiento, los tratamientos de calor pueden desencadenar procesos de degradación térmica sobre los pigmentos carotenoides responsables del color [9]. En este orden de ideas, al realizar una revisión de la literatura científica,

se encuentra que la mayoría de investigaciones se han centrado en conocer los compuestos bioactivos y la actividad pungente que sufre el pimentón en condiciones de secado natural y convectivo para obtener condimento en polvo (paprika) [10-15]. Sin embargo, aún siguen siendo escasos los estudios que evalúen el impacto de los métodos de cocción tradicionales (ej: freído y conserva); en materiales de pimentón de la región andina sobre tan importantes atributos como lo son el color superficial y la retención de carotenoides. Dado lo anterior en este estudio, se evaluaron los cambios de color superficial y el contenido de carotenoides totales que presenta el pimentón (rojo) variedad "Nataly" después de ser sometidos a los tratamientos térmicos anteriormente descritos.

MÉTODO

Materiales

Material vegetal. Se partió de 10 Kg de frutos de pimentón variedad "Nataly", los cuales fueron adquiridos en el comercio local en un solo estado de maduración (rojo), y se dividieron en cinco lotes iguales para ser procesados en el laboratorio de Tecnología de Frutas y Hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia. Cada uno de los lotes se desinfectó con agua clorada a 150 ppm, se retiraron las semillas, el pedúnculo de los frutos y fueron cortados en trozos de 8 cm de largo y 4 mm de espesor. Para el producto en conserva se realizó un proceso de escaldado a una temperatura de 90°C durante 2 minutos, bajo la prueba de inactivación de peroxidasa en etanol-guayacol al 1%. Posteriormente, los trozos se envasaron en frascos de vidrio estériles de 125 mL utilizando como líquido de gobierno una solución salina al 2% potenciada con una mezcla de ácido cítrico al 30% y se pasteurizaron en baño maría a ebullición a 100°C durante 15 min. En el tratamiento de freído superficial se utilizó aceite de soya vegetal con una temperatura de 175°C por 5 minutos en contante agitación de los trozos hasta alcanzar la textura y el color característico del pimentón freído. El tratamiento fresco (control) fue evaluado recién fue troceado el material como producto mínimamente procesado.

Métodos

Determinación del color ASTA. Para la determinación del color extractable (ASTA) en las muestras se pesó 1 g del material vegetal y se aforó en 50 mL de acetona al 100%. Se agitó durante 15 minutos y se dejó

en reposo durante 4 horas en la oscuridad. Posteriormente se tomó una alícuota de la solución y se llevó a una celda fotométrica de vidrio marca Fisher Scientific (USA) y se tomaron medidas de absorbancia a 460 nm, usando acetona como blanco. Las mediciones espectrofotométricas se realizaron en un equipo Thermo Spectronic Genesys 20 (USA), de acuerdo a las especificaciones del método ASTA 20.1 inciso C de American Spice Trade Association (ASTA) [16].

El cálculo del color en unidades ASTA se determinó mediante la ecuación (1).

$$Color\ ASTA = \frac{A_{460} \times 16,4 \times If}{W} \quad (Ec.1)$$

Dónde A_{460} es la absorbancia del extracto de acetona a una longitud de onda de 460 nm, If es el factor de corrección instrumental, W es el peso de la muestra en gramos.

Determinación de carotenoides totales. La cuantificación de carotenoides totales ($C.T$) se realizó por espectrofotometría, utilizando las ecuaciones (2) y (3) reportadas por Fekete y Kosma [17] y Rodríguez-Amaya [18].

$$C.T = \frac{X (\mu g)}{Peso\ de\ muestra\ (g)} \quad (Ec.2)$$

$$X (\mu g) = \frac{A \times y(mL) \times 10^6}{A_{1cm}^{1\%} \times 100} \quad (Ec.3)$$

Dónde $X (\mu g)$ es la cantidad de carotenoides presentes, y es el volumen en mL de la solución, A es la absorbancia a una longitud de onda de 450 nm, $A_{1cm}^{1\%}$ es el coeficiente de absorción del carotenoide teniendo en cuenta el solvente usado y el peso molecular.

Determinación del color $CIEL^*a^*b^*$. El color de las muestras de pulpa y piel en pimentón fresco, freído y conserva se midió mediante el uso de un Colorímetro CR-400 (Konica Minolta, Tokio Japón) en coordenadas $CIEL^*a^*b^*$ (L^* , a^* y b^*); usando un iluminante D_{65} y un observador de 2° , con parámetros de calibración de $Y=89,5$; $x=0,3176$; $y=0,3347$. Los valores de cromaticidad (C^*), tono (h°), índice de color (IC^*), índice de pardeamiento (IP) y cambio de color (ΔE^*), se calcularon mediante las ecuaciones (4) a (9):

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

$$h^\circ = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (Ec.5)$$

$$IC^* = \frac{a^* \times 1000}{L^* \times b^*} \quad (Ec.6)$$

$$IP = \frac{[100(x - 0,31)]}{0,172} \quad (Ec.7)$$

Donde:

$$x = \frac{(a^* + 1,75)}{(5,646L^* + a^* - 3,012b^*)} \quad (Ec.8)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} + \Delta l^{*2})} \quad (Ec.9)$$

Determinaciones fisicoquímicas. Las determinaciones fisicoquímicas tales como: pH, acidez titulable, sólidos solubles, porcentaje de materia seca y cenizas, se cuantificaron mediante los protocolos descritos en el método AOAC para frutas y hortalizas [19].

Análisis estadístico. Los resultados fueron expresados como promedio \pm desviación estándar. Bajo un diseño unifactorial aleatorizado con cinco repeticiones por cada tratamiento de pimentón (fresco, freído y en conserva). Se realizó un análisis de ANOVA y prueba de Tukey, con un nivel de significancia del 95% ($P < 0,05$). El tratamiento de datos fue evaluado bajo el paquete estadístico SAS.

RESULTADOS

Efecto del procesamiento térmico sobre las propiedades fisicoquímicas, color ASTA y carotenoides totales

En el cuadro 1 se relacionan las propiedades evaluadas en cada una de las muestras de pimentón (*Capsicum annum*) procesado. El análisis de ANOVA indica que existe un efecto significativo del procesamiento térmico ($p < 0,05$) en todas las variables de interés.

Los valores de pH, acidez titulable y sólidos solubles descendieron significativamente con el procesamiento del pimentón, por el contrario el contenido de materia seca aumentó significativamente en los trozos de pimentón en conserva, y en el sometido a proceso de freído.

En relación con el grado de color en unidades ASTA y la concentración de carotenoides totales es estadísticamente mayor en el tratamiento de freído con respecto al material en fresco y en conserva. El contenido de cenizas (minerales inorgánicos) disminuyó en el procesamiento de conserva en comparación con el obtenido en fresco y freído (cuadro 1).

La reducción del pH y la acidez en las muestras evaluadas concuerdan con lo reportado por Montoya-Ballesteros *et al.*, 2010 [20] quienes elaboraron salsas y encurtidos a partir de pimentón sometidos a procesos de escaldado y pasteurizado. Los sólidos solubles como era de esperarse disminuyeron por efecto del calor y la aplicación de sales en la conserva.

Por otra parte, desde el punto de vista del color, el poder industrial del pimentón se puede medir de acuerdo a su color en grados ASTA. Siendo el pimentón Extra cuando posee como mínimo 120° ASTA, pimentón Seleccionado cuando posee mínimo 90° ASTA, y pimentón Común cuando posee unidades iguales o inferiores a 70° ASTA. De acuerdo a los resultados obtenidos el pimentón evaluado posee un bajo color en unidades ASTA, clasificándolo como pimentón común. A su vez este valor en unidades ASTA está relacionado con la

variedad del fruto, las condiciones agroclimáticas y con el grado de madurez (rojo intenso).

Otros autores como Curl, (1962) [21] realizaron la caracterización de frutos de pimentón obteniendo valores de 57 a 201 unidades ASTA. Con respecto al contenido de carotenoides totales, Méndez y Gonzales, (2005) [22] reportaron valores de carotenoides totales en diferentes cultivares de frutos de pimentón obteniendo valores promedios de 40;2 $\mu\text{g/g}$, el cual es un valor menor con respecto a los resultados obtenidos. Por otra parte Collera *et al.* (2005) [23] reportaron valores de carotenoides totales entre 67,6 y 75,2 $\mu\text{g/g}$, en tres cultivares diferentes de frutos de pimentón, siendo estos resultados similares a los obtenidos en este estudio. Ergunes *et al.* (2006) [24] reportaron valores entre 51 y 178 unidades ASTA para pimentón fresco y valores entre 148 y 211 de frutos secos en vaina variedad Calchaqui. Topuz y Ozdemir, (2007) [25] estudiaron el contenido de carotenoides totales en cinco cultivares de frutos de pimentón, obteniendo valores de carotenoides totales rojos y amarillos entre 1.440-2.390 $\mu\text{g/g}$ los cuales superan a los resultados encontrados en este estudio. Por otro lado, Cheon *et al.* (2015) [7] estudiaron la variación del color del (*Capsicum annum L*), en tratamientos térmicos de 55 y 65°C, obteniendo valores en un rango de 80 a 83 unidades ASTA. Lo anterior permite discernir que el contenido de carotenoides totales en frutos de pimentón difiere en cuanto a la variedad, el estado de madurez, los grados ASTA, las características y condiciones climatológicas del cultivo, entre otras.

Cuadro 1. Efecto del tratamiento térmico sobre las propiedades fisicoquímicas, color ASTA y carotenoides totales en pimentón rojo procesado ¹.

Tratamiento	pH	% Materia Seca	Acidez Titulable ²	Sólidos Solubles	% Cenizas	ASTA	C.T ³
Fresco	5,033 ±0,111 ^a	11,172 ±0,626 ^c	0,255 ±0,022 ^a	5,29 ±0,145 ^a	0,965 ±0,029 ^a	59,088 ±1,128 ^b	65,934 ±5,797 ^b
Freído	4,795 ±0,048 ^b	19,012 ±0,561 ^b	0,192 ±0,004 ^b	4,954 ±0,137 ^b	0,949 ±0,029 ^a	72,214 ±2,368 ^a	95,464 ±10,134 ^a
Conserva	4,379 ±0,021 ^c	39,656 ±1,364 ^a	0,17 ±0,006 ^b	2,953 ±0,162 ^c	0,847 ±0,017 ^b	55,022 ±1,947 ^c	68,592 ±3,572 ^b

¹Valores promedio ±DS (n= 5)

²Expresados como g ácido cítrico/100 g de muestra.

³ C.T (Carotenoides Totales), expresados como μg de carotenoides/g de muestra.

Nivel de significancia estadística: letras diferentes en los superíndices de una misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a la comparación de medias de Tukey (P<0,05).

El aumento significativo de la concentración de carotenoides y unidades ASTA en las muestras procesadas en la operación de freído posiblemente se deben a la interacción del complejo lipoproteico en asociación conjugada con los pigmentos carotenoides del fruto de pimentón y al aumento de la materia seca durante este tratamiento. Dado lo anterior, se refleja una mayor disponibilidad de carotenoides en los trozos de pimentón sometidos a los tratamientos térmicos comparados con los trozos de pimentón en fresco, posiblemente este efecto se debe a la desnaturalización parcial de las proteínas, que permitieron la liberación de los pigmentos responsables del color en los frutos de pimentón.

Desde el punto de vista metabólico, esta expresión en el contenido de carotenoides totales favorece la condición molecular de la provitamina A, la cual biológicamente permite la transformación de la molécula retinol en nuestro cuerpo. La provitamina A más importante es el β -caroteno; donde su estructura es el doble de la molécula de vitamina A. Molecularmente en el metabolismo, de la actividad provitamina A, la molécula de β -caroteno se divide en dos moléculas de retinol, gracias a la acción enzimática dioxigenasa ocurrida en el intestino [26-30].

En las figuras 1 y 2, se ilustra la retención de carotenoides y color en unidades ASTA de cada tratamiento térmico, el pimentón freído presento significativamente mayor concentración de carotenoides y unidades ASTA con respecto al material en fresco y en conserva.

Efecto del procesamiento térmico sobre las propiedades colorimétricas $CIEL^*a^*b^*$

En el cuadro 2 se relacionan las propiedades colorimétricas evaluadas en cada una de las muestras de pimentón (*Capsicum annuum*) procesado. El análisis de ANOVA indica que existe un efecto significativo del procesamiento térmico ($p < 0,05$) sobre el cambio de color en piel y pulpa.

El análisis estadístico evidencia que los tratamientos térmicos afectaron significativamente el color superficial de las muestras. El proceso de freído aumentó significativamente en la piel y pulpa los valores de L^* y a^* , mientras que el valor de saturación C^* solo aumento en la pulpa del pimentón. Los valores de b^* , h° , IP , y ΔE^* tanto en la piel como la pulpa se incre-

Figura 1. Efecto del tratamiento térmico sobre los carotenoides totales ($\mu\text{g/g}$).

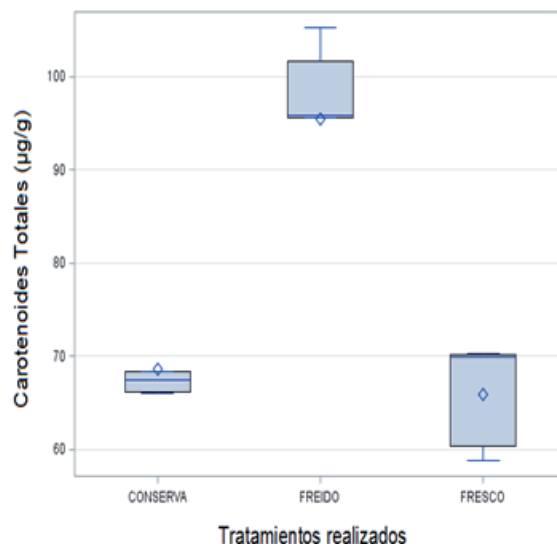
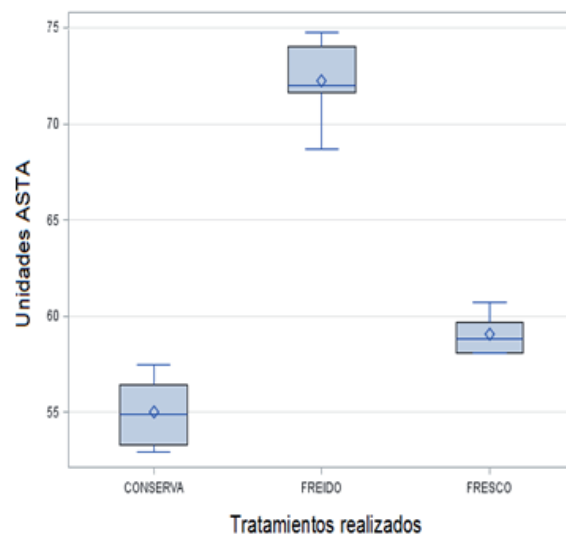


Figura 2. Efecto del tratamiento térmico sobre el grado de color (unidades ASTA).



mentaron significativamente en la elaboración de la conserva. Por el contrario, el IC^* se reduce después de los tratamientos térmicos en las muestras evaluadas (cuadro 2).

En relación con lo anterior, el efecto del tratamiento térmico sobre los pigmentos carotenoides y el color ha sido un tema de gran interés para los procesado-

Cuadro 2. Indicadores de color evaluados en pimentón rojo procesado ¹.

Tratamiento	L*	a*	b*	C*	h°	IP	IC*	ΔE*
Fresco piel	33,49 ±1,76b	32,69 ±2,06b	9,98 ±0,65c	34,18 ±2,05c	17,01 ±1,19c	98,01 ±7,24c	98,49 ±11,56a	EC
Fresco pulpa	33,41 ±1,63b	27,70 ±0,77b	11,68 ±0,78c	30,07 ±0,68c	22,87 ±1,67c	97,79 ±6,46c	71,46 ±5,57a	EC
Freído piel	33,57 ±0,41a	32,13 ±0,60a	10,83 ±1,19b	33,92 ±0,64a	18,61 ±1,87b	100,58 ±5,95b	89,32 ±9,39b	1,02 ±5,98a
Freído pulpa	38,26 ±0,63a	34,43 ±0,78a	19,82 ±0,84b	39,73 ±0,79a	29,93 ±1,19b	130,44 ±4,07b	45,49 ±2,41b	11,62 ±1,76c
Conserva piel	30,78 ±0,68b	29,33 ±0,56b	11,64 ±1,05a	31,57 ±0,60b	21,62 ±1,73a	109,04 ±6,49a	82,52 ±7,91c	4,56 ±3,22b
Conserva pulpa	35,92 ±0,61b	30,37 ±1,33b	21,81 ±1,23a	37,40 ±1,61b	30,42 ±1,28a	145,40 ±9,84a	38,82 ±1,60c	31,84 ±1,14c

¹ Valores promedio ±DS (n= 5)

EC: Estándar de Comparación

*Coordenadas CIEL *a*b*

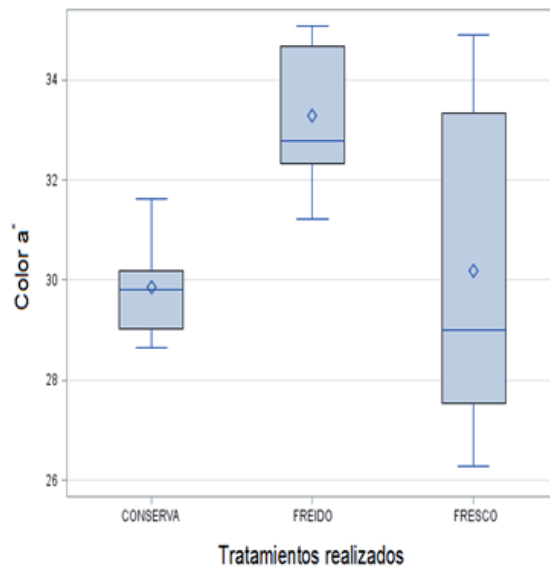
Nivel de significancia estadística: letras diferentes en los superíndices de una misma columna indican diferencias significativas de acuerdo a la comparación de medias de Tukey (P<0,05).

res de alimentos. Normalmente, el tratamiento térmico de cocción o freído reduce o aumenta el contenido de carotenoides y puede cambiar las propiedades bioactivas de diversos compuestos como lo son los pigmentos responsables del color. De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio el aceite residual que queda en el interior del pimentón permitió un aumento en el atributo de luminosidad L* y color a*. A su vez el incremento gradual y controlado de la temperatura permitió la polimerización, ciclación e isomerización de compuestos carotenoides. En este sentido Rodríguez-Amaya *et al.* (2008) [31] reportaron que el tratamiento térmico controlado permite un reordenamiento asociativo de carotenoides con ácidos grasos o proteínas de la fruta (lipoproteínas). A su vez permite la ciclación de algunos de los isómeros β-caroteno y el desprendimiento de grupos hidroxilo (OH) con conjugación de moléculas de agua en uno de los anillos cíclicos insaturados desactivados por las transferencias de calor desde el agua a la fruta por conducción.

En la figura 3, se representa el color a* en coordenadas CIEL *a*b*, observándose un mayor efecto en el atributo del color para el pimentón freído con respecto al control de comparación (fresco) y el tratamiento en conserva.

Con respecto a los valores de color superficial (L*, a*, y b*), se debe tener en cuenta que el parámetro L* proporciona un valor de la luminosidad o brillo de la muestra.

El parámetro a* indica la zona de variación entre el rojo y el verde del espectro. El parámetro b* se refiere a la zona de variación entre el amarillo y el azul del espec-

Figura 3. Efecto del tratamiento térmico sobre el color a* (coordenadas CIEL *a*b*).

tro. Los resultados obtenidos en coordenadas $CIEL^*$ $a^* b^*$ (L^* , $a^* y b^*$), junto a los resultados de saturación (C^*) y tono (h°) presentan similitud con los reportados por Topuz *et al.* (2009) [32] quienes adelantaron análisis de color en paprika para dos variedades de frutos de pimentón fresco y deshidratado. El aumento de a^* en el pimentón freído puede estar asociado al incremento de la concentración de los carotenoides en las muestras durante este tratamiento, y los valores obtenidos de b^* , h° , IP, y ΔE^* , probablemente se deben a las condiciones ácidas y el manejo de altas temperaturas, que aceleraron los procesos de isomerización de los carotenoides y pardeamiento de pimentón; reacciones que originaron incidencias en el color del material vegetal procesado.

