

**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 Biología 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

**Biología 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. 1 Enero \_ junio 2015

**Héctor Samuel Villada - Ph.D.**  
*Editor de la Revista*

**COMITÉ EDITORIAL**

- |  |   |
|--|---|
| <b>Héctor Samuel Villada - Ph. D.</b><br>Universidad del Cauca<br>Departamento de Agroindustria        | <b>Jhon Wilder Zartha S. - M. Sc.</b><br>Univerisdad pontificia bolivariana (UPB)       |
| <b>Silvio Andres Mosquera M. Sc.</b><br>Universidad del Cauca<br>Departamento de Agroindustria         | <b>Michael Peters – Ph.D.</b><br>Universidad de Giessen – CIAT                          |
| <b>Sandra Morales Velasco M.Sc.</b><br>Universidad del Cauca<br>Departamento de Ciencias Agropecuarias | <b>Ángel Pérez – Ph. D.</b><br>Universidad de Holguín de Cuba                           |
| <b>Consuelo Montes M. Sc.</b><br>Universidad del Cauca<br>Departamento de Ciencias Agropecuarias       | <b>José Ángel Gómez Ruiz – Ph.D</b><br>Universidad Autónoma de Madrid,España            |
| <b>Diana Paola Navia, M. Sc.</b><br>Universidad San Buenaventura<br>Cali, Colombia                     | <b>Maite del Pilar Rada. Ph. D.</b><br>Universidad del Cauca<br>Departamento de Química |
|  | <b>Jaime Ricardo Rosero Noguera - Ph.D.</b><br>Universidad Nacional – Sede Medellín     |

**COMITÉ CIENTÍFICO**

- |   |   |
|---|---|
| <b>Nelson Vivas Quila – Ph. D.</b><br>Universidad del Cauca<br>Departamento de Ciencias Agropecuarias | <b>Vijaya Raghavan - Ph. D.</b><br>Universidad de McGill de Canadá                                    |
| <b>Misael Cortés Rodríguez - Ph. D.</b><br>Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín           | <b>Byong Lee - Ph. D.</b><br>Universidad de McGill de Canadá  |
| <b>Alfredo Ayala Aponte Ph. D.</b><br>Universidad del Valle<br>Escuela de Ingeniería de Alimentos     | <b>Francisco J. Moreno Andújar - Ph.D.</b><br>Instituto de fermentaciones industriales Madrid, España |
| <b>Xuebing Xu - Ph. D. Biocentrum.</b><br>Instituto de Biotecnología de Dinamarca                     | <b>Maria del Mar Villamiel G. Ph.D.</b><br>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

## **UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

*Rector*

**JUAN DIEGO CASTRILLON ORREGO**

*Vicerrector Académico*

**EDGAR VELASQUEZ RIVERA**

*Vicerrector Administrativo*

**ZORAIDA RAMIREZ**

*Vicerrector de Investigaciones*

**HUGO COSME VARGAS**

*Vicerrector de Cultura y Bienestar*

**PALOMA MUÑOZ**

*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 GONZALES**

*Jefe Departamento Ciencias Agropecuarias*

**DIEGO VERGARA COLLAZOS**

*Coordinador Programa Ingeniería Forestal*

**JUAN CARLOS VILLALBA MALAVER**

*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 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](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