CONCLUSIONES

En este estudio se puede concluir que el proceso de freído mejoró los atributos del color superficial en el pimentón rojo variedad "Nataly", procedente de cultivares del Valle del Cauca, al obtener los mayores valores de carotenoides totales, unidades ASTA, color superficial a^* , y una menor variación del tono (h°) y el cambio de color (ΔE^*). Por el contrario, la conserva afectó negativamente el color superficial inicial del pimentón fresco al aumentar los atributos de color b^* , h° , IP y ΔE^* durante el procesamiento térmico de este fruto.

AGRADECIMIENTOS

Al laboratorio de Investigación de Frutas y Hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira, por el financiamiento de reactivos y equipos.

REFERENCIAS

- [1] LOIZZO, M.R., PUGLIESE, A. BONESI, M., MENICHINI, F. and TUNDIS, R. Evaluation of chemical profile and antioxidant activity of twenty cultivars from *Capsicum annum*, *Capsicum baccatum*, *Capsicum chacoense* and *Capsicum chinense*: A comparison between fresh and processed peppers. *LWT Food Science and Technology*, 64(2), 2015, p. 623-631.
- [2] TUNDIS, R., LOIZZO, M.R., MENICHINI, F., BONESI, M., CONFORTI, F., DE LUCA, D. and MENICHINI, F. Air-dried *Capsicum annum* var. *acuminatum* medium and big: Determination of bioactive constituents, antioxidant activity and carbohydrate-hydrolyzing enzymes inhibition. *Food Research International*, 45, 2012, p. 170-176.
- [3] GIUFFRIDA, D., DUGO, P., TORRE, G., BIGNARDI, C., CAVAZZA, A., CORRADINI, C. and DUGO, G. Evaluation of carotenoid and capsaicinoid contents in powder of red chili peppers during one year of storage. *Food Research International*, 65, 2014, p.163-170.
- [4] DAOOD, H.G., PALOTÁS, G., PALOTÁS, G., SOMOGYI, G., PÉK, Z. and HELYES, L. Carotenoid and antioxidant content of ground paprika from indoor-cultivated traditional varieties and new hybrids of spice red peppers. *Food Research International*, 65, 2014, p. 231-237.
- [5] PUGLIESE, A., LOIZZO, M.R., TUNDIS, R., O'CALLAGHAN, Y., GALVIN, K., MENICHINI, F. and O'BRIEN, N. The effect of domestic processing on the content and bioaccessibility of carotenoids from chili peppers (*Capsicum* species). *Food Chemistry*, 141, 2013, p. 2606-2613.
- [6] CERVANTES-PAZ, B., YAHIA, E.M., ORNELAS-PAZ, J., CAMPOS, V., IBARRA-JUNQUERA, V., PÉREZ-MARTÍNEZ, J.D. and MINAKATA, P. Antioxidant activity and content of chlorophylls and carotenoids in raw and heat-processed Jalapeño peppers at intermediate stages of ripening. *Food Chemistry*, 146, 2014, p. 188-196.
- [7] CHEON, H.L., SHIN, J.Y., PARK, K.H., CHUNG, M.S. and KANG, D.H. Inactivation of foodborne pathogens in powdered red pepper (*Capsicum annum* L.) using combined UV- C irradiation and mild heat treatment. *Food Control*, 50, 2015, p. 441-445.
- [8] SARUNGALLO, Z.L., HARIYADI, P., ANDARWULAN, N., PURNOMO, E.H. and WADA, M. Analysis of α -cryptoxanthin, β -cryptoxanthin, α -carotene, and β -carotene of *Pandanus conoideus* oil by high-performance liquid chromatography (HPLC). *Procedia Food Science*, 3, 2015, p. 231-243.
- [9] QUIPO, M., RAMIREZ, M., ROJAS, P. y ORDOÑEZ, S. Cambios en la Vitamina C y el Color durante la Cocción del Pimentón Verde (*Capsicum Annum* L.). *Revista Tecno Lógicas*, 31, 2013, p. 141-150.
- [10] ORNELAS-PAZ, J.J., CHÁVEZ, L., GARDEA-BÉJAR, A.A., GUEVARA-ARAUZA, J.C., SEPÚLVEDA D., REYES-HERNÁNDEZ, J. And RUIZ-CRUZ, S. Effect of heat treatment on the content of some bioactive compounds and free radical-scavenging activity in pungent and non-pungent

- peppers. *Food Research International*, 50, 2013, p. 519–525.
- [11] YOON, M., JUNG, K., YOULL LEE, K., JEONG, J., LEE, J.W. and PARK, H.J. Synergistic effect of the combined treatment with gamma irradiation and sodium dichloroisocyanurate to control gray mold (*Botrytis cinerea*) on paprika. *Radiation Physics and Chemistry*, 98, 2014, p.103–108.
- [12] BARBERO, G.F., RUIZ, G., LIAZID, A., PALMA, M., VERA, C.J. and BARROSO, C.G. Evolution of total and individual capsaicinoids in peppers during ripening of the Cayenne pepper plant (*Capsicum annuum* L.). *Food Chemistry*, 153, 2014, p. 200–206.
- [13] AGUILAR-RAMOS., O.P., ORNELAS-PAZ, J.J., RUIZ-CRUZ, S., ZAMUDIO-FLORES, P.B., CERVANTES-PAZ, B., GARDEA-BÉJAR, A.A., PÉREZ-MARTÍNEZ, J.D., IBARRA-JUNQUERA, V. And REYES-HERNÁNDEZ, J. Effect of ripening and heat processing on the physicochemical and rheological properties of pepper pectins. *Carbohydrate Polymers*, 115, 2015, p. 112–121.
- [14] JUNG, K., SEOK, S., JUNG, K., GEUM, M., MIN, G., KYUNG, K., LEE, J. and PARK, H. Effect of X-ray, gamma ray, and electron beam irradiation on the hygienic and physicochemical qualities of red pepper powder. *LWT - Food Science and Technology*, 63, 2015, p. 846-851.
- [15] ELKHADRAOUI, A., KOOLI, S., HAMDY, I. and ABDELHAMID, F. Experimental investigation and economic evaluation of a new mixedmode solar greenhouse dryer for drying of red pepper and grape. *Renewable Energy*, 77, 2015, p.1-8.
- [16] ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC). Official methods of analysis 43.1.02. Color extractable in spices. 17th ed. Gaithersburg (USA): 971, 2002, p. 26.
- [17] FEKETE, M. and KOSMA, L. Spectrophotometric method for determining the pigment content of ground paprika. *Z. Lebensm Unters Forsch*, 161, 1976, p. 31-33.
- [18] RODRIGUEZ-AMAYA, D.B.,. A Guide to Carotenoid Analysis in Foods. Washington D.C (USA): Ilsi Press, 2001, p. 45.
- [19] ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC). Official Methods of Analysis of the Association off Official Analytical Chemists, 16th ed. Gaithersburg (USA): 1995.
- [20] MONTOYA-BALLESTEROS, L.C., GARDEA-BÉJAR, A., AYALA-CHÁVEZ, G.M., MARTÍNEZ-NÚÑEZ Y.Y. y ROBLES-OZUNA, L.E. Capsaicinoides y Color en chiltepin (*Capsicum annuum* var.). Efecto del proceso sobre salsas y encurtidos. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 9(2), 2010, p. 197-207.
- [21] CURL, A.L. The Carotenoids of Red Bell pepper. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 10, 1962, p. 504–509.
- [22] MÉNDEZ-TRUJILLO, V., GONZALES-MENDOZA, D. y GUTIERREZ-MICELI, F.A.. Contenido de carotenoides y color extractable de nuevos cultivares en chile pimiento. *Revista Chapingo*, 11, 2005, p. 215-218.
- [23] COLLERA-ZUÑIGA, O., GARCIA-JIMENEZ, F. and MELENDEZ-GORDILLO, R. Comparative study of carotenoid composition in three Mexican varieties of *Capsicum annuum* L. *Food Chemistry*, 90, 2005, p. 109–114.
- [24] ERGUNES, G. and TARHAN, S. Color retention of red peppers by chemical pretreatments during greenhouse and open sun drying. *Journal of Food Engineering*, 76, 2006, p. 446–452.
- [25] TOPUZ, A. and OZDEMIR, F. Assessment of carotenoids, capsaicinoids and ascorbic acid composition of some selected pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) grown in Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20, 2007, p. 596–602.
- [26] DELGADO-PELAYO, R., GALLARDO-GUERRERO, L. and HORNERO-MÉNDEZ, D. Chlorophyll and carotenoid pigments in the peel and flesh of commercial apple fruit varieties. *Food Research International*, 65, 2014, p. 272–281.
- [27] ÁLVAREZ, R., MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A.J., VICARIO, I.M. and ALCALDE, M.J. Effect of pasture and concentrate diets on concentrations of carotenoids, vitamin A and vitamin E in plasma and adipose tissue of lambs. *Journal of Food Composition and Analysis*, 36, 2014, p. 59–65.
- [28] ÁLVAREZ, R., MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A.J., VICARIO, I.M. and ALCALDE, M. Effect of different carotenoid-containing diets on the vitamin A levels and colour parameters in Iberian pigs' tissues: utility as biomarkers of traceability. *Meat Science*, 98, 2014, p.187–192.
- [29] FUH-JUIN, K., YU-SHAN, C. and WEN-DEE, C. Effect of water cooking on antioxidant capacity of carotenoid-rich vegetables in Taiwan. *Journal of Food and Drug Analysis*, 22, 2014, p. 202-209.
- [30] EKESA, B., NABUUMA, D., BLOMME, G. and VAN DEN BERGH, I. Provitamin A carotenoid content of unripe and ripe banana cultivars for potential adoption in eastern Africa. *Journal of Food Composition and Analysis*, 43, 2015, p.1–6.

- [31] RODRIGUEZ-AMAYA, D.B., KIMURA, M., GODOY, H.T. and AMAYA-FARFAN, J. Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21, 2008, p. 445–463.
- [32] TOPUZ, A., FENG, H. and KUSHAD, M. The effect of drying method and storage on color characteristics of paprika. *Journal of Food Science*, 42, 2009, p.1667–1673.

OPTIMIZACIÓN DE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DE PROTEÍNAS PRESENTES EN SEMILLAS DE GUANDUL (*Cajanus cajan*)

OPTIMIZATION OF ENZYMATIC HYDROLYSIS OF PROTEINS PRESENT IN SEEDS OF GUANDUL (*Cajanus cajan*)

OTIMIZAÇÃO HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DE PROTEÍNAS PRESENTES EM SEMENTES DE GUANDU (*Cajanus cajan*)

EDIER GAVIRIA-ACOSTA¹, RICARDO BENÍTEZ-BENÍTEZ², LUIS LENIS², JOSÉ LUIS HOYOS-CONCHA³

RESUMEN

*El Guandul es una leguminosa, sus semillas presentan un importante contenido de biomoléculas de interés alimentario con alto potencial agroindustrial, una de estas es la proteína, la cual por medio de procesos de hidrólisis se pueden obtener y desarrollar nuevos productos. En el presente estudio se llevó a cabo la optimización de la hidrólisis enzimática de proteínas presentes en semillas de Guandul (*Cajanus cajan*). El análisis proximal del Guandul, mostro un importante contenido de proteína, con un porcentaje del 22,6%. El método de superficie de respuesta fue el usado para la optimización del proceso, usando como proteasa el complejo enzimático Neutrasa®. Los valores de las variables optimizadas son; pH: 7,2, temperatura: 53°C, tiempo de 137 minutos y relación de concentración Enzima/Sustrato de 1,5, a estas condiciones se obtiene un grado de hidrólisis del 10% aproximadamente, factores de digestibilidad y propiedades funcionales se deben estudiar con el fin de promover su uso para la alimentación humana y animal.*

Recibido para evaluación: 10 de Septiembre de 2015. **Aprobado para publicación:** 20 de Octubre de 2015.

- 1 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Asubagroin. Químico. Popayán, Colombia.
- 2 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Departamento de Química, QPN. Profesor Titular. Popayán, Colombia.
- 3 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias. Departamento de Agroindustria. Profesor Titular. Popayán, Colombia.

Correspondencia: egaviria@unicauca.edu.co

ABSTRACT

Guandul (Cajanus cajan) is a legume, whose seeds contain biomolecules with potential applications in (food) industry, one of these is the protein, which by enzymatic hydrolysis may be obtained and develop new products. In this work the proteins' enzymatic hydrolysis was optimized. Guandul seeds contains 22,6% of proteins. The optimization was obtained adapting the response surface method and using the enzymatic complex Neutrasa® as protease. The variable values were the following: pH 7,2, temperature 53°C, time 137 min and enzyme/substrate ratio (1/5). The degree of hydrolysis reached was around 10%. The biomolecules digestibility factors and functional properties should be studied with the aim to spread the use of Guandul seeds in food industry.

RESUMO

O guandu é uma leguminosa, suas sementes têm um teor significativo de biomoléculas de interesse com alto potencial agro-alimentar, uma destas é a proteína, a qual por hidrólise enzimática pode ser obtida e desenvolver novos produtos. Este estudo foi realizado para otimizar a hidrólise enzimática de proteínas em sementes de ervilha (Cajanus cajan). A análise guandul proximal mostrou um teor de proteína significativa, com uma percentagem de 22,6%. O método de superfície de resposta foi usada para otimizar o processo, utilizando como o complexo enzima protease Neutrasa®. Os valores das variáveis são otimizados; pH: 7,2, temperatura: 53°C, tempo de 137 minutos, proporção de concentração de enzima / substrato de 1/5, estas condições um grau de hidrólise de cerca de 10%, os factores de digestibilidade e propriedades funcionais deve ser obtido estudo, a fim de promover a sua utilização para consumo humano e animal.

INTRODUCCIÓN

El Guandul (*Cajanus cajan*) se encuentra clasificado en la familia Papilionaceae, género *Cajanus*, esta especie se caracteriza por la producción de semillas con un alto contenido de carbohidratos y proteína [1,2]. La semilla de Guandul es utilizada para la alimentación humana y animal, la cual se puede consumir fresca o seca, en diferentes presentaciones como guiso, sopas y al vapor [3]. También es utilizada para la fabricación de harinas, lo que lleva a darle diferentes aplicaciones alimenticias [4]. En los últimos años se ha incrementado el cultivo de Guandul en los departamentos del sur occidente colombiano, debido a la gran demanda que presenta la semilla, utilizada en programas de alimentación de campesinos y familias de escasos recursos, siendo el Guandul un alimento altamente nutritivo con un bajo costo de producción [2]. La hidrólisis consiste en el rompimiento de enlaces peptídicos que unen aminoácidos que conforman las proteínas, diferentes métodos se usan para este fin, dentro de los que se encuentran; la hidrólisis química e hidrólisis enzimática, la primera usa ácidos y bases fuertes, logrando una mayor disposición de aminoácidos libres, la hidrólisis enzimática es un proceso controlado, bajo factores de pH, temperatura, tiempo y el tipo de enzima usada. Esta tecnología se presenta como una de las alternativas tecnológi-

PALABRAS CLAVE:

Enzimas, Hidrolizados, Superficie de respuesta.

KEYWORDS:

Enzymes, Hydrolysates, Response surface.

PALAVRAS-CHAVE:

Enzimas, Hidrolisados, Superfície de resposta.

cas, que contribuyen a la valorización de productos de origen vegetal y animal, por medio de transformaciones que permiten el cambio de sus propiedades fisicoquímicas y logrando un mayor y mejor uso en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica [5].

Pocos estudios se han realizado sobre el potencial que tiene la proteína presente en esta semilla, y las diferentes características que puede adquirir al ser sometidas a procesos de hidrólisis [6]. Con el fin de buscar una alternativa y generar un proceso que permita dar un valor agregado a las semillas de Guandul, el presente trabajo se enfocó en la optimización de las hidrólisis de proteínas presentes en las semillas, con el fin de generar procesos que potencialicen su uso.

MÉTODO

Materiales y métodos

La semilla de Guandul fue aportada a esta investigación por agricultores del corregimiento La Carbonera, ubicada en la parte sur del Departamento del Cauca, latitud 1.92362, longitud: -77.0501. Como proteasa se empleó Neutrasa® 0.8 L E.C. 3.4.24.28 de Novozymes (A/S Dinamarca), se presenta como una preparación comercial, multienzimática, de grado alimenticio, con una actividad de 0,8 UA/g (UA: Unidades Anson). La enzima es obtenida a partir de *Bacillus amyloliquefaciens*. Sus condiciones de trabajo están establecidas en los siguientes rangos: temperatura entre 40-60°C, pH entre 6 y 8, y actúa sobre el carbono terminal de fenilalanina, leucina y valina [7, 8]. Un reactor Centricol con capacidad para 20 L, fue usado para las reacciones hidrólisis, la cuantificación y grado hidrólisis se determinó en un espectrofotómetro UV-1800 Shimadzu [9].

Molienda y análisis próximo de la semilla

La semilla de Guandul fue molida mecánicamente, hasta obtener harina de textura fina, la cual se pasó por un tamiz con un número de malla diez (ASTM 11/95, 2,00 mm). El análisis próximo de la semilla de Guandul se llevó a cabo empleando métodos AOAC descritos a continuación.

Humedad. Deshidratación a 100–105°C en estufa a presión constante (600 mmHg-Popayán) hasta peso constante según la norma AOAC 950.43 [10].

Ceniza. Calcinación a 550°C por 4 horas, según AOAC 920.153 [11].

Extracto etéreo. Extracción Soxhlet por 4 horas según AOAC 991.36 [12].

Proteína bruta. Kjeldahl: Digestión ácida y destilación de nitrógeno (N x 6,25), según AOAC 968.06 [13].

Fibra bruta: Método Weende: Digestión ácido-base y calcinación según AOAC 962.09 [14].

Hidrólisis enzimática

Las reacciones de hidrólisis enzimáticas de semillas de Guandul se realizaron en un reactor Centricol con control automático de temperatura y velocidad de agitación. Para ello se pesaron 100 g de muestra, se disolvieron en 1000 mL de agua destilada, las soluciones se homogenizaron con agitación constante a 100 rpm en el reactor, una vez alcanzada la temperatura, se da inicio a la reacción mediante la adición de la proteasa Neutrasa®, la cantidad de enzima está determinada por la relación enzima/sustrato según cada unidad experimental, según el cuadro 2.

Determinación del grado de hidrólisis

El grado de hidrólisis o GH se determinó en cada experimento utilizando el método de ortoparafenilaldehído o método de OPA, el cual consiste en hacer reaccionar los α -aminoácidos de las cadenas peptídicas con el reactivo de ortoparafenilaldehído en presencia de mercaptoetanol y condiciones alcalinas generando derivados o compuestos con un máximo de absorbancia de 340 nm [15,16]. Para determinar la concentración de las muestras se realizó el método de curva de calibración, para ello se prepararon patrones de leucina a diferente concentración, en un rango de concentración entre 6 y 21 ppm, a cada patrón se le adicionó el reactivo de OPA y se llevaron a lectura en un espectrofotómetro UV-1800 Shimadzu, a una longitud de onda de 341 nm, el grado de hidrólisis se calculó mediante la siguiente ecuación 1:

$$GH = \frac{h}{ht} * 100 \quad (\text{Ec.1})$$

Dónde, h: total de mEq leucina en la muestra hidrolizada y ht la cantidad de mEq de leucina en la muestra totalmente hidrolizada [17].

Diseño experimental

Se aplicó un diseño factorial 2^4 , como se muestra a continuación:

Cuadro 1. Factores y niveles del diseño.

Factor	Bajo	Alto
pH	6	8
Temperatura	40 °C	60 °C
[E/S]	0,5%(w/w)	1,5%(w/w)
Tiempo	60 min	120 min

De acuerdo con las condiciones de experimentación y recursos disponibles, además de la prioridad de realizar un proceso de optimización se aplicó un diseño Draper-Lin el cual es un diseño compuesto reducido que consiste en un factorial fraccionado o Plackett-Burman mas unos puntos estrella. A continuación se muestra un diseño Draper-Lin para los 4 factores de trabajo (cuadro 2):

Cuadro 2. Diseño experimental.

No	T(°C)	pH	[E/S]	t(min)	Asignación
1	60,0	8,0	1,5	60,0	PORCIÓN FACTORIAL
2	60,0	8,0	0,5	60,0	PORCIÓN FACTORIAL
3	60,0	6,0	1,5	120,0	PORCIÓN FACTORIAL
4	40,0	8,0	0,5	120,0	PORCIÓN FACTORIAL
5	60,0	6,0	0,5	120,0	PORCIÓN FACTORIAL
6	40,0	6,0	1,5	60,0	PORCIÓN FACTORIAL
7	40,0	8,0	1,5	120,0	PORCIÓN FACTORIAL
8	40,0	6,0	0,5	60,0	PORCIÓN FACTORIAL
9	33,2	7,0	1,0	90,0	AXIAL
10	66,8	7,0	1,0	90,0	AXIAL
11	50,0	5,3	1,0	90,0	AXIAL
12	50,0	8,7	1,0	90,0	AXIAL
13	50,0	7,0	0,2	90,0	AXIAL
14	50,0	7,0	1,8	90,0	AXIAL
15	50,0	7,0	1,0	39,5	AXIAL
16	50,0	7,0	1,0	140,5	AXIAL
17	50,0	7,0	1,0	90,0	PUNTO CENTRAL
18	50,0	7,0	1,0	90,0	PUNTO CENTRAL

Las primeras 8 corridas abarcan una media fracción de un factorial 2^4 . El segundo conjunto de 8 corridas son los puntos estrella, donde α es la distancia axial como se define para los diseños central compuesto y se agregan dos puntos al centro. El diseño resultante fue capaz de estimar el modelo de Segundo orden completo.

RESULTADOS

Los resultados del análisis próximo muestran que el Guandul cultivado en el Departamento del Cauca, presenta una composición nutricional comparable con otras semillas, la semilla de se encuentra compuesta por un importante contenido de carbohidratos y proteína, como se muestra en el cuadro 3, el contenido proteico al ser comparado con otras leguminosas como la arveja, soya y caupi con un porcentaje de del 22,6, 29,1 y 26,1 %, respectivamente [18], las ventajas que ofrece la semilla de Guandul sobre las demás, es la poca cantidad de fertilizantes y cuidado que necesita la planta para su desarrollo [19]. Lo anterior demuestra que las semillas de Guandul contienen un importante valor nutritivo, por lo cual es usado en diferentes partes del mundo para alimentación infantil, por otra parte el contenido de fibra y otros microelementos, hacen que el Guandul no solo contribuya en la nutrición, sino que también ayude en la digestión y metabolismo de los seres vivos.

Al finalizar la reacción se separó el residuo sólido del líquido y se procedió a inactivar la enzima a 90 °C en los dos medios. Los residuos líquidos presentaban diferentes tonalidades, variando entre una coloración amarillenta y color crema, esto debido al aumento de solubilidad de las proteínas por efecto de la hidrólisis, y a las diferentes condiciones de hidrólisis en cada reacción. En los residuos líquidos se encuentran los péptidos hidrolizados, además de proteína soluble en esta fase, o que por la acción de hidrólisis llegó a solubilizarse [20]. El grado de hidrólisis en cada experimento se muestra en el cuadro 4:

Cuadro 3. Composición proximal de la semilla de Guandul en base seca.

Determinación	Porcentaje
Geniza	4,0±0,1
Proteína	22,6±0,3
Grasa	3,9±0,2
Fibra	6,5±0,2
Carbohidratos	63,0±0,1

Cuadro 4. Grado de hidrólisis para cada unidad experimental.

No	T(°C)	pH	[E/S]	t(min)	GH	□
1	50,0	7,0	1,8	90,0	9,01	0,01
2	40,0	6,0	0,5	60,0	4,92	0,04
3	50,0	7,0	1,0	90,0	9,02	0,01
4	33,2	7,0	1,0	90,0	6,39	0,02
5	50,0	8,7	1,0	90,0	5,60	0,01
6	66,8	7,0	1,0	90,0	7,21	0,02
7	50,0	5,3	1,0	90,0	5,13	0,05
8	50,0	7,0	1,0	39,5	4,40	0,01
9	60,0	8,0	1,5	60,0	6,00	0,03
10	40,0	8,0	1,5	120,0	6,30	0,02
11	50,0	7,0	0,2	90,0	6,48	0,04
12	60,0	8,0	0,5	60,0	6,10	0,02
13	40,0	8,0	0,5	120,0	5,30	0,02
14	40,0	6,0	1,5	60,0	5,60	0,02
15	60,0	6,0	1,5	120,0	6,61	0,01
16	60,0	6,0	0,5	120,0	4,82	0,03
17	50,0	7,0	1,0	90,0	9,04	0,05
18	50,0	7,0	1,0	140,5	10,30	0,02

El grado de hidrólisis en todos los experimentos se encuentra en el rango de 4,4-10,3%, donde se puede observar el mayor grado de hidrólisis en experimento número 18, el cual presenta valores medios para el pH, temperatura y relación de concentración enzima /sustrato, y el tiempo más prolongado (140,5 minutos), indicando que el tiempo es uno de los factores más influyentes sobre el grado de hidrólisis, al observar la condiciones del experimento número 8, el cual presenta el menor tiempo, aproximadamente 40 minutos, y se obtiene como resultado el grado de hidrólisis de 4,4%, es el más bajo de todos los experimentos, esta influencia se puede confirmar con el análisis ANOVA a continuación [21, 22].

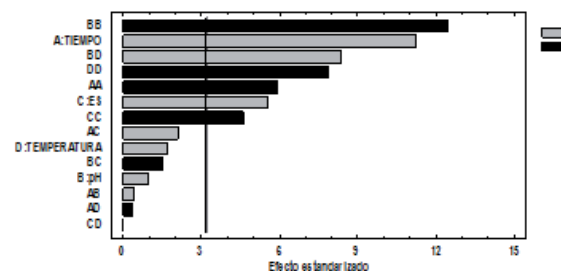
El análisis del diseño factorial fraccionado Plackett-Burman, el cual representa otra alternativa para fraccionar factoriales completos 2^k , donde el número de puntos de diseño no necesariamente es potencia de dos, pero sí múltiplo de cuatro, se realizó con el paquete estadístico Statgraphics® (STSC Inc. Rockville, Md, USA, versión plus 5.1), se utilizó para el análisis de datos usando el método de superficie de respuesta [23], con nivel de significancia de 0,05. Los resultados del Análisis de Varianza (ANOVA) se presentan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Análisis de Varianza para GH.

Fuente	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo	1	17,4051	126,45	0,0015
B:pH	1	0,125	0,91	0,4109
C:ES	1	4,2344	30,76	0,0116
D:Temperatura	1	0,405	2,94	0,1848
AA	1	4,80176	34,89	0,0097
AB	1	0,028397	0,21	0,6805
AC	1	0,605	4,40	0,1270
AD	1	0,0193161	0,14	0,7329
BB	1	21,3104	154,82	0,0011
BC	1	0,32	2,32	0,2247
BD	1	9,62268	69,91	0,0036
CC	1	2,91139	21,15	0,0193
CD	1	0,0	0,00	1,0000
DD	1	8,51938	61,89	0,0043
Error total	3	0,137645		
Total (corr.)	17			

El ANOVA muestra que dos de los factores evaluados presentan diferencia significativa ($p < 0,05$), los cuales corresponden al tiempo y la relación enzima sustrato, siendo el primero el de mayor efecto en el experimento.

La figura 1 muestra el gráfico de Pareto que describe el análisis de varianza y la influencia de los factores y sus relaciones sobre la hidrólisis, el orden de importancia sobre procesos se muestra en orden descendente, se observa una línea vertical, que cruza la gráfica, la ubicación de esta depende del intervalo de confianza del diseño que en este caso es del 95 %, aquel factor que sobrepase esta línea afectará de forma significativa el proceso de hidrólisis, en gris se muestran todos los factores que afectan de forma positiva la reacción de hidrólisis y en negro aquellos que influyen de manera negativa nuestra variable de respuesta, en este caso el grado de hidrólisis de proteínas de semillas de Guandul.

Figura 1. Gráfico de Pareto estandarizado para el grado de hidrólisis.

Cuadro 6. Valores óptimos para obtener el mayor grado de hidrólisis.

Factor	Inferior	Mayor	Óptimo
T (°C)	33,2	66,8	53,0
pH	5,3	8,7	7,2
[E/S]	0,16	1,8	1,5
Tiempo(min)	39,5	140,4	136,8

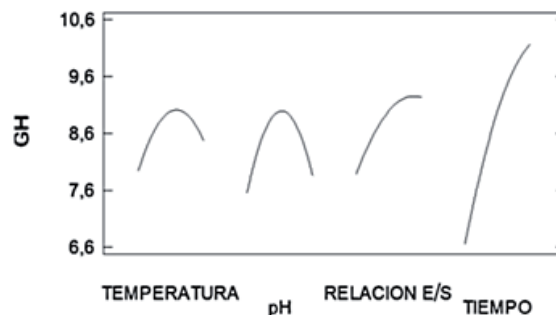
En este sentido se observa que el tiempo es el factor que mayor influencia positiva presenta sobre el proceso de hidrólisis, lo cual se observa en análisis ANOVA, esta influencia se muestra con los resultados de cada corrida experimental así como los valores óptimos descritos en el cuadro 6, a mayor tiempo de reacción presenta un aumento sobre el grado de hidrólisis, lo cual muestra un relación directa de este factor y la variable respuesta.

La relación enzima-sustrato (ES), es el segundo factor con influencia sobre la variable respuesta, esto se atribuye a que una mayor cantidad de enzima puede lograr una mayor y más rápida conversión de sustrato a producto, en este caso de proteína a péptidos o aminoácidos libres, sin embargo se debe tener en cuenta que en procesos de hidrólisis este es uno de los factores a controlar y optimizar, debido a que el uso excesivo de enzima es proporcional al costo del proceso. Por último, el gráfico de Pareto muestra que la temperatura y el pH no influyen de manera significativa sobre el proceso de hidrólisis, debido a que se encuentran en el la parte izquierda de la línea vertical, esto se debe a que se utilizó un complejo enzimático que trabaja a un amplio rango de temperatura y pH, posiblemente cambios en estos dos factores no influyeron de manera significativa sobre la actividad proteolítica de la enzima sobre las semillas de guandul [23].

Los valores de los factores óptimos para lograr el mayor grado de hidrólisis se muestran en el cuadro 6, estos se encuentran dentro de los límites previamente estipulados, con esta enzima y este tipo de matriz, a excepción del tiempo de hidrólisis, debido a que este se requiere un tiempo por encima de lo determinado, variable que se amplía gracias a puntos axiales presentes en el diseño, correspondientes en el cuadro 6 a los experimentos 1, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 18.

El análisis de la figura 2, muestra una idea independiente y cualitativa del efecto de los cuatro factores sobre la respuesta (grado de hidrólisis GH), determinado que a medida que aumenta la temperatura el grado

Figura 2. Gráfico de efectos principales para el GH.



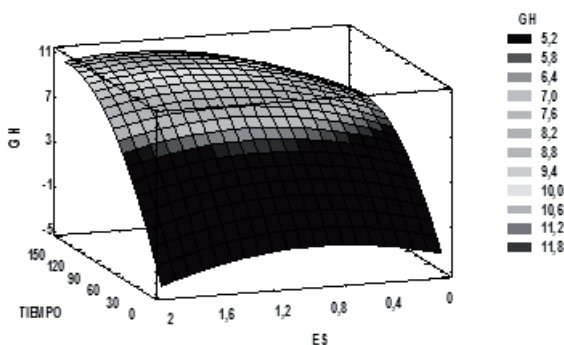
de hidrólisis incrementa su valor, hasta un momento máximo donde encontramos el mayor grado de hidrólisis, posteriormente la línea comienza a descender, esto se debe a que la temperatura influye de gran forma en la actividad enzimática, logrando un incremento de la misma cuando se alcanza la temperatura óptima de la enzima y un descenso cuando la temperatura comienza a desnaturalizarla.

Otro factor que se observa en la gráfica es el pH, el cual tiene un efecto similar al de la temperatura, teniendo un punto máximo donde se logra el mayor grado de hidrólisis, debido a que las enzimas son proteínas y su estructura contiene cargas que afectan su estructura, un cambio en el pH significa un cambio estructural de la proteína, afectado el sitio activo y obviamente la reacción de hidrólisis [24,25]. La relación de concentración de la enzima respecto al sustrato también se optimizó, la gráfica muestra que a medida que se aumenta la cantidad de enzima aumenta el grado de hidrólisis, debido a que una mayor cantidad de enzima logrará romper de forma más rápida y en mayor grado la proteína presente en la semilla de Guandul [26]. Por último, se observa el tiempo, donde se establece la influencia de este parámetro sobre el proceso, su comportamiento describe una línea que incrementa el grado de hidrólisis a medida que transcurre el tiempo, además no indica un máximo, por lo que se deduce un comportamiento directo entre el grado de hidrólisis y el tiempo, esta relación se muestra en el cuadro 7 [27].

Cuadro 7. Valores óptimos para obtener el mayor grado de hidrólisis.

No	Tiempo	GH
1	140	10,7
2	160	10,9
3	180	10,9

Figura 3. Gráfico de Superficie de Respuesta, Valores de pH y temperatura óptimos.

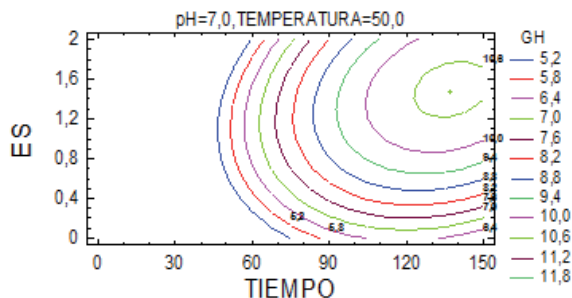


La figura 3 donde se puede observar la superficie de respuesta, expone un incremento del grado de hidrólisis a medida que aumenta el tiempo, llevando de un GH entre el 7% aproximadamente para 60 minutos a 10% cuando se incrementa el tiempo de reacción 120 minutos, el aumento de la relación de concentración enzima/sustrato, aumenta el grado de hidrólisis, sin embargo el incremento de la cantidad de enzima no proporciona un cambio brusco en el grado de hidrólisis.

La figura 4 permite observar diferentes contornos, cada uno representa un rango para el grado de hidrólisis, [28], con una clara tendencia a incrementar el valor de la respuesta (GH), esta es una información importante que puede ser usada para establecer los posibles usos de las semillas de gandul, debido a que características y propiedades fisicoquímicas pueden variar, con pequeños cambios en los tamaños y secuencias de las cadenas proteicas [29,30].

En esta representación se observan líneas circulares o también conocidos contornos, que permiten visualizar diferentes valores de respuesta debido a cambios sobre los factores, al igual que en el gráfico de superficie

Figura 4. Gráfico de contornos para el grado de hidrólisis.



de respuesta al relacionar la concentración de enzima con el tiempo de reacción, se observa que el contorno para el mayor grado de hidrólisis de proteínas presentes en semillas de Guandul se muestra cuando tenemos el mayor tiempo de reacción y la máxima cantidad de enzima respecto al sustrato, la influencia de estos factores ya fue discutida anteriormente [31,32].

CONCLUSIONES

El análisis proximal de las semillas de Guandul, cultivadas en el Departamento del Cauca mostró un importante contenido en proteína, lo que corrobora el alto valor nutritivo que presenta esta semilla.

El análisis ANOVA mostró que el tiempo y la relación de concentración enzima/sustrato, son los factores que mayor influencia presentan sobre el proceso de hidrólisis, cambios en el pH y la temperatura no mostraron afectar la reacción de hidrólisis posiblemente por la capacidad de la enzima de actuar en un rango amplio para estos dos factores.

Las mejores condiciones para el proceso de hidrólisis de proteínas presentes en semillas de Guandul, se obtuvieron por el método de superficie de respuesta, los valores óptimos encontrados son: pH: 7,2, relación enzima/sustrato: 1,5, temperatura: 53°C y tiempo de 136, 8 min, los cuales fueron evaluados sobre el grado de hidrólisis, obteniendo un GH de 10% aproximadamente, con lo que se pretende generar nuevos procesos que fomente el uso de semillas de Guandul, en diferentes campos.

AGRADECIMIENTOS

A los Grupos de investigación en Química de Productos Naturales (QPN) y Aprovechamiento de Subproductos Agroindustriales (ASUBAGROIND) adscritos a la Universidad del Cauca por todo el apoyo prestado en esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] GAVIRIA E. Metodología de superficie de respuesta en la optimización de la hidrólisis enzimática de proteínas presentes en semillas de guandul (*Cajanus Cajan*): propiedades tecnofuncionales del hidrolizado [Tesis de Pregrado].