- 10 **Artículos de Investigación Científica y Tecnológica**
- 10 **COMPARACION GENETICA DE TRES FUENTES DEL CACAO *Theobroma cacao* L., MEDIANTE EL USO DE MARCADORES MICROSATELITES**  
Ximena Ruiz-Erazo, Martha Almanza-Pinzón, Yacenia Morillo-Coronado, Ana Cruz Morillo-Coronado, Alonso González, Álvaro Caicedo-Arana, Jaime Eduardo Muñoz-Flores
- 19 **CRECIMIENTO DE *Lactobacillus casei ssp casei* ATCC 393 EN SUERO CLARIFICADO**  
John Alexander Velasquez-Tellez\*, German Giraldo-Giraldo, Leonardo Padilla-Sanabria, Yula Mercedes Giraldo-Castaño.
- 28 **DETERMINACIÓN DE CONGÉNERES EN ALCOHOL EXTRA NEUTRO RECTIFICADO EMPLEADO EN LA ELABORACION DE BEBIDAS ALCOHÓLICAS**  
Fernando José Hernández, Victoria Eugenia Recalde, Ayda Marcela Erazo
- 38 **EFFECTO DE LA GELATINIZACIÓN DE LA HARINA DE YUCA SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE BIOPLÁSTICOS**  
Diana Paola Navia-Porras\*, Alfredo Adolfo Ayala-Aponte, Héctor Samuel Villada-Castillo
- 45 **EFFECTO DEL PRETRATAMIENTO QUÍMICO Y ENZIMÁTICO EN LA DESLIGNIFICACIÓN DE BIOMASA AGROINDUSTRIAL TÍPICA DEL CAUCA**  
Alvaro Javier Pantoja-Matta, Milton Fernando Cuatin-Inguilán, Deyanira Muñoz-Muñoz
- 54 **ANÁLISIS DE LOS PATRONES ESPACIALES DEL PAISAJE EN UN CORREDOR BIOLÓGICO DEL MACIZO COLOMBIANO CAUCA.**  
María Camila Orozco M., Luis Eduardo Ceron R., Juan Pablo Martínez I., Román Ospina M..
- 64 **EFFECTO DEL MARINADO CON NaCl Y TRIPOLIFOSFATO-SÓDICO SOBRE LAS PROPIEDADES BROMATOLÓGICAS EN CARNE DE CABRA**  
Ricardo Peña F., Daniel Salvador Duran O., Luis Carlos Baleta M.
- 73 **EVALUACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS UTILIZANDO COMO INDICADORES PLANTAS DE LECHUGA Y REPOLLO EN POPAYAN, CAUCA**  
Juan Manuel Muñoz C.; Javier Andrés Muñoz P. Y Consuelo Montes R.<sup>2</sup>
- 83 **FACTIBILIDAD DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLAS DE AJONJOLÍ (*Sesamum indicum* L.) EN BOLSAS SILOBAG**  
Yesid Alejandro Marrugo-Ligardo, Lorenzo Fuentes-Berrio, Piedad Margarita Montero-Castillo, Diofanor Acevedo-Correa
- 90 **OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA A BASE DE ALMIDÓN HIDROXIPROPILADO PRODUCIDA POR EXTRUSIÓN SOPLADO**  
Vicente Ortiz, Reinaldo Velasco, Alejandro Fernandez, Mario Enriquez, Diego Roa.
- 99 **RESPUESTA DEL PASTO RAIGRASS AUBADE (*Lolium sp.*) A DOSIS DE SILICIO EN INTERACCION CON DIFERENTES DOSIS DE NPK**  
Diana Legarda-López, Galo Benavides-Cuesta<sup>1</sup>, Hugo Ruiz-Eraso
- 110 **UCHUVA MÍNIMAMENTE PROCESADA IMPREGNADA AL VACÍO CON CALCIO Y VITAMINAS B<sub>9</sub>, D Y E**  
Fabiola Peña, Misael Cortés-Rodríguez, Jesús Humberto Gil-González

- 120**      **Artículos de revisión de Tema**
- 120**      **CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES Y ANTIOXIDANTES DE LA FRUTA CURUBA LARGA (*Passiflora mollissima* Bailey)**  
Diana Carolina Chaparro R., María Elena Maldonado C., María Camila Franco L., Luz Amparo Urango M.
- 129**      **AGRICULTURA SOSTENIBLE EN ECOSISTEMAS DE ALTA MONTAÑA**  
Diana Marcela Ruiz O., Juan Pablo Martínez I., Apolinar Figueroa C.
- 139**      **Artículo Reporte de Caso**
- 139**      **ANÁLISIS COMPARATIVO DE PERFILES DE TEXTURA DE QUESOS FRESCOS DE LECHE DE CABRA Y VACA**  
Luis Enrique Guzmán C., Candelaria Tejada T., Yeinis Johana De La Ossa M., Cesar Augusto Rivera R.

## Editorial

El uso de la biomasa es de interés en los sectores Agroindustrial, Agropecuario y Ambiental y se considera como fuente de materia prima para el desarrollo de nuevos productos eco-sostenibles, eficientes y amigables con el medio ambiente, generados a partir de residuos vegetales, animales y microbiológicos. Los esfuerzos en investigación se enfocan al aprovechamiento como fuente de energía, considerando la escasez de combustibles fósiles. Sin embargo, la adecuación requiere pretratamientos que garanticen la eficiencia de las operaciones y los procesos en la generación de otros productos, lo que indica una brecha en el conocimiento y una oportunidad de los sectores académicos e industriales para enfocar la investigación en el pretratamiento de la biomasa y alcanzar las condiciones óptimas de los procesos.