- Popayán (Colombia): Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la educación, 2013, p 10-20.
- [2] RACHAPUDI, V.S. and ATTIPALLI, R. Dynamics of vegetative and reproductive growth patterns in Pigeonpea (*Cajanus cajan* L.) grown under elevated CO₂. *Procedia Environmental Sciences*, 29, 2015, p. 147–148.
- [3] SANTHANAM, S. and EGIGU, M. Field evaluation of a botanical formulation from the milky mangrove *Excoecaria agallocha* L. against *Helicoverpa armigera* Hübner. In *Abelmoschus esculentus* (lady's finger) and *Cajanus Cajan* (*Pigeon pea*). *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 7, 2014, p. 171-76.
- [4] ZU, Y., LIU, X., FU, Y., WU, N., KONG, Y. and WINK, M. Chemical composition of the SFE-CO₂ extracts from *Cajanus cajan* (L.) Huth and their antimicrobial activity in vitro and in vivo. *Phyto-medicine*, 17, 2010, p. 1095–1101.
- [5] PAGAN, J., IBARZ, A., FALGUERA, V. and BENITEZ, R. Enzymatic hydrolysis kinetics and nitrogen recovery in the protein hydrolysate production from pig bones. *Journal of Food Engineering*, 119, 2013, p. 55-59.
- [6] TORRES, J., RUTHERFURD, S., MUÑOZ, L., MICHAEL-PETERS, M. and MONTOYA, C. The impact of heating and soaking on the in vitro enzymatic hydrolysis of protein varies in different species of tropical legumes. *Food Chemistry*, 194, 2016, p. 377-82.
- [7] NGO, D., RYU, B. and KIM, S. Active peptides from skate (*Okamejei kenojei*) skin gelatin diminish angiotensin-I converting enzyme activity and intracellular free radical-mediated oxidation. *Food Chemistry*, 143, 2014, p. 246-55
- [8] NEUTRASA®. Novozymes [en línea]. 2013. Disponible <http://www.novozymes.com> [citado 15 noviembre 2014].
- [9] SARCHAMI, T. and REHMANN, L. Optimizing enzymatic hydrolysis of inulin from Jerusalem artichoke tubers for fermentative butanol production. *Biomass and Bioenergy*, 69, 2014, p. 175-82.
- [10] ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC). Official methods of analysis. 950.43: determination of moisture. 19th ed. Gaithersburg (USA): 2012.
- [11] ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC). Official methods of analysis 1404: mineral analysis by icp-oes. 19th ed. Gaithersburg (USA): 2012.
- [12] ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC). Official methods of analysis 991.36: fat in feeds. 19th ed. Gaithersburg (USA): 2012.
- [13] ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC). Official methods of analysis 968.06: determination of the nitrogen content. 19th ed. Gaithersburg (USA): 2012.
- [14] ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC). Official methods of analysis 962.09.: crude fiber analysis. 19th ed. Gaithersburg (USA): 2012.
- [15] SPELLMAN, D., MCEVOY, E., OCUINN, G. and FITZGERALD, R.J. Proteinase and exopeptidase hydrolysis of whey protein: Comparison of the TNBS, OPA and pH stat methods for quantification of degree of hydrolysis. *International Dairy Journal*, 13, 2003, p. 447–453.
- [16] ZACHARIS, C. and TZANAVARAS, P. Liquid chromatography coupled to on-line post column derivatization for the determination of organic compounds: A review on instrumentation and chemistries. *Analytica Chimica*, 798, 2013, p. 1-24.
- [17] SUWAL, S., ROBLET, C., AMIOT, J. and BAZINET, L. Presence of free amino acids in protein hydrolysate during electroseparation of peptides: Impact on system efficiency and membrane physicochemical properties. *Separation and Purification Technology*, 147, 2015, p. 227-36.
- [18] AGUIRRE, P.A. Caracterización nutricional del grano de Caupi *vigna unguiculata* L. en ratas [Tesis maestría en Ciencias Agrarias]. Palmira (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, escuela de posgrados, 2009, p. 21-54.
- [19] DE OLIVEIRA, S.F. and PERRONE, D. Characterization and stability of bioactive compounds from soybean meal. *LWT - Food Science and Technology*, 63, 2015, p. 992-1000.
- [20] NAJAFIAN, L. and BABJI, A. Isolation, purification and identification of three novel antioxidative peptides from patin (*Pangasius sutchi*) myofibrillar protein hydrolysates. *Food Science and Technology*, 60, 2015, p. 452-61.
- [21] KONG, X., ZHOU, X. and QIAN, H. Enzymatic preparation and functional properties of wheat gluten hydrolysates. *Food Chemistry*, 101(2), 2007, p. 615-620.
- [22] KIM, M., SON, H., KIM, Y., MISAKA, T. and RHYU, M. Umami–bitter interactions: The suppression of bitterness by umami peptides via human bitter

- taste receptor. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 456, 2015, p. 586-90.
- [23] DAS, B., ROY, A., BHATTACHARJEE, S., CHAKRABORTY, S. and BHATTACHARJEE, C. Lactose hydrolysis by β -galactosidase enzyme: optimization using response surface methodology. *Ecotoxicology environment safety*, 121, 2015, p. 244-252.
- [24] RAVBER, M., KNEZ, Ž. and ŠKERGET, M. Optimization of hydrolysis of rutin in subcritical water using response surface methodology. *Journal of Supercritical Fluids*, 104, 2015, p. 145-52
- [25] MORR, V., GERMAN, B., KINSELLA, J., REGENSTEIN, J.M., VAN BUREN, J. and KILARA, A. Collaborative study to develop a standardized food protein solubility procedure. *Journal of Food Science*, 50, 1985, p. 1715-18.
- [26] NELSON, D. y COX, M. Lehninger. *Principios de Bioquímica*. 4 ed. Barcelona (España): Omega, 2005, p.190-230.
- [27] BENITEZ, R., IBARZ, A. and PAGAN, J. Hidrolizados de Proteína: procesos y aplicaciones. *Bioquímica Latinoamericana*, 42, 2008, p. 227-36.
- [28] NOURI, L., LEGRAND, L., POPINEAU, Y. and BELLEVILLE, P. Enzymatic hydrolysis of wheat proteins Part 2: comparison of performance of batch-stirred and torus reactors. *Chemical Engineering Journal*, 65, 1997, p. 195-199.
- [29] WASSWA, J., TANG, J., GU, X. and YUAN, X. Influence of the extent of enzymatic hydrolysis on the functional properties of protein hydrolysate from grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) skin. *Food Chemistry*, 104, 2007, p. 1698-1704.
- [30] PERIČIN, D., RADULOVIĆ, J.L., VAŠTAG, Z., MADAREV-POPOVIĆ, S. and TRIVIĆ, S. Enzymatic hydrolysis of protein isolate from hull-less pumpkin oil cake: Application of response surface methodology. *Food Chemistry*, 115, 2009, p. 753-757.
- [31] MERZA, M., EWERTA, J., BAURA, C., APPELB, D., BLANKB, I., STRESSLERA, T. and FISCHERA, L. Wheat gluten hydrolysis using isolated Flavourzyme peptidases: Product inhibition and determination of synergistic effects using response surface methodology. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, in press, 2015.
- [32] WANG, L., ZHANG, B., HAN, J., ZHENG, Y., LI, J. and SAHN, A. Optimization of hydrolysis condition of blood meal by *Bacillus subtilis* with response surface methodology. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 104, 2015, p. 112-117.

Artículo Corto

POLVO DE LA SEMILLA *Cassia fistula* COMO COAGULANTE NATURAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA

POWDER SEED OF *Cassia fistula* LIKE NATURAL COAGULANT IN TREATMENT OF RAW WATER

PÓ DE SEMENTES *Cassia fistula* COMO COAGULANTE NATURAL NO TRATAMIENTO DE AGUA

LUIS GUZMÁN C.¹, ARNULFO ANTONIO TARON D.², ANTONIO NÚÑEZ M.³

RESUMEN

*Los extractos naturales de plantas se han usado para la purificación de agua por muchos siglos. La mayoría de estos se derivan de semillas, hojas, cortezas o savia, raíces y frutos de árboles y plantas. En este trabajo se estudió la utilización del polvo de la semilla de la *Cassia fistula* como coagulante natural, estableciendo su dosis óptima mediante la prueba de jarras y determinando los parámetros de color, turbidez, alcalinidad total, y dureza total; utilizando agua del Canal del Dique. La dosis óptima del coagulante encontrada está entre 15-25 mg/L, obteniendo valores finales de turbidez y color de 6 NTU y 25 UC respectivamente. Los valores de pH y alcalinidad total no presentaron mayores variaciones. Los valores de los parámetros turbidez y color al igual que el pH, alcalinidad total y dureza total se encuentran cerca de los estándares establecidos por la norma colombiana que garantizan la calidad del agua para consumo humano; demostrando la potencialidad de uso de este coagulante natural como coagulante primario en tratamiento de aguas crudas.*

Recibido para evaluación: 12 de Abril de 2013. **Aprobado para publicación:** 16 de Febrero de 2015.

- 1 Universidad de Cartagena, Docente programa Ingeniería de Alimentos. Especialista en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cartagena, Colombia.
- 2 Universidad de Cartagena, Docente programa Ingeniería de Alimentos. M.Sc. Biotecnología. Cartagena, Colombia.
- 3 Universidad de Cartagena, Docente programa Química Farmacéutica. Químico Farmacéutico. Cartagena, Colombia.

Correspondencia: lguzmanc@unicartagena.edu.co

ABSTRACT

Natural plant extracts have been used for water purification for many centuries. Most of these was derived from seeds, leaves, bark or sap, roots and fruits of trees and plants. In this paper, using seed powder of Cassia fistula as natural coagulant, establishing their optimal dose through "jar tests" and determining the parameters of color, turbidity, total alkalinity and total hardness, using water from the "Canal del Dique". The optimal effective dose of coagulant is found between 15-25 mg/L, obtaining final values of turbidity and color of 6 NTU and 25 UC respectively. The pH values no major variations, as total alkalinity. The values of the parameters turbidity and color are located near the standards set by the Colombian standard to ensure the quality of water for human consumption, as well as the pH, total alkalinity and total hardness, demonstrating the potential use of this coagulant primary natural coagulant in water treatment.

RESUMO

Os extractos naturais de plantas usaram-se para a purificação de água por muitos séculos. A maioria destes se derivam de sementes, folhas, cortezas ou sávia, raízes e frutos de árvores e plantas. Neste trabalho estudou-se a utilização do pó da semente da Cassia fistula como coágulo natural, estabelecendo sua dose ótima mediante a prova de jarras e determinando os parâmetros de cor, turbidez, alcalinidade total, e dureza total; usando água do Canal do Dique. A dose efectiva ótima do coagulante encontrada está entre 15-25 mg/L, obtendo valores finais de turbidez e cor de 6 UNT e 25 UC respectivamente. Os valores de pH não apresentaram maiores variações, ao igual que a alcalinidade total. Os valores dos parâmetros turbidez e cor, encontram-se para perto de os standardes estabelecidos pela norma colombiana para garantir a qualidade do água para consumo humano; ao igual que o pH, alcalinidade total e dureza total; demonstrando a potencialidade de uso deste coagulante natural como coagulante primário em tratamento de água.

INTRODUCCIÓN

La coagulación es un proceso esencial en el tratamiento del agua turbia superficial y de aguas residuales industriales y domésticas. La remoción de la turbidez, color y materia orgánica natural es uno de los pasos más importantes en un proceso de tratamiento de agua, y se logra generalmente utilizando coagulantes [1]. Muchos de ellos como el cloruro férrico, sulfato de aluminio, cloruro de polialuminio y carbonato de calcio se han utilizado para eliminar las impurezas y las partículas coloidales de las aguas naturales [2]. Sin embargo, existen desventajas asociadas al uso de estos coagulantes, como altos costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodos y el hecho de que afectan significativamente el pH del agua tratada [3].

Los extractos de plantas naturales tales como la *Moringa oleifera*, *Jatropha curcas*, *goma guar*, *Strychnos potatorum*, *Hibiscus sabdariffa* y *Clidemia*

PALABRAS CLAVE:

Cactus, Floculación, Estabilidad, Dosis óptima.

KEY WORDS:

Cactus, Flocculation, Stability, Optimal dosage.

PALAVRAS-CHAVE:

Floculação, Estabilidade, Dosis ótima.

angustifolia se han usado para la purificación del agua por muchos siglos. La mayoría de estos se derivan de semillas, hojas, cortezas o savia, raíces y frutos de árboles y plantas o pueden extraerse de microorganismos, animales o tejidos vegetales [4]; estos coagulantes muestran ser biodegradables y se presume que son seguros para la salud humana [5]. Además, los coagulantes naturales producen lodos menos voluminosos en cantidad y rápidamente biodegradables que su contraparte el alumbre [6]. El uso de materiales naturales de origen vegetal para clarificar las aguas crudas turbias no es una idea nueva. Los coagulantes naturales se han usado en el tratamiento de aguas para consumo doméstico tradicionalmente en áreas rurales tropicales [7]. En particular, la *Moringa oleifera* originaria de Sudán se ha clasificado como uno de los mejores extractos de plantas para el tratamiento del agua [8]. Este árbol es considerado mundialmente como el árbol milagroso, debido a que cada parte del árbol de Moringa puede usarse en la alimentación, la medicación y para propósitos industriales [9]. Algunas personas usan sus hojas, flores y vainas frescas como verduras, mientras otros lo usan como alimento para el ganado [10].

La cañafístula, carao o cañadonga es un árbol natural de América Central y las zonas costeras de las Antillas, perteneciente a la familia Fabaceae género *Cassia*. En Colombia, México y probablemente en otros países, también se le conoce como lluvia de oro (*Cassia fistula* Golden-Shower) [11]. Es un árbol pequeño de hasta 5 m de altura por 30 cm de diámetro, con la corteza gris verdoso, hojas compuestas, pinnadas, con 4 a 8 pares de hojuelas. Las flores son de color amarillo intenso y están dispuestas en grandes racimos colgantes. Los frutos son vainas alargadas, delgadas, cilíndricas, negras, de aproximadamente 50 cm de largo [12]. El nombre del género *Cassia* proviene de los antiguos griegos, quienes lo aplicaban a una serie de plantas con propiedades terapéuticas. El epíteto *fistula* proviene del latín que significa “tubo”, en alusión a la forma de los frutos [12].

Panorama Nacional

Para la Defensoría del Pueblo, en Colombia existen según los reportes del DANE un total de 1113 municipios; de ellos, solo el 4% suministra agua apta para consumo humano, el 70% agua con “riesgo alto” para la salud y el 21% agua “inviabile sanitariamente” [13]. A pesar de los grandes esfuerzos y avances logrados en relación con el aumento de la cobertura del

servicio de acueducto, los avances en términos de calidad del agua han sido lentos. Entre los años 2009 y 2010, el número de municipios que distribuyeron agua inviable sanitariamente aumentó, al pasar de 76 a 100 [13], mientras que el número de municipios que suministran agua apta para consumo humano aumentó pasando de 347 a 400 municipios. En las categorías ‘riesgo medio’, ‘riesgo alto’ e ‘inviabile sanitariamente’, también se notó una gran mejoría; en cada uno de estos niveles de riesgo disminuyó el número de municipios que distribuyen agua con algún riesgo para la salud humana [13].

Ante este panorama, y conociendo que la utilización de materiales de origen vegetal como el polvo de semillas de árboles y materiales comestibles entre otros, han sido mencionados y utilizados como coagulantes naturales para la clarificación de aguas superficiales; en este trabajo se plantea la posibilidad de sustituir los agentes coagulantes de uso común por el polvo de semillas de *C. fistula* como agente coagulante natural así como su aplicabilidad en el tratamiento de aguas para consumo humano.

MÉTODO

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó agua cruda tomada del Canal del Dique. El sitio elegido para el muestreo se encuentra a la altura del corregimiento Gambote (Bolívar) (N 10° 09' 47,98" - W 75° 17' 50,49"); la recolección de la muestra se realizó en el séptimo mes del año; correspondiente a una época invernal, período en que el agua se caracteriza por presentar una elevada turbidez y sus características iniciales se dan en la Cuadro 1.

Para la obtención del agente coagulante se procedió conforme al esquema propuesto por Yin [3]. Las semillas de *C. fistula* se recolectaron de forma manual, desechando aquellas que presentaron daños por insectos. Una vez recolectadas y seleccionadas, estas fueron expuestas al sol durante un

Cuadro 1. Parámetros de calidad del agua cruda.

Parámetro	Valor	Unidad
Turbidez	120	NTU
Color	200	UPC
Alcalinidad Total	40	mg/L (CaCO ₃)
Dureza Total	72	mg/L (CaCO ₃)
pH	6,53	

periodo aproximado de 8 días. Las semillas secas, fueron molidas en un molino mecánico helicoidal Marca Pulvex Modelo 95. Esta operación se repitió varias veces hasta obtener un polvo de consistencia fina o agente coagulante. La solución del coagulante se preparó disolviendo 25 g de polvo de semilla en 100 mL de agua destilada.

Prueba de coagulación

Para determinar las propiedades coagulantes del extracto de semillas de *C. fistula* se utilizó la prueba de jarras estándar descrita entre otros por Satterfield [14]. El procedimiento consistió en tomar siete vasos de precipitados en los cuales se vertieron 500 mL de agua cruda obtenida en el Canal del Dique, utilizando uno como control; los otros seis se dosificaron con los extractos de semilla de *C. fistula* con concentraciones de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 ppm respectivamente. El agua cruda y la mezclada con el agente coagulante fueron sometidas inicialmente a una agitación rápida a 100 rpm durante 1 minuto, seguida de agitación lenta a 40 rpm durante 30 minutos; por último, se permitió un tiempo de sedimentación de 60 minutos. Finalmente se tomaron con ayuda de una pipeta graduada, 20 mL del agua clarificada sobrenadante para su análisis. Los ensayos se realizaron a temperatura ambiente y el equipo utilizado fue el Floculador digital E&Q F6-300.

Los parámetros fisicoquímicos de color, turbidez, pH, alcalinidad y dureza se evaluaron por triplicado en el agua cruda y en el agua tratada con el agente coagulante utilizando la metodología propuesta por la AWWA [15]. El color se evaluó por comparación visual de la muestra utilizando un colorímetro Lovibond PFX 195 aplicando el método 2120B y los resultados de la evaluación de color se expresaron en unidades de platino-cobalto (UPC). La turbidez se determinó por el método nefelométrico (método 2130B); el cual mide la turbidez en unidades de turbidez nefelométricas (UTN) utilizando como solución estándar un polímero de formalina. El equipo utilizado fue el turbidímetro Turbiquant 3000 IR. Para la medición del potencial de hidrogeno se utilizó un pHmetro digital (Bench pH/Conductivity meter PC 510), expresando los resultados en unidades de pH (método 4500-H+B). La alcalinidad se determinó por titulación y es expresada en mg/L de CaCO₃ (método 2320 B). La dureza se realizó por titulación utilizando como agente titulante una solución EDTA y es expresada en mg/L de CaCO₃ (Método 2340 C).

RESULTADOS

En diferentes escritos se sugiere que las proteínas presentes en los materiales vegetales utilizados, son los ingredientes activos responsables de la coagulación [15]. Al comparar el contenido de proteína del polvo de semilla de la *C. fistula* (5,91%) con los contenidos de proteína de los materiales vegetales: Castaño (*Aesculus hippocastanum*), Roble común (*Quercus robur*), Roble turco (*Quercus cerris*) y Castaño europeo (*Castanea sativa*) utilizados por Sciban [7], se encuentra que son similares en sus contenidos de proteínas las cuales varían entre 5,1% y 6,0%.

En la Figura 1 se muestran las variaciones del color en relación a la dosis del coagulante aplicado. Como se puede observar las unidades de color disminuyen con el incremento de la dosis del coagulante, alcanzando un valor mínimo de 25 UPC para una dosis entre 20 y 25 ppm. La normativa colombiana vigente para aguas de consumo humano [18] establece valores para el color de 15 unidades expresada como UPC por lo que los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que la dosis de coagulante de 20 ppm reduce los valores de color hasta 25 unidades, siendo la remoción de color del 87,5% de su valor inicial.

La Figura 2 muestra que el aumento progresivo de las dosis del coagulante elaborado con el polvo de semilla de la *C. fistula* (5, 10, 15 y 20 ppm) conduce a una disminución de la turbidez. Con una dosis de 20 ppm de coagulante se alcanza un valor mínimo para la turbidez de 6 UNT, para una remoción de 95% respecto de su valor inicial. El valor de la turbidez se encuentra por encima del límite permisible (2 UNT) y fijado por la norma para aguas de consumo humano. Igualmente en las Figuras 1 y 2 se observa que cuando

Figura 1. Comportamiento del Color en relación a la dosis de Polvo de Semilla de *Cassia fistula*.

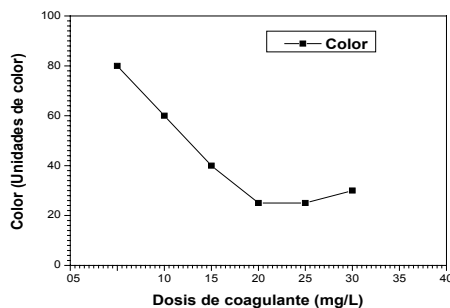
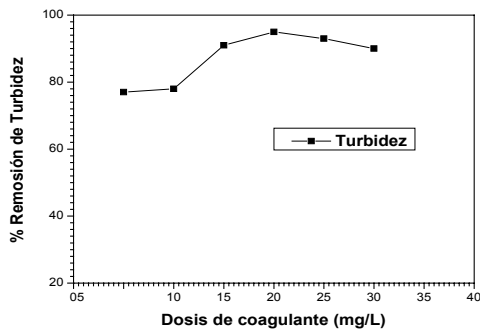


Figura 2. Remoción de Turbidez (%) Vs dosis de coagulante.



la dosis de coagulante es de 25 y 30 ppm, los valores de la turbidez y de color tienden a aumentar. La razón de tal comportamiento obedece a que una desestabilización máxima es lograda cuando la dosis de coagulante compensa exactamente las cargas de las partículas (punto isoelectrico), razón por la cual existe una relación estequiométrica entre la concentración de partículas y la dosis de coagulante requerida. Con dosis mayores de coagulante, se vuelve a obtener una re-estabilización de la dispersión traduciéndose en un aumento del color y la turbidez.

En la Figura 3 se muestran las variaciones del pH para las diferentes dosis de coagulante. El pH, en relación con la dosis del coagulante aplicado presentó una tendencia general a mantenerse con el incremento de la dosis del coagulante y con respecto a los valores de turbidez. La normativa vigente para aguas de consumo humano establece valores de pH de 6,5–9,0 por lo que los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que las dosis de coagulantes de 5-30 mg/L

Figura 3. Comportamiento del pH en relación a la dosis de coagulante.

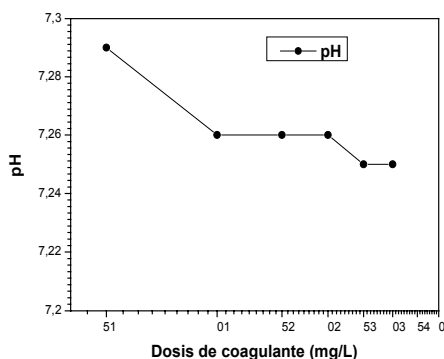
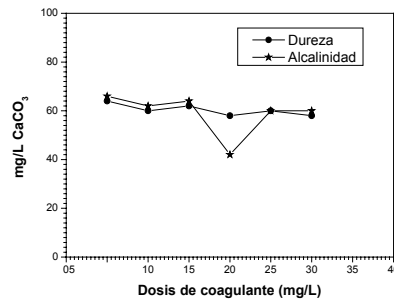


Figura 4. Comportamiento de la dureza y la alcalinidad con respecto a la dosis de coagulante.



mantienen los valores de pH en un margen óptimo o aceptable para niveles de turbidez de 6 hasta 25 NTU.

La Figura 4 muestra las variaciones de la alcalinidad total expresada como mg/L de CaCO₃ y la variación de la dureza total en mg/L de CaCO₃. La alcalinidad total y la dureza total no tienen variación significativa con respecto a la dosis de coagulante aplicado. Los resultados arrojados muestran que a una dosis de 20 mg/L los valores de la alcalinidad total se encuentran dentro de los límites establecidos por la normativa al igual que la dureza total (200 y 300 mg/L respectivamente).

En el Cuadro 2 se muestran los resultados de esta investigación los cuales evidencian la eficiencia del polvo de semilla de la *C. fistula* como coagulante primario sin la adición de sustancias químicas, las cuales son requeridas cuando se usa el sulfato de aluminio para evitar el incremento de la acidez del agua, que la hace peligrosamente corrosiva.

El agente coagulante utilizado en esta investigación es capaz disminuir los niveles de turbidez y color a niveles permisibles.

Cuadro 2. Resumen de los resultados obtenidos para las diferentes dosis de coagulante

	D	C	T	pH	AT	DT	ST
AC	-	200	120	6,5	40	72	432
1	5	80	27	7,2	66	64	
2	10	60	26	7,2	62	60	
3	15	40	10	7,2	64	62	
4	20	25	6	7,2	42	58	110
5	25	25	8	7,2	60	60	
6	30	30	12	7,2	60	58	

AC: Agua cruda; D: Dosis (mg/L); Color (UPC); T: Turbidez (NTU); AT: Alcalinidad total (mg/L CaCO₃); DT: Dureza total (mg/L CaCO₃); ST: Sólidos totales (mg/L)

Utilizando dosis de 20 ppm de polvo de semilla de *C. fistula* se logra una coagulación efectiva. El polvo de semilla de la *C. fistula* no afecta de mayormente los valores de pH, alcalinidad total y dureza total para la dosis óptima de 20 mg/L del coagulante, por encontrarse estos dentro de los rangos establecidos en la Resolución 2115 de 2007 [16]; por lo que no requiere la adición de sustancias químicas para ajustar estos valores según lo establecido por la norma colombiana vigente para agua de consumo humano.

CONCLUSIONES

El presente estudio propone el uso del polvo de la semilla de la *C. fistula* como un coagulante natural alternativo para el tratamiento de aguas crudas. Las pruebas de jarras realizadas confirman su poder coagulante encontrando que con una dosis de 20 mg/L del agente coagulante, se alcanzan valores mínimos de 25 UPC para el color y 6 NTU para turbidez; demostrando que la *C. fistula* es un coagulante natural, prometedor y eficaz para la sustitución de coagulantes inorgánicos nocivos tales como el alumbre en el proceso de coagulación de aguas crudas.

REFERENCIAS

- [1] KATAYON, S., NOOR, M., KIEN-TAT W., HALIM, G.A., THAMER, A.M., and BADRONISA, Y. Effect of natural coagulant application on microfiltration performance in treatment of secondary oxidation pond effluent. *Desalination*, 204, 2007, p. 204-212.
- [2] BERGAMASCO, R., BOUCHARD, C., VIEIRA da SILVA, F., HESPANHOLD, M., REIS, M. and FAGUNDES, M.R. An application of chitosan as a coagulant/flocculant in a microfiltration process of natural water. *Desalination*, 245, 2009, p. 205-213.
- [3] YIN, C. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*, 45, 2010, p. 1437-1444.
- [4] PRITCHARD, M., MKANDAWIRE, T., EDMONDSON, A., O'NEILL, J. and KULULANGA, G. Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 34(13-16), 2009, p. 799-805.
- [5] ŠČIBAN, M., KLAŠNJA, M., ANTOV, M. and ŠKRBIĆ, B. Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut. *Bioresource Technology*, 100 (24), 2009, p. 6639-6643.
- [6] BHUPTAWAT, H., FOLKARD, G.K. and CHAUDHARI, S. Innovative physico-Chemical treatment of wastewater incorporating *Moringa oleifera* seed coagulant. *Journal of Hazardous Materials*, 142 (2007), p. 477-482
- [7] GUZMÁN L., VILLABONA, A. y TEJADA, C. Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: Una revisión. *Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1) 2013, p. 253-262.
- [8] PRITCHARD, M., CRAVEN, T., MKANDAWIRE, T., EDMONSON, A.S. and O'NEILL J.G. Comparison between *Moringa oleifera* and chemical coagulant in the purification of drinking water – An alternative sustainable solution for developing countries. *Physics and chemistry of the Earth*, 35, 2010, p. 798-805.
- [9] KHALAFALLA, M., ABDELLATEF, E., DAFALLA, H., NASSRALLAH, A., ABOUL-ENEIN, K., LIGHT-FOOT D., EL-DEEB F. and EL-SHEMY H. Active principle from *Moringa oleifera* Lam Leaves effective against two leukemias and a hepatocarcinoma. *African Journal of Biotechnology*, 9(49), 2010, p. 8467-8471.
- [10] ANJORIN, T., IKOKOH, P. and OKOLO, S. Mineral composition of *Moringa oleifera* leaves, pods and seeds from two regions in Abuja, Nigeria. *International Journal of Agricultural and Biological engineering*, 12, 2010, p. 431-434.
- [11] GILMAN, E.F. and WATSON, D.G. *Cassia fistula*: Golden-shower. Florida (USA): Fact Sheet ST-127, Florida Cooperative Extension Service, University of Florida, ENH286, 1993, 3 p.
- [12] SÁNCHEZ, J. y CASCANTE, A. Árboles ornamentales del Valle Central de Costa Rica: especies con floración llamativa. 1ª ed. San José (Costa Rica): Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), Museo Nacional, 2008, 30 p.
- [13] COLOMBIA. DEFENSORÍA DEL PUEBLO. Diagnóstico de la calidad del agua para consumo humano año 2010. Bogotá (Colombia): 2011, p. 15-35.
- [14] SATTERFIELD, Z. Tech Brief. Jar testing. *Spring*, 5(1), 2005, p.1-4
- [15] UNITED STATES. THE AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). Standard Methods for

- the Examination of Water and Wastewater. New York (USA): ed. 0022, 2012, p. 1496.
- [16] COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 2115 de junio de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá (Colombia): 2007, p. 2.

Artículo Estudio de Caso

CARACTERIZACIÓN EN LA CADENA INFORMAL DE LA LECHE CRUDA EN EL MUNICIPIO DE POPAYÁN

CHARACTERIZATION IN THE NON FORMAL CHAIN OF RAW MILK AT THE MUNICIPALITY OF POPAYAN

CARACTERIZACAO NA CADEIA INFORMAL DE LEITE CRU NO MUNICÍPIO DE POPAYAN

RUTH MERCEDES MENESES¹, DIANA MARCELA ESTRADA²,
CARLOS ANDRÉS CHANTRÉ³, FREDY JAVIER LÓPEZ M⁴

RESUMEN

La leche cruda, por sus componentes nutricionales se puede considerar un alimento completo; sin embargo, su estado líquido y el manejo dado, puede convertir al producto, en un sustrato ideal para el desarrollo de microorganismos y transmisión de enfermedades. El objetivo de este trabajo, fue determinar algunas características de los actores que hacen parte de la cadena de leche cruda en el Municipio de Popayán, a partir de las cuales se comprobó el cumplimiento o no, de las recomendaciones técnicas establecidas por la normatividad vigente, para cada eslabón. Para llevar a cabo este proceso, se encuestó a cada uno de los actores de la cadena láctea en Popayán y municipios cercanos, para posteriormente proceder a su análisis. Se obtuvo información de 2.305 actores, de los cuales 2.014 fueron consumidores (hogares), 195 correspondieron a productores, 60 a procesadoras artesanales (9 de empresas legalmente constituidas y 51 sin registro mercantil) y 36 fueron actores del eslabón de acopio y distribución (25 rutereros y 11 distribuidores). Los resultados relacionados con las normas técnicas, obtenidos en cada eslabón, permitieron determinar que el 100% de los actores,

Recibido para evaluación: 5 de Mayo del 2014. Aprobado para publicación: 27 de Agosto de 2015

- 1 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias. Ingeniera Agropecuaria. Popayán, Colombia.
- 2 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias. Ingeniera Agroindustrial. Popayán, Colombia.
- 3 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias. Profesor catedrático. Popayán, Colombia.
- 4 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias. Médico Veterinario Zootecnista, Magister en Ciencias Agrarias, Profesor Titular Departamento de Ciencias Agropecuarias. Popayán, Colombia.

Correspondencia: fjlopez@unicauca.edu.co

no cumplen todas las recomendaciones técnicas, por lo cual son considerados actores informales.

ABSTRACT

Because its nutritional components, raw milk can be considered a complete food; never the less, its liquid state and the given management, can become this product in an ideal substrate for the development of microorganisms and diseases transmission. The objective of this work was to determine some of the actors' characteristics who are part of the raw milk chain at the municipality of Popayán, from which the fulfillment of the established technical recommendations by the current regulations for each chain link was checked. In order to perform this process, each of the milky chain actors in Popayán and surrounding municipalities was polled, and further analysis was made. Information from 2.305 actors was obtained, from which 2.014 were consumers (homes), 195 producers, 60 artisan processing (9 legally constituted enterprises and 51 without commercial registration) and 36 were actors from the collection and distribution chain link (25 routers and 11 distributors). The technical standards related results obtained in each chain link allowed determining that 100% of the actors do not accomplish every technical recommendation, so that they are considered as informal actors.

RESUMO

Devido a seus componentes nutricionais, o leite cru pode ser considerado uma refeição completa; No entanto, seu estado líquido e a gestão dada, pode tornar o produto num substrato ideal para o desenvolvimento de microrganismos e de transmissão de doenças. O objetivo deste estudo foi determinar algumas características dos atores que fazem parte da cadeia do leite cru, no Município de Popayán, a partir das quais encontrou a conformidade ou não, das recomendações técnicas estabelecidas pelos regulamentos para cada elo. Para realizar este processo foram pesquisados cada um dos atores na cadeia de lácteos em Popayán e nas proximidades do Município, para então proceder à sua análise. Obtiveram-se informações de 2.305 atores, dos quais 2.014 eram consumidores (famílias), 195 correspondia aos produtores, 60 para processadores artesanais (9 de empresas legalmente constituídas e 51 sem registro) e 36 foram atores no elo de arrecadação e distribuição (25 rotas e 11 distribuidores). Os resultados relacionados com padrões técnicos em cada elo permitiram determinar que 100% dos atores não preenchem todas as recomendações técnicas, por tanto são consideradas como atores informais.

INTRODUCCION

La leche es considerada uno de los alimentos más completos de los consumidos por el hombre, porque contiene casi todos elementos nutritivos que se requieren para el crecimiento y desarrollo [1]. Entre los nutrientes que aporta la leche bovina se encuentran: proteínas, grasas, vitaminas, minerales y un carbohidrato [2], la cantidad de estos nutrientes en el producto, determinan

PALABRAS CLAVES:

Cadena láctea, Leche cruda, Eslabones, Ruteros.

KEY WORDS:

Milky chain, Raw milk, Chain links, Routers

PALAVRAS-CHAVE:

Cadeia de laticínios, Leite cru, Elo, Roteadores.

su calidad nutricional y su aptitud como materia prima para el procesamiento. La calidad nutricional varía con el componente genético, el estado fisiológico, el estado sanitario y ambiente dado a los animales [1]. Con lo anterior, la leche cruda se puede considerar un alimento completo, sin embargo, su estado líquido y el manejo dado, puede convertir al producto en un sustrato ideal para el desarrollo de microorganismos, así como un vehículo de transporte de factores de riesgos físicos y biológicos, provenientes del animal ordeñado, del ordeñador y del medio ambiente donde se obtuvo el producto [3].

La leche es un bien que se mueve y recibe valor agregado al pasar por los eslabones de la cadena láctea, cadena que está compuesta por varios eslabones y actores y que en Colombia, al igual que otras cadenas productivas, es denominada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR, como “un conjunto de actividades que se articulan técnica y económicamente, desde el inicio de la producción y elaboración de un producto agropecuario, hasta su comercialización final” [4].

Por otra parte, para la cadena láctea en Colombia, existen desde el 2.010, el Acuerdo de Competitividad y los CONPES 3675 y 3676, que establecen los lineamientos políticos que el sector debe implementar para mejorar la competitividad. El Acuerdo de Competitividad, teniendo en cuenta las políticas establecidas en los dos Conpes indicados, establece seis ejes estratégicos para la cadena láctea: Desarrollo de conglomerados, desarrollo de mercados externos, fortalecimiento institucional, promoción del consumo, creación de un sistema de precios, calidad y funcionamiento del mercado lácteo, formalización de la cadena y modernización tecnológica e integración [5, 6, 7]. Todas estas políticas están encaminadas a garantizar el acceso de los productos nacionales, a mercados externos priorizados.

Además de las anteriores políticas, en Colombia existen Leyes, Decretos y Resoluciones, que estipulan las recomendaciones técnicas para las actividades de cada eslabón, entre las que se encuentran: la Ley 9 de 1979 que menciona desde el artículo 375 al 400, las medidas sanitarias que debe cumplir la leche y sus derivados [8]. La Resolución 2310 de 1986, reglamenta el procesamiento, composición, requisitos, transporte y comercialización de los derivados lácteos [9]. El Decreto 3075 de 1997, establece las Buenas Prácticas de Manufactura BPM, que debe cumplir la industria alimentaria [10]. El Decreto 616 de 2006, señala los requisitos de la producción, así

como los requisitos para el eslabón de acopio o centros de enfriamiento y el eslabón de procesamiento [11]. El Decreto 1880 de 2011 reglamenta al eslabón de producción (Requisitos para la producción primaria) y el eslabón de distribución (Requisitos para la comercialización) de leche cruda para consumo humano directo, [12] y la Resolución 0017 de 2012, que establece el sistema de pago de leche cruda al productor [13].

Con el presente trabajo de investigación, se buscó identificar el cumplimiento o no de las normas técnicas establecidas por los entes gubernamentales, para cada eslabón que conforma la cadena de leche cruda en el Municipio de Popayán.

MÉTODO

La investigación se llevó a cabo en el Municipio de Popayán, departamento del Cauca entre los 2°16' y 2° 33' latitud norte y 73° 25' y 76° 45' longitud oeste [14]. Se encuentra formando parte del Altiplano de Popayán y el Piedemonte de la cordillera central, su cabecera municipal y ciudad capital, está ubicada en el valle de pubenza, a una altura sobre el nivel del mar: de 1.738 m. El municipio limita por el Norte con los municipios de Cajibío y Totoró, por el Este con Totoró y Puracé, por el Sur con Puracé y Sotaró, y por el Oeste con Timbío y El Tambo [15].

La producción de leche es una actividad que realizan los habitantes del Municipio de Popayán, que se ubican en los corregimientos de Los Cerritos, El Charco, Figueroa, Julumito, Vereda de Torres, Santa Rosa, Calibío, La Rejoja, Las Piedras, Santa Bárbara, Samanga, San Bernardino, El Canelo, Quintana y el Casco Urbano de la ciudad de Popayán [15] y en los municipios cercanos a Popayán (Sotaró, Silvia, Totoró, Puracé) [16]; esta leche puede ser consumida en los predios o ser vendida a rutereros, centros de enfriamiento, procesadoras artesanales y consumidores [16]. En el 2009, existían en Popayán, 9 rutereros que recolectaban la leche cruda en las veredas del municipio o en municipios cercanos y que la entregaban a 124 expendedores ambulantes de leche cruda que la comercializaban en la ciudad [16].

La ciudad de Popayán cuenta con 274 barrios distribuidos en 9 comunas, en la ciudad existen 40.332 hogares y una población aproximada de 204.913 habitantes [17], que son potencialmente consumidoras de leche cruda y sus

derivados lácteos. En el 2007, el 75% de la población existente en la ciudad en dicho año, consumía leche líquida y de este porcentaje el 39,7% consumía leche cruda [18].

Búsqueda de información secundaria

Para contar con información actualizada relacionada con la cadena láctea, se buscó la normatividad vigente (políticas, leyes, decretos y resoluciones), se buscaron estudios de la cadena, los eslabones y datos estadísticos a través de internet, en varias páginas web (como los de Ministerio de Salud y de Agricultura y Desarrollo Rural, Instituto Colombiano de Bienestar Familiar - ICBF y Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE, entre otros) y se visitaron instituciones de educación superior (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Universidad Antonio Nariño y Universidad del Cauca) y entes gubernamentales (Secretaría de Salud Departamental y Municipal, Unidad Municipal de Asistencia Técnica - UMATA, Federación Nacional de Ganaderos-Sede Popayán, Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, Secretaría Departamental Agropecuaria y Minera, Corporación Autónoma Regional del Cauca - CRC, entre otras), relacionados de manera directa o indirecta con el sector lácteo.

Recolección de información primaria

Antes de empezar a recolectar la información primaria, fue necesario contactar a los actores por varios medios. A los productores y procesadoras artesanales sin registro mercantil, se convocaron a reuniones de capacitaciones y de divulgación del proyecto, a través de la UMATA municipal, así como a través de los ruteros de la zona y los presidentes de Juntas de Acción Comunal-JAC; los ruteros y expendedores de leche cruda, fueron convocados por medio de los líderes de la Asociación de Expendedores de Leche Cruda en la ciudad de Popayán-ASEXLECP, o bien fueron visitados personalmente en sus lugares de trabajo o llamados telefónicamente a sus lugares de residencia; y para las procesadoras con registro mercantil, se contó con una base de datos suministrada por la Cámara de Comercio del Cauca, que contaba con datos de ubicación, estas fueron visitadas personalmente por el equipo de trabajo.

Con la información secundaria obtenida y la participación de algunos actores, se pudo determinar el comportamiento preliminar de la cadena láctea y de los actores que la conforman, con lo que fue posible diseñar instrumentos de recolección de información

(formatos de encuestas) para cada eslabón (en total se elaboraron 5 formatos).

La información secundaria, también permitió identificar dos universos conocidos para dos eslabones, el eslabón de producción, en total 786 predios (gracias a la base de datos del I ciclo de vacunación contra fiebre aftosa, suministrada por FEDEGAN) y eslabón de consumo, en total 40.332 hogares (datos de la población del casco urbano de Popayán, suministrado por la Alcaldía Municipal), a estos se les calculó una muestra, siendo 258 predios en producción y 2.010 hogares, con consumo.

La realización de las encuestas a los actores (productores, procesadoras sin registro mercantil y ruteros), se llevaron a cabo en las reuniones que convocaron la UMATA y los ruteros o las JAC. Para el eslabón de consumo y producción, debido al alto número de actores a encuestar, la Fundación Alpina contrato encuestadores externos, para que realizaran la labor de diligenciar las encuestas.