Considerando que después del pos conflicto, en el país y en el Departamento del Cauca en los sectores rurales y urbanos se tendrá población discapacitada con bajo nivel de educación para realizar labores del campo, manejo de procesos ineficientes con el incremento de residuos, mayor demanda de energía y de recursos naturales; los desarrollos y avances en Ciencia y Tecnología que lideren los grupos de investigación de las universidades deben enfocarse en soluciones para esta población. Específicamente, las Ingenierías de Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca, tendrán el reto de ofrecer soluciones, desde el diseño curricular de los programas de pregrado y Postgrado en temáticas prioritarias como es el aprovechamiento de la biomasa de los residuos.

Esta edición de la Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial contiene artículos de investigación, revisión y reporte de caso, acordes con las normatividad nacional e internacional para garantizar la validez y el rigor científico. En el área de Biotecnología, se tienen artículos como “Crecimiento de *Lactobacillus casei ssp casei* ATCC 393 en suero clarificado” que evalúa parámetros de fermentación para maximizar la producción de biomasa a partir del crecimiento de *Lactobacillus* en suero de leche, “Comparación genética de tres fuentes del cacao *Theobroma cacao* L., mediante el uso de marcadores microsatélites” que analiza la diversidad y estructura genética de tres poblaciones de Cacao, del Suroccidente Colombiano, utilizando marcadores de microsatélites.

En las áreas Agroindustrial y Agropecuaria, se tienen manuscritos relacionados con “Uchuva mínimamente procesada impregnada al vacío con calcio y vitaminas B<sub>9</sub>, D Y E”, “Respuesta del pasto Raigrás Aubade (*Lolium sp.*) a dosis de silicio en interacción con diferentes dosis de NPK” que se presenta la fertilización del forraje con silicio y NPK para lograr buena alimentación para el ganado y eficiencia económica para el ganadero, “Factibilidad de almacenamiento de semillas de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) en bolsas silobag” que evalúa las características bromatológicas de semillas de ajonjolí empacadas y almacenadas en diferentes condiciones y propone una alternativa de conservación para los pequeños productores, “Efecto del Pretratamiento Químico y Enzimático en la Designificación de Biomasa Agroindustrial típica del Cauca” para la obtención de celulosa en residuos lignocelulósicos, “Efecto del marinado con NaCl y tripolifosfato-sódico sobre las propiedades bromatológicas en carne de cabra” como estrategia de tecnificación para la conservación de carne de cabra de raza santandereana, marinada y almacenada en refrigeración, “Efecto de la gelatinización de la harina de yuca sobre las propiedades mecánicas de bioplásticos” mediante termo-compresión para evaluar las características funcionales como empaques para alimentos.

El manuscrito “Obtención de una película a base de almidón hidroxipropilado producida por extrusión soplado” presenta la problemática de la degradación de plásticos convencionales y el impacto ambiental, mediante la obtención de películas a base de almidón de yuca por el proceso de plastificación, técnica de extrusión de tornillo simple. “Evaluación de abonos orgánicos utilizando como indicadores plantas de lechuga y repollo en Popayán, Cauca” muestra el aprovechamiento de residuos de cosecha y plaza de mercado como abonos orgánicos, tomando como indicadores de calidad del compost las plantas de repollo y de lechuga, “Análisis de los patrones espaciales del paisaje en un corredor biológico del macizo Colombiano Cauca” que propone un corredor biológico a partir del análisis de imágenes satelitales para el manejo, conservación y usos, recuperación y restauración de ecosistemas.

**M.Sc. Deyanira Muñoz Muñoz**  
Docente Facultad de Ciencias Agrarias  
Mayo 2015

## Artículos de Investigación Científica y Tecnológica

COMPARACION GENÉTICA DE TRES FUENTES  
DEL CACAO *Theobroma cacao* L., MEDIANTE  
EL USO DE MARCADORES MICROSATELITESGENETIC COMPARISON FROM THREE  
SOURCES OF COCOA *Theobroma cacao*  
L. USING MICROSATELLITES MARKERSCOMPARAÇÃO GENÉTICA ENTRE  
TRÊS FONTES DE CACAU *Theobroma*  
*cacao* L., UTILIZANDO MARCADORES  
MICROSSATÉLITES