En total se contó con información de 2305 actores, siendo 2014 consumidores (hogares), 195 productores, 60 procesadoras artesanales (9 con Registro Mercantil y 51 sin este documento), 36 acopiadores y distribuidores de leche cruda (25 ruteros y 11 expendedores).

Caracterización y análisis de la cadena de leche cruda en el municipio de Popayán

La información obtenida se ingresó en una hoja de cálculo Excel (una para cada eslabón), con el fin de almacenar los datos y posteriormente calcular los valores de las variables previamente definidas.

El análisis de la información por cada eslabón, permitió conocer datos socioeconómicos, flujos de leche, el desarrollo técnico adelantado por los actores para manejar el producto y otra información relacionada con la permanencia del actor en la cadena.

RESULTADOS

Ubicación de los actores

Producción. Los 195 productores encuestados, se ubican en 34 de las 76 veredas del Municipio de Popayán (el 49,7% están en San Ignacio, Quintana, Pisoje Bajo y las Chozas).

Acopio y distribución (ruteros). De los 25 ruteros encuestados, 11 viven en Silvia, 2 en Sotará, 1 en Totoró y 11 en Popayán (2 en veredas y el resto en casco urbano).

Distribución (expendedores). De los 11 expendedores encuestados, 9 viven en la Ciudad de Popayán y 2 en veredas (Sachacoco y Puelenje).

Acopio y procesamiento. De las 60 procesadoras encuestadas, 9 son empresas con registro mercantil, que se encuentran localizadas en la Ciudad de Popayán y 51 son procesadoras sin registro mercantil, de las cuales el 70,9% (36), se encuentran en zona rural distribuidas en 16 veredas.

Consumo. De los 2.014 hogares encuestados en la ciudad de Popayán, el 14,1% se ubica en la comuna 7, el 13,9% en la comuna 2, el 13,6% en la comuna 4, el 11,3% en la comuna 8, el 11,2% en la comuna 3 y el resto en las comunas 1, 5, 6 y 9.

Aspectos técnicos críticos en el eslabón de producción

Los puntos críticos en este eslabón, se encuentran relacionados con las actividades que se deben realizar para obtener y manejar el producto, así como en el desconocimiento generalizado, por parte de los actores, de la normatividad que los regula y la falta de asistencia técnica.

Aspectos relacionados con la obtención y manejo de la leche

El ordeño es realizado de manera manual (89,7% de los predios), en potreros, patios de las casas y corrales (66,2% de las fincas), por una sola persona (69,7% de las fincas), con incumplimiento de la rutina de ordeño (85,2% de los predios) y tardando en promedio 8 minutos/vaca (Figura 1).

Los recipientes empleados para recepcionar, almacenar y transportar la leche, son plásticos (55,4% de los predios) o emplean recipientes plásticos para una actividad y metálicos para otra (21,5% de las fincas), los cuales no son lavados y desinfectados adecuadamente (sólo en el 30,8% los desinfectan utilizando hipoclorito de sodio), para filtrar utilizan elementos de tela o plástico (61,5% de las fincas) (Figura 2). El producto es entregado a temperatura ambiente (86% de las fincas), sin ser sometido a ninguna prueba para determinar su calidad (72,3%

de las fincas) y permanece al borde de la vía carretable, en promedio 70 minutos antes de ser recogido por el comprador.

Figura 1. Obtención de la leche en los predios encuestados.

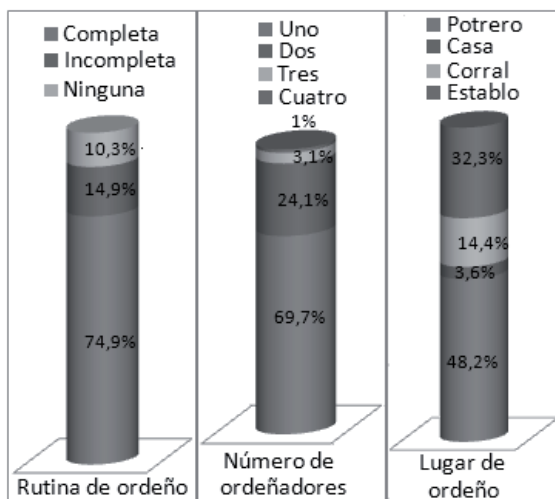
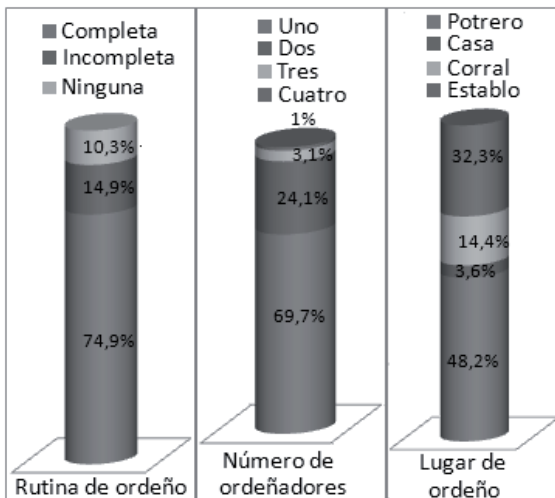


Figura 2. Recipientes utilizados y manejo dado a los mismos.



Además de lo anterior, más del 69% de los encuestados aplica vacunas contra fiebre aftosa y brucelosis y emplean medicamentos como vitaminas/minerales, antibióticos y vermífugos; pero solamente 27 productores llevan registro de todas las practicas que realizan en sus predios, es decir, que existe una alta posibilidad, que en la leche que comercializan se encuentren residuos de medicamentos o metabolitos de los mismos. Otro aspecto crítico, es el hecho que en el 82,1% de los predios, a pesar que se emplean medi-

camentos, existen síntomas de enfermedades (como abortos, retención de placenta, endometritis, mastitis, anestros, tos, diarreas, etc.) de los que no se sabe con certeza, a que enfermedad corresponden y que pueden llegar a afectar la salud del consumidor, si son síntomas relacionados con brucelosis, tuberculosis u otras enfermedades zoonóticas.

Desconocimiento de la normatividad vigente. De los productores encuestados, solamente el 1,5% cumple con las recomendaciones técnicas indicadas en los artículos 4,5 y 6 del Decreto 616 de 2006 y a la vez conoce las recomendaciones técnicas que para el eslabón se presentan en el Decreto 1880 de 2.011.

Falta de asistencia técnica y bajo nivel educativo. Sumado al desconocimiento de las recomendaciones técnicas establecidas por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, en los Decretos 616 de 2006 y 1880 de 2011 y por ello el incumplimiento de normas básicas para la obtención y manejo de la leche, solamente un bajo número de los encuestados, tiene acceso a asistencia técnica (29,7%), a lo que se suma el bajo nivel educativo de los encuestados, pues en promedio tiene estudios hasta 4 grado de primaria.

En resumen, los productores no cumplen con las normas técnicas establecidas en el Capítulo 2 del Decreto 616 de 2006 y a la vez, desconocen todas aquellas exigencias establecidas por los Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural y de la Protección Social, en el Decreto 1880 de 2011.

Aspectos técnicos críticos en el eslabón de acopio y distribución de leche cruda (ruterros y expendedores)

Los puntos críticos del eslabón se encuentran en el aprovisionamiento, transporte y distribución de la leche.

Aprovisionamiento, transporte y distribución de la leche. Origen de la leche acopiada: Como se indicó en el eslabón de producción, los productores desconocen las normas técnicas para obtener la leche, por tal razón, muy seguramente entregan al ruterro un producto que puede contener varios riesgos físicos, químicos y biológicos; es decir, no hay garantía de la calidad del producto. De los 9.495 L/día que acopian los 25 ruterros encuestados, el 74,6% es adquirida por actores que no le brindan las condiciones apropiadas al producto a la hora de venderlo o transformarlo, pues la adquieren vende-

dores ambulantes, expendedores fijos, consumidores y procesadoras artesanales (que generalmente no pasteurizan o realizan proceso de desinfección adecuados) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ubicación de los proveedores de los ruterros y volumen acopiado diariamente.

Municipio	Numero de Ruterros	Numero de Proveedores	Volumen Acopiado (L/Dia)
Popayán	11	169	2.970
Silvia	11	333	5.845
Sotará	1	25	400
Totoró	2	10	280
Total	25	537	9.495

La leche que venden los expendedores proviene en algunos casos de sus propios predios y de los ruterros, es decir, que no la adquieren en lugares donde les garanticen la calidad del producto. Al igual que los ruterros, los expendedores (tanto fijos como ambulantes) entregan la leche a consumidores, los cuales desconocen (como se verá en el eslabón de consumo) la correcta higienización de la leche y la transmisión de enfermedades zoonóticas en el producto.

Vehículos utilizados para el acopio y distribución de la leche. El 100% de los encuestados (25 ruterros y 7 expendedores ambulantes), no cuentan con un vehículo que garantice la calidad del producto, pues emplean: camionetas, motos, bicicletas, camiones y camperos, que en ocasiones utilizan para transportar alimentos para consumo humano y/o productos agropecuarios (concentrados y abonos).

Recipientes utilizados para almacenar y entregar la leche. De los ruterros encuestados (25), el 32% emplea pomas plásticas ala hora de transportar la leche y al momento de distribuirlo el 32% emplea jarras plásticas, el 28% utiliza baldes plásticos.

De los 4 expendedores fijos encuestados, el 100% emplea recipientes plásticos a la hora de entregar la leche al productor (emplea tarros de gaseosa y bolsas plásticas de diferentes tamaños); además de este aspecto crítico, estos actores se ubican en plazas de mercado, lugar donde se venden otros productos y que no cuentan con las condiciones higiénicas para vender esta materia prima.

Uso de la indumentaria exigida por la Secretaría de Salud Municipal. De los Rutereros encuestados, menos del 44% utiliza la indumentaria exigida por la entidad (bata, gorro y tapabocas en buen estado y limpios) y solo el 44% emplea el termómetro, para verificar la temperatura de la leche que recibe y que distribuye.

El 100% (11) de los expendedores encuestados, tampoco utiliza adecuadamente la indumentaria que exige la Secretaría de Salud.

Aspectos técnicos críticos en el eslabón de acopio y procesamiento

Los aspectos críticos de este eslabón están relacionados con el sistema de abastecimiento de la leche, el procesamiento de la misma, la comercialización de los derivados, y el conocimiento técnico y normativo (para procesadoras sin registro mercantil).

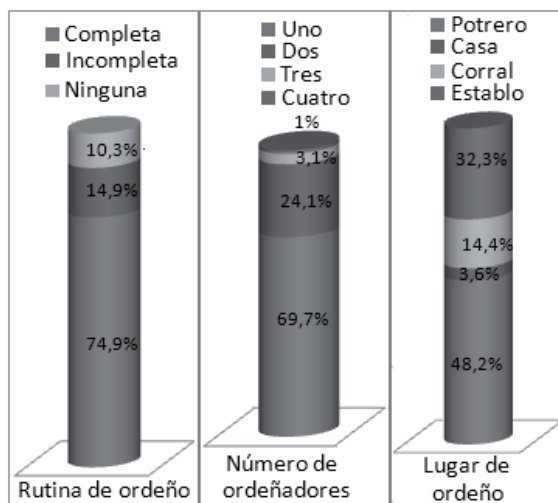
Abastecimiento de leche cruda. Entre los aspectos relacionados con el abastecimiento de leche cruda, se encuentran: el origen del producto y los vehículos utilizados para transportarlo hasta el lugar de procesamiento.

Origen de la leche acopiada. En este eslabón, las procesadoras encuestadas se dividieron en: procesadoras con registro mercantil 9 y procesadoras sin registro mercantil 51.

Como se observa en la Figura 3, de las 9 procesadoras con registro mercantil, el 87,49% reciben la leche de un solo proveedor (el 48,65% lo reciben de rutereros, el 19,42% la compra a expendedores ambulantes y el 19,42% la compra a productores), lo que puede influir en la calidad de los productos elaborados, si la leche recibida no cumple con las calidad que se requiere. En total estas procesadoras transforman 8.490 L/semana.

Las procesadoras sin registro mercantil, se clasificaron en productores-procesadores que equivale al 51% de los encuestados, estos procesan 1591 L/semana, es decir la leche procesada proviene de sus propios predios; el 4% es productor-procesador-acopiador y procesan 392 L/semana y el 43% son acopiadores-procesadoras y procesan 6942 L/semana. Todas las procesadoras sin registro mercantil procesan 8860 L/semana, con el 91,33% se elabora queso campesino y con el resto dulces de leche.

Figura 3. Proveedores de leche para las procesadoras con registro mercantil y las sin registro mercantil.



Es decir, que para los dos grupos de procesadoras, teniendo en cuenta lo expuesto en los eslabones de producción y el de acopio y distribución de leche cruda, los proveedores no pueden garantizar la calidad del producto entregado.

Vehículos utilizados para el transporte de la leche.

Los vehículos utilizados por los proveedores de las procesadoras con registro mercantil, no cumplen con las características exigidas por la normatividad vigente, ni garantizan el adecuado transporte de un alimento tan delicado como la leche; esto debido a que los vehículos utilizados son camioneta, piagios, motos y camiones.

Al igual que en el caso de las procesadoras con registro mercantil, los proveedores de las procesadoras sin registro mercantil les llevan la leche en medios de transporte que no garantizan la calidad de la leche transportada (motos, caballos, camionetas entre otros).

Procesamiento de la leche. Las procesadoras artesanales con registro mercantil, si bien cuentan con procesos estandarizados, solo el 56% realizan una adecuada higienización de la leche antes de procesarla.

De las procesadoras sin registro mercantil, solo el 2% realiza la higienización con las temperaturas y el tiempo que se ajustan a los parámetros de la pasteurización (65°C/30 min o 85°C/15 min), el 9,8% lleva la leche hasta la ebullición y luego la retira y por último el 88,2% de los encuestados no realiza

ningún proceso de higienización; sumado a lo anterior; en otros aspectos de procesamiento, solo el 5,9% realiza alguna prueba para determinar la calidad de la leche antes de procesarla, el 84% realiza las actividades de recepción y procesamiento de la leche y de empaque y almacenamiento de los derivados en las cocinas de las viviendas y el 2% lleva a cabo el procesamiento en patios o lugares similares; el 100% realiza actividades de limpieza antes y después del procesamiento, pero solo el 56,86% realiza desinfección y el 24% considera que el agua que está utilizando en sus actividades de limpieza y desinfección no es potable.

En resumen, en el procesamiento, en los dos grupos de procesadoras, existen falencias técnicas a la hora de elaborar los derivados lácteos, las cuales pueden llegar a afectar la calidad microbiológica y composicional del producto final y con esto posiblemente afectar la salud del consumidor.

Comercialización de los derivados. De las 51 procesadoras sin registro mercantil encuestadas, 45 elaboran queso campesino (utiliza 8092 L/semana), de éstas el 82,3% no pasteuriza la leche antes de procesarla, el 49% emplea hojas de plátano como empaque, el 38% usa bolsa plástica (en grado no alimentario) y el 13% utiliza los dos materiales; además del alto riesgo que representan la no pasteurización, el uso de los empaques indicados tampoco reduce los riesgos físicos, químicos y biológicos a los que puede estar sometido el producto a la hora de almacenarlo, transportarlo y comercializarlo.

Además de lo anterior, en el momento del transporte, el 72% de las procesadoras emplea medios que no garantizan las mínimas condiciones de higiene de los derivados lácteos (el 29% emplea moto, el 22% utiliza vehículos de transporte público y el 21% lo hace a pie).

Conocimiento técnico y normativo. Se considera crítico el conocimiento que tienen los procesadores artesanales sin registro mercantil del manejo higiénico de alimentos, porque solo el 31,25% tiene algún conocimiento al respecto, el 19,61% cuenta con carnet de manipulación de alimentos; además sólo el 9,8% conoce el Decreto 616 de 2006 y el 13,73% dice conocer el de 1997. Es decir, que estos actores realizan su actividad productiva sin conocer las recomendaciones normativas y técnicas que existen para la elaboración, empaque y comer-

cialización de alimentos para consumo humano, lo que podría exponer a riesgos físicos, químicos y biológicos a los productos que ellos están elaborando y comercializando.

Aspectos críticos en el eslabón de consumo

A pesar que el consumidor final puede hacer poco o nada para mejorar la calidad de la leche que el expendedor le entrega, es crítico que el actor no conozca la manera correcta de higienizar la leche cruda, desconozca la transmisión de las enfermedades zoonóticas, por medio del producto sus derivados no pasteurizados y la normatividad relacionada con la producción y comercialización de este alimento.

Conocimientos técnicos y normativos de los consumidores de leche cruda y derivados lácteos artesanales. De los 2014 hogares que se obtuvo información del consumo de leche y derivados lácteos, en el 15,3% consumen leche cruda y el 7,1% toman leche cruda y pasteurizada; de estos actores el 14% no sabe que en la leche cruda, pueden transmitirse enfermedades zoonóticas y solo el 8,6% sabe la manera correcta de higienizar la leche cruda antes de consumirla.

A pesar del desconocimiento generalizado de la normatividad vigente que rige la producción, acopio y procesamiento de la leche cruda, en el 34,8% de los hogares encuestados consumen derivados de origen artesanal y en el 16,1% consumen tanto derivados industriales, como artesanales; el 46,2% de estos actores compran los productos en tiendas, el 24% lo compra a expendedores ambulantes y el 27,1% lo compran en queseras, puntos de fabrica o lo recibe como regalo de familiares.

Además de lo anterior, de los 2014 hogares que suministraron información para el eslabón de consumo, sólo el 5,8% conoce alguna norma relacionada con el procesamiento y comercialización de la leche (el 2,2% conoce el Decreto 616 de 2006 y el 0,5% conoce el Decreto 3075 de 1997).

CONCLUSIONES

Los actores que conforman cada uno de los eslabones de la cadena informal de leche cruda, entrevistados para llevar a cabo el presente trabajo, no cumplen con las normas técnicas y legales establecidas por las au-

toridades, por lo tanto la leche y derivados lácteos que estos actores entregan a los consumidores, pueden actuar como vehículos de agentes contaminantes (especialmente microorganismos).

Todos los actores que laboran bajo la informalidad requieren asistencia técnica y capacitación en temas relacionados con la normatividad, las cuales pueden ser entregados por las entidades encargadas de la inspección, vigilancia y control de los eslabones, como son el Instituto Colombiano Agropecuario-ICA, Unidad Municipal de Asistencia Técnica-UMATA y Federación nacional de Ganaderos-FEDEGAN (eslabón de producción), Secretaria de Salud Municipal, UMATA y el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos-INVIMA (eslabón de acopio y distribución de leche cruda y eslabón de acopio y procesamiento), así como por otras entidades como Universidades u otras entidades públicas (como el Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA) o privadas (Corpocauca, Fundación Alpina etc.) relacionadas con el sector lácteo o la enseñanza.

En forma general, con lo mostrado en los eslabones de producción, acopio y distribución de leche cruda y acopio y procesamiento de leche, se puede afirmar que los consumidores de leche cruda y derivados lácteos no pasteurizados, (especialmente queso campesino), están recibiendo productos que no cumplen con mínimas condiciones de higiene.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a la Fundación Alpina y su equipo de trabajo, a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca, así como a los diferentes actores de la cadena láctea del Municipio de Popayán, que participaron en el desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] PIÑEROS, G., TELLEZ, G. y CUBILLOS, A. La calidad como factor de competitividad en la cadena láctea: Caso cuenca lechera del Alto Chicamocha (Cundinamarca). Bogotá (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, 2009, p. 12-15 y 17-31.
- [2] PINZON, A. Determinación del índice de bacterias mesófilas aerobias presentes en la leche cruda, versus leche pasteurizada, que se comercializa en la zona urbana de la Ciudad de Popayán. Popayán (Colombia): Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Facultad de Ciencias Agrarias, 2006, p. 18-21.
- [3] FUNDACIÓN ALPINA Y ALCADIAS MUNICIPALES DE POPAYÁN, SOTARÁ, SILVIA Y TOTORÓ. Documento actividades de fortalecimiento implementadas en los eslabones de la cadena de la leche cruda para consumo humano directo. Popayán (Colombia): 2012, p. 10, 23, 44, 52 y 54.
- [4] FUNDACIÓN ALPINA, ALCALDIA MUNICIPAL DE POPAYÁN Y UNIVERSIDAD DEL CAUCA. Análisis de mercado. Popayán (Colombia): 2012, p. 32, 41, 71, 74, 78-80, 84 y 92.
- [5] DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL. Política Nacional para mejorar la competitividad del sector lácteo colombiano, Conpes 3675 [online]. 2010. Disponible en: http://www.minagricultura.gov.co/archivos/conpes_3675_sector_lacteo.pdf. [Consultado el 2 de mayo, 2012].
- [6] DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL. Consolidación de la política sanitaria y de inocuidad para las cadenas láctea y cárnica, Conpes 3676. Bogotá (Colombia): 2010, p. 2, 5-6, 41, 61-75.
- [7] CONSEJO NACIONAL LÁCTEO. Acuerdo de Competitividad [online]. 2010. Disponible en internet: <http://www.redlactea.org/documentos/acuerdo%20competitividad.pdf>. [Consultado el 8 de noviembre, 2011].
- [8] COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 09 de 1979. Bogotá (Colombia): Título V, 1979.
- [9] COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Resolución 02310 de 1985. Bogotá (Colombia): 1985, p. 1- 41.
- [10] COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto 3075 de 1997. Bogotá (Colombia): 1997, p. 1- 47.
- [11] COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Decreto 616 de 2006. Bogotá (Colombia): 2006, p. 1-32.
- [12] COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL. Decreto 1880 de 2011. Bogotá (Colombia): 2011, p. 1-9.
- [13] COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR). Resolución 000017 de 2012, por la cual se establece el sistema de pago de la leche cruda al proveedor. Bogotá (Colombia): 2012, p. 1-18.
- [14] COLOMBIA. FEDERACIÓN NACIONAL DE GANADEROS SEDE POPAYÁN. Base de datos del ci-

- clo de vacunación contra fiebre aftosa. Popayán (Colombia): 2011, Datos estimados.
- [15] CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA (CRC). Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Popayán, Capítulo I Dimensión ambiental. Popayán (Colombia): 2002, p. 12, 235.
- [16] ALCALDIAS MUNICIPALES DE POPAYÁN, SILVIA, SOTARA, TORORÓ Y FUNDACIÓN ALPINA. Análisis de mercado. Popayán (Colombia): 2012, p. 104 y 179.
- [17] ALCALDIA MUNICIPAL DE POPAYÁN. Base de datos de la ubicación de los habitantes de Popayán. Popayán (Colombia): 2010, datos calculados.
- [18] GRASS, J.F., VILLADA, H.S. y ACOSTA, H. Leche cruda y leche pasteurizada análisis de la competitividad restringida de la cadena láctea formal y la cadena láctea informal en Popayán-Cauca. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, 2007, p. 60 y 61.

Artículo de revisión

ALIMENTOS FUNCIONALES: IMPACTO Y RETOS PARA EL DESARROLLO Y BIENESTAR DE LA SOCIEDAD COLOMBIANA

FUNCTIONAL FOODS: IMPACT AND CHALLENGES FOR DEVELOPMENT AND WELFARE SOCIETY COLOMBIAN

ALIMENTOS FUNCIONAIS: IMPACTO E DESAFIOS PARA O DESENVOLVIMENTO E BEM-ESTAR DA SOCIEDADE COLOMBIANA

LORENZO FUENTES-BERRIO¹, DIOFANOR ACEVEDO-CORREA,² VICTOR MANUEL GELVEZ- ORDOÑEZ³.

RESUMEN

Se realizó una revisión analítica de los alimentos funcionales, los tipos y la aplicación de estos, la utilización para la salud, el impacto socioeconómico, la inversión y la participación de los países en desarrollo. La evaluación de los hábitos ha sido muy variable a través del tiempo, cada día las exigencias de los consumidores se dirigen más a la búsqueda de nuevos productos con propiedades funcionales que puedan proporcionar un valor nutritivo y otros componentes con actividad fisiológica. El acelerado crecimiento en materia de inversión, producción, y consumo ha despertado el interés económico y empresarial de comunicar a los consumidores los beneficios que estos aportan, de manera que estén bien informados para poder escoger mejor los alimentos que consumen. Como respuesta al creciente interés sobre este tipo de alimentos, han aparecido nuevos productos con componentes activos y propiedades funcionales que aporta un beneficio fisiológico adicional más allá de satisfacer las necesidades nutricionales básicas. Cada día aparecen nuevas ofertas de mercado, habiéndose convertido en una importante fuente de negocio para las empresas del sector alimentario. Ahora

Recibido para evaluación: 9 de Marzo de 2015. **Aprobado para publicación:** 16 de Junio de 2015.

- 1 Universidad de Cartagena. M.Sc. Ciencia y Tecnología de Alimentos, Docente del programa Ingeniería de Alimentos. Cartagena, Colombia.
- 2 Universidad de Cartagena. Ph.D. Ingeniería de Alimentos, Grupo de Investigación NUSCA, Docente del programa Ingeniería de Alimentos. Cartagena, Colombia.
- 3 Universidad de Pamplona. Ph.D. Ciencia y Tecnología de Alimentos, Docente del programa Ingeniería de Alimentos. Pamplona, Colombia.

Correspondencia: lfuentesb@unicartagena.edu.co

el interés se centra en la necesidad de establecer normas que regulen el desarrollo y la publicidad de dichos alimentos.

ABSTRACT

An analytical review of functional foods, types and the application of these, use for health, the socio-economic impact, investment and the participation of developing countries was performed. The evaluation of habits has been highly variable over time, every day demands of consumers are more directed to the search of new products with functional properties that can provide a nutritional value and other components with physiological activity. The rapid growth in investment, production, and consumption has attracted interest economic and business of communicating to consumers the benefits that they bring, so they are well informed to be able to choose better foods consumed. In response to the growing interest on this type of food, have released new products with active ingredients and functional properties that contributes an additional physiological benefit more than basic nutritional needs. Each day there are new offerings market, having become an important source of business for companies in the food sector.

RESUMO

Foi realizada uma revisão analítica dos alimentos funcionais, tipos e a aplicação destes, uso para a saúde, o impacto sócio-económico, investimento e a participação dos países em desenvolvimento. A avaliação dos hábitos tem sido altamente variável ao longo do tempo, todas as demandas do dia dos consumidores são mais direcionadas para a busca de novos produtos com propriedades funcionais que podem fornecer um valor nutricional e outros componentes, com actividade fisiológica. O rápido crescimento no investimento, produção e consumo tem atraído interesse económico e de negócios de comunicar aos consumidores os benefícios que eles trazem, para que sejam bem informados para poder escolher melhores alimentos consumidos. Em resposta ao crescente interesse sobre este tipo de comida, lançaram novos produtos com ingredientes ativos e propriedades funcionais que contribui um benefício fisiológico adicional, mais do que necessidades básicas nutricionais. Cada dia há um novo mercado de ofertas, tendo-se tornado uma importante fonte de negócios para as empresas do sector alimentar.

INTRODUCCIÓN

Los alimentos funcionales son aquellos que contienen componentes biológicamente activos que ejercen efectos beneficiosos y nutricionales básicos en una o varias funciones del organismo y que se traducen en una mejora de la salud o en una disminución del riesgo de sufrir enfermedades [1, 2, 3, 4, 5]. El término Alimento Funcional fue propuesto por primera vez en Japón en la década de los 80's con la publicación de la reglamentación para los "Alimentos de uso específico de salud" (*Foods for Specified Health Use*) o *FOSHU*) y que se refiere a aquellos alimentos procesados los cuales

PALABRAS CLAVE:

Probióticos, Impacto socioeconómico, Aceptación pública, Inversión.

KEY WORDS:

Probiotics, Socioeconomic impact, Public acceptance, Investment.

PALAVRAS-CHAVE:

Probióticos, Impacto sócio-económico, A aceitação do público, De investimento.

contienen ingredientes que desempeñan una función específica en las funciones fisiológicas del organismo humano, más allá de su contenido nutricional [6, 7, 8].

Estos alimentos pueden estar destinados a toda la población o a grupos determinados, que se pueden definir, por ejemplo, según su edad o su constitución genética [7]. Además proporcionan beneficios fisiológicos adicionales más allá de satisfacer las necesidades nutricionales básicas [7,9]. El mercado de los alimentos funcionales se está expandiendo, lo que ilustra una mejor comprensión de la toma de decisiones de los consumidores de estos alimentos para guiar la política alimentaria y las decisiones financieras [10]. Los alimentos funcionales están evolucionando como una estrategia potencial en la prevención de enfermedades crónicas ya que se supone que tiene efectos beneficiosos fisiológicos, estos alimentos tienen bioactivos específicos agregados por sus beneficios para la salud, contienen una cantidad mayor de nutrientes promocionando comodidad a los consumidores. Los alimentos funcionales contienen fitoesteroles de los cuales se ha demostrado que puede reducir el colesterol LDL, y para modular la microbiota intestinal [11]. La industria de los alimentos funcionales está creciendo enormemente con tasas de crecimiento anual de 48% y las estimaciones del mercado global de hasta \$167 mil millones [12]. Dado que los efectos beneficiosos funcionales se derivan de compuestos activos dietéticos (componentes funcionales), el diseño y el desarrollo de estos alimentos requieren estrategias para la definición y optimización ya sea mediante el aumento de la proporción de aquellos que exhiben efectos beneficiosos o bien limitando el contenido de otros que tienen consecuencias negativas para la salud [13]. Los alimentos funcionales tienen una característica particular, dado que sus componentes afectan funciones del organismo de manera positiva, promoviendo un efecto fisiológico o psicológico más allá de su valor nutritivo tradicional [10].

El objetivo de este manuscrito es realizar una revisión analítica de los alimentos funcionales, los tipos y la aplicación de estos, la utilización para la salud, el impacto socioeconómico, la inversión y la participación de América Latina y del Norte.

DESARROLLO DEL TEMA

Tipos de alimentos funcionales

Los alimentos funcionales son el conjunto de alimentos fermentados por bifidobacterias y lactoba-

cilos. A este grupo pertenecen los probióticos [11]. La mayoría de los productos alimenticios probióticos se clasifican como alimentos funcionales, y representan una parte significativa de los mismos. La demanda de alimentos funcionales probióticos está creciendo rápidamente debido a una mayor conciencia de los consumidores. El mercado mundial de alimentos y bebidas funcionales ha crecido de \$ 33 mil millones en 2000 a 176,7 mil millones de pesos en 2013, que representa el 5% del mercado global de alimentos, y es el crecimiento de apuestas de inversión para la industria alimentaria en su conjunto [14, 15]. Se ha estimado que los alimentos probióticos contienen entre el 60% y el 70% del mercado total de alimentos funcionales [16].

Probióticos

La FAO/WHO [17] y [18] definen los probióticos como los microorganismos vivos que cuando se administran en cantidades adecuadas, confieren un beneficio a la salud. Entre los microorganismos, las bacterias del ácido láctico son uno de los principales grupos de probióticos. Actualmente las bacterias prebióticas que se usan ampliamente incluyen los lactobacilos y las bifidobacterias.

Más de 500 productos de alimentos probióticos se han introducido en el mercado mundial durante el último par de décadas [19]. Los efectos de las bacterias beneficiosas (probióticos) o almidones resistentes o de fibra (prebióticos) que estimulan selectivamente un número limitado de bacterias beneficiosas se han evaluado en los estudios de tratamiento de diversas enfermedades. Varias revisiones han examinado la evidencia de prebióticos y probióticos en el tratamiento de la enfermedad alérgica [20, 21].

Los prebióticos

Son carbohidratos de cadena corta, se consideran como tal algunos fructooligosacáridos, polidextrosa y algunos oligosacáridos de la soya y la avena. Se encuentran presentes en alimentos como la cebolla, ajo, banano, espárragos y alcachofa. Algunos de estos prebióticos cuando son incorporados en la dieta alteran la microbiota intestinal disminuyendo los recuentos de coliformes, bacteroides y cocos, aumentando las bifidobacterias hasta en diez veces [22].

Otros efectos promotores de la salud atribuidos a los prebióticos están relacionados con su capacidad de

adherirse a la mucosa intestinal para modular la respuesta inmune del huésped [23, 24].

APLICACIÓN DE LOS ALIMENTOS FUNCIONALES

Crecimiento y desarrollo en la primera infancia

Se refiere al aumento de la cantidad de células de un individuo específico y a los cambios de las dimensiones corporales, los primordiales aspectos a estudiar incluyen los niveles de micronutrientes de la madre embarazada, en especial el hierro y la leche materna. La alimentación temprana radica en que modula el crecimiento, el desarrollo funcional y la funcionalidad del sistema inmune. El crecimiento se puede asociar con el aumento de la talla y el peso, el desarrollo se refiere a los cambios progresivos que tienen lugar en los tejidos y los órganos a medida que van ejerciendo sus funciones específicas [25].

Regulación de los procesos metabólicos básicos

Una alimentación balanceada influye en todos los procesos metabólicos debido a que esto se expresa en función de su aporte energético y a su contenido de hidratos de carbono, grasas y proteínas. Esto es muy importante para distintas enfermedades crónicas, como la obesidad y la diabetes tipo 2, el cual se asocian con enfermedades cardiovasculares e hipertensión arterial respectivamente [25].

Defensa contra el estrés oxidativo

Los estudios científicos han demostrado que los radicales libres se encuentran relacionados en diferentes procesos bioquímicos que causan daño celular [25]. El campo de radicales libres ha sido objeto de expansión masiva en los últimos años. Nuevas datos indican que la generación biológica y la reactividad de los oxidantes se aprovechan para regular numerosos procesos fisiológicos [26, 27].

Fisiología cardiovascular

Las enfermedades cardiovasculares están siendo originadas por varios factores que pueden tener relación con la grasa ingerida. La respuesta clínica se produce a largo plazo, aunque el problema se puede iniciar en la infancia [28]. Las enfermedades

coronarias son un grupo de enfermedades degenerativas en el cual se incluyen la cardiopatía isquémica, la enfermedad de las arterias periféricas, y el accidente cerebrovascular.

Rendimiento cognitivo y mental

Algunos alimentos o componentes alimentarios no guardan relación directa con la enfermedad o la salud, sin embargo pueden modificar el estado de ánimo o mental. Para influir en el comportamiento, el estado emocional y el rendimiento cognitivo los alimentos deben crear una satisfacción a corto plazo y un efecto beneficioso en el bienestar y la salud a largo plazo [25].

Uso de los alimentos funcionales para la salud

El mantenimiento de una salud óptima en la dieta diaria debe contener proporciones adecuados de nutrientes esenciales, esto ha cambiado en los últimos años, puesto que los alimentos contienen sustancias fisiológicamente activas que cumplen de la misma manera que los nutrientes esenciales el cual contribuye a reducir la incidencia de ciertas enfermedades crónicas [29].

Impacto socioeconómico de los alimentos funcionales

En Colombia, el Ministerio de la Protección Social, que es el ente regulador que determina normas y directrices en materia de protección social como en temas de salud pública, determina que para que un alimento pueda tener declaraciones funcionales necesita acoplarse a la Resolución 333 del 2011 que es "por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado nutricional que deben cumplir los alimentos envasados para consumo humano" que especifica en el Artículo 23 cuales son los únicos ingredientes que pueden ser comercializados con declaraciones de salud, las cuales son consideradas como la comunicación que tenga el producto acerca de su beneficio, además de la ley, se resalta el alto costo a nivel de investigación y desarrollo que deben tener las empresas para poder utilizar declaraciones de salud en una de sus marcas. [30].

Los Alimentos Funcionales: una solución factible para prevenir enfermedades cardiovasculares

Ácidos grasos poliinsaturados. Los ácidos grasos son las moléculas más simples en la composición de

los lípidos de la dieta. Pueden estar libres o esterificados, unidos a otras moléculas o formando compuestos más complejos [31]. Este tipo de ácidos tienen propiedades curativas y determinadas funciones fisiológicas y actividades biológicas que van más allá de su papel establecido con el crecimiento, el desarrollo y otras funciones normales del cuerpo. Los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (AGPICL) se han ganado un espacio en el mercado considerablemente alto como un suplemento dietético o nutracéutico [32, 33]. Los AGPICL son componentes dietarios que participan en múltiples procesos fisiológicos, donde cumplen un rol estructural en los fosfolípidos de las membranas celulares y son sustratos para la síntesis de diversos mediadores fisiológicos [28].

Fitoesteroles

Los fitoesteroles son un tipo de compuestos naturales derivados de las plantas, comparten similitud estructural con el colesterol que es el esteroide predominante en animales incluyendo seres humanos. Estos a su vez se clasifican como lípidos funcionales [34]. Las mejores fuentes alimenticias se encuentran en los aceites vegetales incluyendo las nueces y el aceite de oliva, así como los granos enteros y las legumbres [35]. Estos componentes estructurales y funcionales de las membranas celulares de las plantas, son uno de los componentes de la dieta que tienen la capacidad de hacer la absorción del colesterol ineficiente. Muchos ensayos clínicos han demostrado que los fitoesteroles incorporados en diversos alimentos a dosis de aproximadamente 2 g. día⁻¹ reduce sistemáticamente los niveles de colesterol LDL en casi un 9% [36].

Fibra dietética

El valor nutricional de la fibra dietética se ha estudiado ampliamente. Los beneficios para la salud ahora se sabe que están asociados con este tipo de fibra, incluyen un mejor control de los niveles de glucosa en sangre y de colesterol, protección contra enfermedades cardiovasculares [37], regulación de la función intestinal, la promoción de la salud intestinal y la protección contra el cáncer de colon [38]. Se conoce como fibra dietética (FD) a los componentes endógenos de las plantas, como los polisacáridos, que son resistentes a la digestión por las enzimas digestivas en humanos [39, 40]. Existen dos tipos, la fibra soluble y la insoluble [41], este tipo de fibras se consideran como elementos importantes en la dieta humana, debido a que

no pueden ser hidrolizados por las enzimas digestivas humanas [42].

Antioxidantes

Los antioxidantes son sustancias que cuando están presentes en concentraciones bajas con respecto a sustratos oxidables, inhiben o retrasan el proceso de oxidación [43]. El consumo de alimentos ricos en compuestos antioxidantes puede prevenir muchas enfermedades y promover la buena salud [44]. Es evidente que las frutas y verduras, hierbas y especias tienen antioxidantes y que la actividad antioxidante en general se correlaciona con el contenido de fenoles totales en productos naturales [45]. Los antioxidantes se aplican ampliamente en los alimentos para combatir el estrés oxidativo. Algunos de los antioxidantes más abundantes naturales son el ácido gálico y sus derivados, están presentes en muchos alimentos tales como los vinos y té verde [46].

Impacto socioeconómico de los alimentos funcionales

Actualmente el consumidor ha mostrado aceptación hacia los alimentos funcionales puesto que se ha tomado conciencia de los aportes para una buena alimentación y manutención de una adecuada salud, debido a esto la demanda aumenta y la oferta la ha venido supliendo a medida que se desarrollan las investigaciones [52]. En Colombia la situación es diferente, existe un nivel de aceptación alto pero la oferta no ha reaccionado conforme a la demanda, puesto que la mayoría de los consumidores no conocen los beneficios que este tipo de alimento aporta. Legalmente no existe aún una normativa que defina y regularice la producción, verificación científica de las propiedades saludables, desarrollo tecnológico y comercialización de los alimentos funcionales, pero existe la Resolución 333 de 2011 que describe las declaraciones funcionales que deben tener este tipo de productos. Sin embargo algunas normas establecidas regularizan alimentos con propiedades adicionales para la salud, por ejemplo: El Decreto 1944 de 1996 [47] reglamenta la fortificación obligatoria de la harina de trigo con vitamina B1, vitamina B2, niacina, ácido fólico y hierro; La Resolución 11961 de 1989 de la leche cultivada con *Bifidobacterium*; La Resolución 11488 de 1984 que precisa las normas técnicas relacionadas con alimentos infantiles, alimentos o bebidas enriquecidas y alimentos o bebidas de uso dietético, en los cuales se

permite la adición de nutrientes y la denominación de fortificados [48].