XIMENA RUIZ-ERAZO<sup>1</sup>, MARTHA ALMANZA-PINZÓN<sup>2</sup>, YACENIA MORILLO-CORONADO<sup>3</sup>,  
ANA CRUZ MORILLO-CORONADO<sup>4</sup>, ALONSO GONZÁLEZ<sup>5</sup>, ÁLVARO CAICEDO-ARANA<sup>6</sup>,  
JAIME EDUARDO MUÑOZ-FLORES<sup>7</sup>

## RESUMEN

*Las poblaciones nativas de cacao Theobroma cacao L., son valoradas en mercados internacionales por sus características organolépticas propias de los cacaos de alta calidad. Sin embargo, esta calidad está amenazada por híbridos más pro-*

**Recibido para evaluación:** 11 de Agosto de 2014. **Aceptado para publicación:** 6 de Mayo de 2015

- 1 Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de investigación en Diversidad Biológica. Magister en Ciencias Agrarias. Palmira, Colombia.
- 2 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias. Doctorado en Ciencias Agropecuarias. Popayán, Colombia.
- 3 Universidad de los Llanos, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Doctorado en Ciencias Agropecuarias. Villavicencio, Colombia.
- 4 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Doctorado en Ciencias Agropecuarias Tunja, Boyacá.
- 5 CORPOICA C.I. Cundinamarca, Director de Investigación y transferencia Tecnológica. Doctorado en Fisiología de plantas. Cundinamarca, Colombia
- 6 CORPOICA. C.I. Palmira, Investigador. Master Universitario en Citricultura. Palmira, Colombia.
- 7 Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Director Grupo de Investigación en Diversidad Biológica. Doctorado en Ciencias Agropecuarias. Palmira, Colombia.

**Correspondencia:** ximenaruizerazo@gmail.com.

ductivos provenientes de material genético foráneo que gradualmente han ido reemplazando las poblaciones nativas. La diversidad y estructura genética de 165 materiales de cacao provenientes de la región de Tumaco y los bancos de germoplasma de Corpoica y Fedecacao fue evaluada mediante el análisis de doce loci ubicados por marcadores microsatélites. Los datos se procesaron mediante los programas: Arlequín ver. 3.5 y TFPGA ver. 1.3. Los marcadores fueron altamente discriminantes, informativos y representativos para la especie. Los promedios de heterocigosidad esperada ( $H_e$ ) y observada ( $H_o$ ) fueron 0,73 y 0,72, respectivamente, indicando alta variabilidad genética y alta tasa de heterocigotos en las tres poblaciones analizadas. El valor del índice de fijación  $F_{ST} = 0,0355$  señala mínimos niveles de diferenciación genética entre las poblaciones y el promedio  $N_m = 6,80$  indica que existe un elevado intercambio de genes. El análisis del clúster jerárquico utilizando agrupamiento UPGMA permitió confirmar la similitud genética existente entre las poblaciones.

## ABSTRACT

*Cocoa Theobroma cacao L. native populations are valued in international markets because their organoleptic characteristics typical of the high quality cocoas. Never the less, this quality is threatened by more productive hybrids, coming from foreign genetic material which has been replacing gradually the native populations. The genetic diversity and structure of 165 cocoa lines from Tumaco region and the germplasm banks of the Corpoica and Fedecacao institutions, was assessed through twelve loci analysis located by microsatellites markers. Resulting data were processed by the Arlequin ver. 3.5 and TFPGA ver. 1.3 software. Markers were highly discriminating, informative and representative for the species. The average of expected ( $H_e$ ) and observed ( $H_o$ ) heterozygosity were 0,73 and 0,72 respectively, indicating high genetic variability and high rate of heterocygotes in the analyzed populations. The fixation index value  $F_{ST} = 0,0355$  indicates minimum levels of genetic differentiation among the populations, and the average  $N_m = 6,80$  indicates a highly exchange of genes existence. The hierarchical cluster analysis using UPGMA grouping allowed confirming the existing genetic similarity among populations.*

## RESUMO

*As populações nativas de cacau Theobroma cacao L., são valorizadas nos mercados internacionais por suas características organolépticas próprias dos cacaos de alta qualidade. No entanto, esta qualidade é ameaçada por plantas mais produtivas de material genético estrangeiro que têm sido gradualmente substituindo as populações nativas. A diversidade e estrutura genética dos 165 materiais de cacau da região de Tumaco e os bancos de germoplasma de CORPOICA e FEDECACAO foi avaliada através da análise de doze loci localizados por marcadores microsatélites. Os dados foram processados utilizando os programas: Harlequin ver. 3.5 e TFPGA ver. 1.3. Os marcadores foram altamente exigentes, informativos e representativos para a espécie. A média de heterozigosidade esperada ( $H_e$ ) e observada ( $H_o$ ) foram 0,73 e 0,72, respectivamente, indicaram*

## PALABRAS CLAVE:

Diversidad genética, Marcadores moleculares, Germoplasma.

## KEY WORDS:

Genetic diversity, Molecular markers, Germplasm.

## PALAVRAS-CHAVE:

Diversidade genética, Marcadores moleculares, Germoplasma.

*alta variabilidade genética e alta taxa de heterozigotos nas três populações analisadas. O valor do índice de fixação  $F_{ST} = 0,0355$  indica níveis mínimos de diferenciação genética entre as populações e os  $N_m$  média = 6,80 indica uma elevada troca de genes. O análise de cluster hierárquico utilizando análise de agrupamento confirmou a similaridade genética existente entre as populações*

## INTRODUCCIÓN

El papel de la diversidad genética como aspecto fundamental para el mejoramiento genético es indiscutible. La necesidad de cuantificar y de conservar la biodiversidad en general y en particular la de los recursos genéticos agropecuarios locales, fue reconocida a través del Convenio sobre Diversidad Biológica [1]. Sin embargo, estos recursos han venido desapareciendo ante la expansión de los sistemas de producción intensivos y basados en el monocultivo, que promueven el uso de cultivares comerciales de reducida diversidad genética. Por lo tanto, las estrategias de conservación de germoplasma *in situ* y *ex situ* dependen del conocimiento, localización, distribución y extensión de la diversidad genética [2]. El cacao *Theobroma cacao* L. es nativo del trópico americano. Cuatrecasas (1964) [3] estableció que el género *Theobroma* proviene de la cuenca amazónica, bordeando zonas del Ecuador y Colombia, se dispersó a lo largo de la cordillera andina, hasta el Caribe y el Pacífico.

Según Cheesman (1944) [4] en esta región se diferencian dos grandes grupos de cacao, los criollos y los forasteros, los primeros considerados de alta calidad y buen sabor, y los segundos con características de precocidad y resistencia a enfermedades. *Theobroma cacao* L es la especie de mayor valor comercial a nivel mundial y una de las 22 especies que constituyen el género *Theobroma*; también se comercializan pero a nivel local *T. bicolor*, *T. grandiflorum* S. (copuazú) y *T. angustifolium* (cacao de montaña) [5].

La industria del cacao es esencial desde la perspectiva social, el cultivo está vinculado por sus requerimientos edafoclimáticos a países en desarrollo localizados en la franja ecuatorial de América, Asia y África y de éste dependen una gran cantidad de agricultores [6]. La importancia del cacao radica en las almendras que se extraen por mazorca (30 a 40 semillas), al ser utilizadas ampliamente en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. La industria genera divisas por unos

73.000 millones de dólares y de esta dependen cerca de 60.000 empleos en el mundo [7].

Los marcadores de microsatélites son una poderosa herramienta de discriminación de genotipos por sus características: codominantes, multialélicos y reproducibles [8]. El estudio analizó la diversidad y estructura genética de tres poblaciones de cacao *Theobroma cacao* L., del suroccidente colombiano, utilizando marcadores de microsatélites.

## MÉTODO

### Material vegetal

La investigación se realizó con 165 materiales de cacao: 93 provenientes del municipio de Tumaco (Nariño), 30 del Banco de Germoplasma de Corpoica (Palmira, Valle del Cauca) y 42 de la Granja Experimental Tierradura de Fedecacao (Miranda, Cauca). Fueron colectadas de 3 a 4 hojas jóvenes por ejemplar en excelente estado fitosanitario, transportadas en sílica-gel y maceradas en nitrógeno líquido hasta obtener 0,1 g de polvo fino para su almacenamiento a  $-80^{\circ}\text{C}$ . El estudio se realizó en el Laboratorio de Biología Molecular de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.