Inversión

El lanzamiento en el mercado de nuevos alimentos desarrollados mediante la adición de ingredientes funcionales a los alimentos portadores, ofrece beneficios potenciales para la dieta de los consumidores y nuevas oportunidades de negocio para los productores [49]. Un indicador importante de un suministro sostenible de alimentos es su capacidad para contribuir a la salud pública [50]. Una posible vía para la comercialización de alimentos funcionales utilizada por los fabricantes de alimentos para difundir información acerca de sus productos es la publicidad, que está regulada por la Comisión Federal de Comercio [15].

El potencial en el segmento de alimentos funcionales es grande y la tendencia hacia el lanzamiento de nuevas propuestas es cada vez mayor. La oferta de alimentos funcionales crece a un ritmo del 16% anual en Europa, donde la facturación alcanzó los US 72.300 millones el año 2008. En Estados Unidos y Asia, la comercialización de productos funcionales crece entre 5,7% y 6,0%, respectivamente, cada año, y según los analistas se prevé un incremento mayor para el año 2012 [51, 36].

Alpina, por ejemplo, estudio e invirtió cerca de diez años en el desarrollo de Yox con Defensis®, una bebida láctea con un compuesto de microorganismos llamado Defensis®, que ayuda a reforzar el sistema inmunológico del organismo [52]. Simultáneamente, lanzó Regeneris que trabaja sobre otros aspectos del sistema digestivo, y tiene leches especializadas enriquecidas con fibra y hierro. En el segmento infantil está desarrollando nuevas propuestas, como Alpinette Extremo, Fruto Vitalis, Alpinito diario y papillas especializadas [52].

El lanzamiento de nuevos productos es la estrategia más importante que hoy se registra. Colanta, una empresa importante del sector lácteo del país, decidió aumentar su apuesta por el mercado con el lanzamiento de productos con valor agregado e innovación y acaba de consolidar una inversión cercana a los \$30.000 millones para la ampliación de su planta de yogures [53, 42].

Esta estrategia le sirvió además para lanzar un nuevo producto que competirá en el segmento de los fun-

cionales, pues contiene una adición de Benecol, un ingrediente activo utilizado para reducir el colesterol, con el que busca ampliar su participación en el negocio de yogures, en el cual tiene hoy cerca del 10% de participación. La inversión en este lanzamiento asciende a los \$2.500 millones, según Genaro Pérez, su gerente, [51].

Participación de los países en desarrollo.

El conocimiento de los alimentos funcionales en América Latina es relativamente reciente, en algunas ciudades, las autoridades sanitarias reconocen legalmente las propiedades saludables de determinados alimentos, es el caso de leches adicionadas con fitoesteroles y ácidos grasos de origen vegetal, alimentos con oligofruetosacáridos, productos que contienen proteína de soya o isoflavonas, bebidas energéticas y leches fermentadas con microorganismos de los géneros *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*. Sólo Brasil posee una regulación en la que se define como funcional un componente alimenticio nutritivo o no, que puede producir efectos benéficos para la salud, diferentes de la nutrición básica cuando forman parte de una dieta normal sin ser un medicamento [54, 55]. La Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria Brasileña exige demostrar la seguridad y eficacia de dichos componentes alimenticios para legalizar su publicidad, comercialización y consumo [55].

América Latina es actualmente un potencial productor y consumidor de alimentos funcionales, posee grandes recursos naturales, una amplia biodiversidad de flora y fauna asociada a gran variedad de plantas y frutos comestibles, con potenciales y efectos benéficos para la salud. Depende de los gobiernos diseñar las políticas para fomentar la investigación científica y la producción de nuevos alimentos o componentes alimenticios con propiedades funcionales, teniendo en cuenta que podrían ser una importante alternativa para contribuir a mejorar la calidad de vida de la población [55].

Pese a que en Colombia aún no existe un mercado especializado, esta nueva tendencia del consumidor ha generado un cambio en la dinámica de la industria alimentaria colombiana, estimulando la creación de nuevos productos y tecnologías. El mercado de los alimentos funcionales, es un negocio muy atractivo no solo por los efectos sobre la salud, sino por los márgenes de rentabilidad que maneja, alrededor del 60% [51, 56].

La industria atunera nacional tiene pocos años de haber iniciado operaciones, y se encuentra conformada por nueve empresas, seis de ellas ubicadas en la costa Atlántica, todas estas empresas aportan parte de sus recursos financieros, en el diseño y desarrollo de nuevos productos, en conservas de atún con características funcionales con ácidos grasos poliinsaturados, tales como el ácido eicosapentanoico y el ácido docosahexaenoico orientados a prevenir las enfermedades cardiovasculares para los consumidores colombianos que padecen este tipo de enfermedad. Las empresas atuneras a nivel mundial han realizado una inversión de US 15.000 millones de dólares en la industria enlatadora para este tipo de producto, donde Tailandia es el principal país procesador con volúmenes cercanos a las 740.000TM [57].

Aceptación pública.

Las tendencias mundiales de la alimentación en los últimos años indican un interés acentuado de los consumidores hacia ciertos alimentos, que además del valor nutritivo aporten beneficios a las funciones fisiológicas del organismo humano. Estas variaciones en los patrones de alimentación generaron una nueva área de desarrollo en las ciencias de los alimentos y de la nutrición que corresponde a la de los alimentos funcionales [6]. Apoyados en la necesidad de ofrecer nuevos productos con la connotación de “saludables”, cada día salen al mercado miles de productos procesados funcionales a nivel internacional [58]. Esto significa que cada día los consumidores deben seleccionar entre diversos productos alimenticios, para lo cual requiere de tiempo y de información precisa para tomar las decisiones que considere más convenientes [58, 12].

CONCLUSIÓN

Los alimentos funcionales tienen un efecto benéfico y nutricional en el ser humano, en cuanto a las funciones fisiológicas del organismo pueden ser consumidos como una parte de la dieta equilibrada y acompañados de un estilo de vida saludable, además ofrecen la posibilidad de mejorar la salud o prevenir ciertas enfermedades. Es también importante comunicar a los consumidores los beneficios que estos aportan, de manera que estén bien informados para poder escoger mejor los alimentos que consumen. Un tipo de estos alimentos son los probióticos el cual proporciona be-

neficios para la salud puesto que ayuda a mantener un buen equilibrio aumentando la resistencia contra la invasión de microorganismos patógenos. Además estos alimentos tienen un efecto sobre el desarrollo de la primera infancia, regulación de procesos metabólicos, regulación cognitivo y mental, y para prevenir las enfermedades cardiovasculares.

REFERENCIAS

- [1] AL-SHERAJI, S.A, ISMAIL, A., MANAP, M.Y., MUSTAFA, S., YUSOF, R.M. and HASSAN, F.A. Prebiotics as functional foods: A review. *Journal of Functional Foods*, 5(4), 2013, p. 1542–1553.
- [2] GOETZKE, B., NITZKO, S. and SPILLER, A. Consumption of organic and functional food. A matter of well-being and health?. *Appetite*, 77(1), 2014, p. 96-105.
- [3] OLMEDILLA-ALONSO, B., JIMÉNEZ-COLMENERO, F. and SÁNCHEZ-MUNIZ, F. J. Development and assessment of healthy properties of meat and meat products designed as functional foods. *Meat Science*, 95(4), 2013, p. 919-930.
- [4] YANG, L., HE, Q.S., CORSCADDEN, K. and UDE-NIGWE, C.C. The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production. *Biotechnology Reports*, 5(1), 2015, p. 77–88.
- [5] YOUNESI, E. and AYSELI, M.T. An integrated systems-based model for substantiation of health claims in functional food development. *Trends in Food Science & Technology*, 44, 2015, p. 95-100.
- [6] ALVÍDREZ-MORALES, A., GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, B.E. y JIMÉNEZ-SALAS, Z. Tendencias en la producción de alimentos: alimentos funcionales. *RESPYN*, 3(3), 2002, p. 1-6.
- [7] ARAYA, H. y LUTZ M. Alimentos funcionales y saludables. *Revista chilena de nutrición*, 30(1), 2003, p. 8-14.
- [8] HENNESSY, M. What’s driving growth in functional food and beverages? A convergence of nutrition, convenience and taste [online]. 2013. Disponible: <http://www.nutraingredients-usa.com/Markets/What-s-driving-growth-in-functional-food-and-beverages-A-convergence-of-nutrition-convenience-and-taste> [citado 12 de febrero de 2015].
- [9] DING J., VEEMAN, M.M. and ADAMOWICZ, V.L. Functional food choices: Impacts of trust and

- health control beliefs on Canadian consumers' choices of canola oil. *Food Policy*, in press, 2015.
- [10] EUFIC. Alimentos funcionales [online]. 2006. Disponible: <http://www.eufic.org/article/es/expid/basics-alimentos-funcionales/>[citado 10 de febrero de 2015].
- [11] PRINGSULAKA, O. *et al.* In vitro screening of lactic acid bacteria for multi-strain probióticos. *Livestock Science*. In press, 2015.
- [12] STRATTON, L.M., VELLA, M.N., SHEESHKA, J. and DUNCAN, A.M. Food neophobia is related to factors associated with functional food consumption in older adults. *Food Quality and Preference*, 41(1), 2015, p. 133–140.
- [13] JIMÉNEZ-COLMENERO, F. Potential applications of multiple emulsions in the development of healthy and functional foods. *Food Research International*, 52(1), 2013, p. 64-74.
- [14] GRANATO, D., BRANCO, G.F., NAZZARO, F., CRUZ, A.G. and FARIA, J. A. Functional foods and nondairy probiotic food development: trends, concepts, and products. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 9(3), 2010, p. 292-302.
- [15] HASLER, C.M., BLOCH, A.S., THOMSON, C.A., ENRIONE, E. and MANNING, C. Position of the American Dietetic Association: functional foods. *Journal of the American Dietetic Association*, 104(5), 2004, p. 814-826.
- [16] KOŁOŹYN-KRAJEWSKA, D. and DOLATOWSKI, Z.J. Probiotic meat products and human nutrition. *Process Biochemistry*, 47(12), 2012, p. 1761-1772.
- [17] FAO/WHO Working Group on Drafting Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food. Ontario (Canada): 2002, p. 1-1.
- [18] TRIPATHI, M.K. and GIRI, S.K. Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. *Journal of Functional Foods*, 9, 2014, p. 225–241.
- [19] MARKETS AND MARKETS. Probiotics market by products (functional foods, dietary supplements, specialty nutrients, animal feed), applications and ingredients – Global Trends & Forecasts To 2019 [online]. 2014. Disponible: <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/probiotic-market-advanced-technologies-and-global-market-69.html>[citado 10 de febrero de 2015].
- [20] RAMPPELLI, M. CANDELA, M. SEVERGNINI, E., BIAGI, S. and TURRONI, M. A probiotics-containing biscuit modulates the intestinal microbiota in the elderly. *Journal of Nutrition, Health and Aging*, 17(2), 2013, p. 166–172.
- [21] REN-BIN, T., JIA-KAN, C. and HUI-LAN, C. Can probiotics be used to treat allergic diseases?. *Journal of the Chinese Medical Association*, In press, 2015.
- [22] LEBEER, S., VANDERLEYDEN, J. and DE KEERS-MAECKER, S.C. Host interactions of probiotic bacterial surface molecules: comparison with commensals and pathogens. *Nature Reviews Microbiology*, 8(3), 2010, p. 171-184.
- [23] LEBEER, S., VANDERLEYDEN, J. and DE KEERS-MAECKER, S.C. Genes and molecules of lactobacilli supporting probiotic action. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 72(4), 2008, p. 728-764
- [24] SIBBEL, A. The sustainability of functional foods. *Social Science & Medicine*, 64(3), 2007, p. 554–561.
- [25] ASHWELL, M. Conceptos sobre los alimentos funcionales [en línea]. 2002. Disponible: <http://www.argenbio.org/adc/uploads/pdf/alimentos-funcionalesiLSI.pdf>[citado 8 de febrero de 2014].
- [26] FORMAN, H.J. *et al.* Even free radicals should follow some rules: a Guide to free radical research terminology and methodology. *Free Radical Biology and Medicine*, 78(1), 2015, p. 233-235.
- [27] WINTERBOURN, C.C. Reconciling the chemistry and biology of reactive oxygen species. *Nature Chemical Biology*, 4, 2008, p. 278–286.
- [28] LAMA, R.A. y MORÁIS, A. Las grasas en la alimentación infantil. Importancia de los ácidos grasos poliinsaturados. *Anales de pediatría*, 63(3), 2005, p. 16-23.
- [29] VASCONCELLOS, J.A. Alimentos funcionales. Conceptos y beneficios para la salud [en línea]. 2000. Disponible: http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/ateneo/dossier/alimentos_funcionales/worldfoodscience/alimentosfuncionales.htm [citado 8 febrero de 2015].
- [30] COLOMBIA. MINISTRO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 333. Bogotá (Colombia): 2011, p. 29-37.
- [31] LAVIE, C.A., MILANI, R.V., MEHRA, M.R. and VENTURA, H.O. Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Cardiovascular Diseases. *Journal of the American College of Cardiology*, 54(7), 2009, p. 585–594.
- [32] DEWAPRIYA, P. and SE-KWON, K. Marine microorganisms: An emerging avenue in modern

- nutraceuticals and functional foods. *Food Research International*, 56, 2014, p. 115-125.
- [33] RUBIO-RODRÍGUEZ, N., BELTRÁN, S., JAIME, I., SARA, M., SANZ, M.T. and CARBALLIDO, J.R. Production of omega-3 polyunsaturated fatty acid concentrates: a review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11, 2010, p. 1-12.
- [34] WAI-FUN, L., OI-MING, L., KAMARIAH, L., YAKOB, C.M., MISNI, M. and CHIN-PING, T. Preparation and characterization of water-soluble phytosterols nanodispersions. *Food Chemistry*, 129, 2011, p. 77-83.
- [35] YUANQING, F., ZHANGA, Y., HU, H., CHEN, Y., WANG, R., LI, D., and SONGBAI-LIU, S. Design and straightforward synthesis of novel galloyl phytosterols with excellent antioxidant activity. *Food Chemistry*, 163, 2014, p. 171-17.
- [36] SANCLEMENTE, T., MARQUES-LOPES, I., FAJÓ-PASCUAL, M., COFÁN, M., JARAUTA, E., ROS, E., PUZO, J. and GARCÍA-OTÍN, A. Naturally-occurring phytosterols in the usual diet influence cholesterol metabolism in healthy subjects. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 22(10), 2012, p. 849-855.
- [37] MARTÍNEZ, M.A., DÍAZ, A. and GÓMEZ, M. Effect of different microstructural features of soluble and insoluble fibres on gluten-free dough rheology and bread-making. *Journal of Food Engineering*, 142, 2014, p. 49-56
- [38] Ktenioudaki, A. and Gallagher, E. Recent advances in the development of high-fibre baked products. *Trends Food Science Technology*, 28(1), 2012, p. 4-14.
- [39] FERNÁNDEZ-MIRANDA, C. La fibra dietética en la prevención del riesgo cardiovascular [en línea]. 2010. Disponible: http://www.nutricion.org/publicaciones/revista_2010_02/NUTRICION-30-2.pdf. [citado 7 febrero de 2015].
- [40] SALAS-SALVADÓ, J., BULLO, M., PEREZ, H. and ROS, E. Dietary fibre, nuts and cardiovascular diseases. *British Journal of Nutrition*, 96(S2), 2006, p. S45-S51.
- [41] FOSCHIA, M., PERESSINI, D., SENSIDONI, A., BRENNAN, M.A. and BRENNAN, C.S. Synergistic effect of different dietary fibres in pasta on *in vitro* starch digestion?. *Food Chemistry*, 172, 2015, p. 245-250.
- [42] DASHTI, B., AL-AWADI, F., KHALAFAWI, M.S., SAWAYA, W. and AL-AMIRI, H. Soluble and insoluble dietary fibre in thirty-two Kuwaiti dishes. *Food Chemistry*, 83(4), 2003, p. 557-561.
- [43] AKTUMSEKA, A., ZENGINA, G., GULER, G.O., ÇAKMAKÇI, Y.S. and DURAN, A. Antioxidant potentials and anticholinesterase activities of methanolic and aqueous extracts of three endemic *Centaurea L.* species. *Food and Chemical Toxicology*, 55(1), 2013, p. 290-296
- [44] DINI, I., TENORE, G.C. and DINI, A. Effect of industrial and domestic processing on antioxidant properties of pumpkin pulp. *LWT - Food Science and Technology*, 53(1), 2013, p. 382-385.
- [45] SCHAICH, K.M., TIAN, X. and XIE, J. Hurdles and pitfalls in measuring antioxidant efficacy: a critical evaluation of ABTS, DPPH, and ORAC assays. *Journal of Functional Foods*, 14(1), 2015, p. 111-125
- [46] FU, Y., ZHANGA, Y., HU, H., CHEN, Y., WANG, R., LI, D. and LIU, S. Design and straightforward synthesis of novel galloyl phytosterols with excellent antioxidant activity. *Food Chemistry*, 163, 2014, p. 171-177.
- [47] COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. DECRETO 1944 de 1996. Bogotá (Colombia): 1996, p. 2-3.
- [48] RESTREPO, A.M. y CORTÉS, M. Desarrollo de nuevos productos de uchuva y fresa con valor agregado: desarrollo y Transversalidad. *Serie Lallista Investigación y Ciencia*, 1, 2012, p. 249-289.
- [49] ANNUNZIATA, A. and VECCHIO, R. Consumer perception of functional foods: A conjoint analysis with probióticos. *Food Quality and Preference*, 28, 2013, p. 348-355.
- [50] KLOPPENBURG, J., LEZBURG, S., DE MAESTRO, K., STEVENSON, G. and HENDRICKSON, J. Tasting food, tasting sustainability: Defining the attributes of an alternative food system with competent, ordinary people. *Human Organization*, 59(2), 2000, p. 177-186.
- [51] REVISTA DINERO. Alimentos funcionales: crece la apuesta [en línea]. 2009. Disponible: <http://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/alimentos-funcionales-crece-apuesta/85848>[citado 10 de febrero de 2015].
- [52] ALPINA. Yox con defensis® [en línea]. 2012. Disponible: <http://www.alpina.com.co/productos/yox-defensis/>[Citado 10 de febrero de 2015].
- [53] COLANTA. Yogur con Benecol® [en línea] 2015. Disponible: <http://www.colantafunciona.com/novedades/39-ultimas-noticias-de-interes/140-yogur-benecol-reduce-colesterol-ldl>[citado el 7 de febrero de 2015].

- [54] LAJOLO, F.M. Functional foods: Latin American perspectives. *British Journal of Nutrition*, 88(S2), 2002, p. S145-S150.
- [55] SARMIENTO, L.A. Alimentos funcionales, una nueva alternativa de alimentación. *Revista Orinoquia*, 10, 2006, p. 16-23.
- [56] OSORIO, J.O. Influencia de diferentes cepas probióticas y el tiempo de fermentación en el contenido de ácido linoléico conjugado y el perfil de ácidos grasos durante el almacenamiento del kumis elaborado con dos sustratos diferentes [Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos]. Medellín (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, 2010, 122 p.
- [57] ZULUETA, L.A. y BECERRA, A. El Mercado del Atún en Colombia [en línea] 2013. Disponible: <http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/11445/205/1/El-mercado-del-at%C3%BAn-en-Colombia-DOCUMENTO-MERCADO-DEL-ATUN-FEDESARROLLO-FINAL-MAYO-17-20131.pdf>[citado el 11 de Junio de 2015].
- [58] SEDÓ, P. El mercado de los alimentos funcionales y los nuevos retos para la educación alimentaria – nutricional. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 11(20), 2002, p. 18-25.