### Extracción y cuantificación del ADN

La extracción del ADN genómico se realizó siguiendo el protocolo de Doyle y Doyle (1990) (modificado por Focus, 1995) [9]. El ADN se cuantificó comparando las muestras con concentraciones conocidas de ADN del bacteriófago Lambda; las muestras fueron observadas en geles de agarosa al 0,8% teñidos con bromuro de etidio a una concentración final de  $0,5 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$  y visualizadas en un transiluminador KODAK.

### Genotipificación de los microsatélites

El ADN de cada muestra se diluyó a 5 ng en un volumen de  $50 \mu\text{L}$ . Los 12 oligonucleótidos sintetizados por Gentech (Genetics & Technology) fueron seleccionados de los estudios realizados por Lanaud *et al* (1999) [10] (cuadro 1). Las pruebas de amplificación por PCR se realizaron en las siguientes condiciones: volumen final  $12,5 \mu\text{L}$ , que contenían: 1 U de Taq-polimerasa (Thermo scientific), 10 ng ADN, 0,2 mM de dNTPs en mezcla, 2 mM  $\text{MgCl}_2$ , 50 mM KCl, 10 mM Tris-HCl con pH 8,3 y 2 pmol de cada oligonucleótido. El ciclo de amplificación utilizado fue de

**Cuadro 1.** Características de los marcadores de microsatélites utilizados en materiales de *Theobroma cacao* L.

| Iniciador | Forward<br>Reverse (Secuencia) 5' – 3'                              | Tamaño de<br>Alelos (pb) | Na    | Cr | T <sub>a</sub> (°C) | Motif.              |
|-----------|---|--------------------------|-------|----|---------------------|---------------------|
| MTcCIR 3  | F: CAT CCC AGT ATC TCA TCC ATT CA<br>R: CTG CTC ATT TCT TTC ATA TCA | 206 – 247                | 6-15  | 2  | 53                  | (CT)20 (TA)21       |
| MTcCIR 7  | F: ATG CGA ATG ACA ACT GGT<br>R: GCT TTC AGT CCT TTG CTT            | 148-163                  | 6-11  | 7  | 51                  | (GA)11              |
| MTcCIR 11 | F: TTT GGT GAT TAT TAG CAG<br>R: GAT TCG ATT TGA TGT GAG            | 288 – 317                | 11-14 | 2  | 50                  | (TC)13              |
| MTcCIR 12 | F: TCT GAC CCC AAA CCT GTA<br>R: ATT CCA GTT AAA GCA CAT            | 188 – 251                | 5-10  | 4  | 54                  | (CATA)4N18 (TG)6    |
| MTcCIR 15 | F: CAG CCG CCT CTT GTT AG<br>R: TAT TTG GGA TTC TTG ATG             | 221-256                  | 7-11  | 1  | 52                  | (TC)19              |
| MTcCIR 25 | F: CTT CGT AGT GAA TGT AGG AG<br>R: TTA GGT AGG TAG GGT TAT CT      | 150 – 185                | 13    | 6  | 54                  | (CT)21              |
| MTcCIR 26 | F: GCA TTC ATC AAT ACA TTC<br>R: GCA CTC AAA GTT CAT ACT AC         | 282 – 307                | 5-10  | 8  | 54                  | (TC)9C(CT)4TT(CT)10 |
| MTcCIR 30 | F: TGAAGATCCTACTGTTGAG<br>R: TGATAATAACTGCTTAGTGG                   | 178-192                  | 6     | 9  | 56                  | (CA)11              |
| MTcCIR 33 | F: TGG GTT GAA GAT TTG GT<br>R: CAA CAA TGA AAA TAG GCA             | 264 – 346                | 6-10  | 4  | 53                  | (TG)11              |
| MTcCIR 37 | F: CTG GGT GCT GAT AGA TAA<br>R: AAT ACC CTC CAC ACA AAT            | 133-185                  | 6-12  | 10 | 54                  | (GT)15              |
| MTcCIR 40 | F: AAT CCG ACA GTC TTT AAT C<br>R: CCT AGG CCA GAG AAT TGA          | 259-284                  | 9     | 3  | 55                  | (AC)15              |
| MTcCIR 58 | F: TTTTTGGTGATGGAACAT<br>R: TGGTTAAGCAACACTAACT                     | 254-274                  | 8     | 9  | 52                  | (GT)40              |

Na: número de alelos; Cr: cromosoma, Ta: temperatura de annealing. Motif: Motivo repetido

Fuente: Lanaud *et al* (1999) [10]

94°C por 2 min, 30 ciclos a 94°C por 1 min, 50°C a 57°C por 1 min, 72°C por 2 min; posteriormente 72°C por 5 min. Al producto de la amplificación se le adicionaron 3,5 µL de buffer de carga para geles desnaturizantes (formamida 98%, azul de bromofenol 0,05% y cianol de xileno), la mezcla se desnaturizó a 95°C por 5 min. Se utilizaron 5 µL para la siembra en geles de poliacrilamida 4% (urea 5M, 0,5X buffer TBE) tomando como patrón de tamaño molecular el Ladder DNA® 10 pb 50 mg (Invitrogen); el tiempo de corrida en la electroforesis fue de aproximadamente 45 min, a 80 V y el gel fue teñido con nitrato de plata.

### Análisis estadístico

Los patrones de bandas se registraron en una matriz de Excel. Dos análisis se realizaron en las poblaciones:

diversidad genética y estructura genética. El análisis de diversidad consideró las siguientes medidas: número de alelos (NA), número promedio de alelos por locus (NPA), número efectivo de alelos (ENA), contenido de información polimórfica (PIC) y valores de heterocigosidad observada y esperada ( $H_o$  y  $H_e$ ), se utilizó el software ARLEQUIN ver 3.5 [11] y Gen Alex ver 6.5 [12]. El análisis de estructura genética fue realizado con base en los F estadísticos [13]: promedio del coeficiente de cruzamiento (*inbreeding coefficient*) (FIS), Índice de fijación genético global (FIT), promedio del índice de fijación (FST) y Número de migrantes (Nm); Análisis de varianza molecular (AMOVA) y construcción de un dendrograma con el método UPGMA (Unweighted Pair Group Method using Arithmetic Averages) descrito por Sneath y Sokal (1973) [14] y el coeficiente de distancia de Nei (1972) [15] utilizando el software TFPGA ver 1.3 [16].

## RESULTADOS

### Diversidad genética

Los doce pares de iniciadores microsatélites utilizados fueron altamente discriminantes e informativos para determinar el nivel de polimorfismo y la identidad genética de los 165 materiales de cacao. Los promedios de los índices de diversidad fueron altos, con valores entre 0,72 y 0,73, se generaron un total de 85 alelos con un rango entre 5 – 9 alelos por locus y un promedio de polimorfismo PIC de 0,71 (cuadro 2). Osorio (2009) [17] reportó la misma cantidad de alelos para MTcCIR 7, MTcCIR 12 y MTcCIR 33 al realizar la caracterización del banco de germoplasma de cacao del Instituto Amazónico de investigaciones científicas SINCHI. También expresa, que los marcadores moleculares tipo microsatélites presentan alto número de alelos por locus, y fueron polimórficos e informativos para el estudio realizado. Además, sugiere que son una herramienta eficiente para el análisis de diversidad genética y la identificación de materiales duplicados. Resultados similares de altos niveles de diversidad genética han sido reportados por Loor *et al* (2009) [18] al analizar 322 plantas de cacao Nacional recolectadas de diferentes zonas geográficas de la Región Costera Ecuatoriana.

Los marcadores MTcCIR 58 y MTcCIR 33 presentaron los índices de diversidad más altos, mayor variabilidad

genética, y poder discriminante. Resultados semejantes fueron obtenidos por Cryer *et al* (2006) [19], quienes registran estos marcadores porque presentan mayor cantidad de alelos y se constituyen como altamente polimórficos y representativos para la especie. Londoño *et al* (2011) [20], reportan resultados similares con los marcadores MTcCIR 12 y MTcCIR 25, estos presentaron la mayor variabilidad entre los clones de cacao evaluados, y en consecuencia, mayor poder discriminante. Por esta razón, sugieren su inclusión en estudios de caracterización, definición de origen probable o para la conformación de una colección nuclear (*core collection*) que represente la mayor diversidad genética posible con el menor número de materiales, a fin de reducir los costos de mantenimiento. Los marcadores MTcCIR 3 y MTcCIR 7 presentaron índices bajos (<0,60), y por lo tanto son los menos representativos de la diversidad genética de la muestra evaluada.

Los promedios de heterocigosidad observada  $H_o$  y esperada  $H_e$  indican alta variabilidad genética entre individuos (Cuadro 2), revelando alta tasa de heterocigos, explicada en parte por las características de autopolinización que presentan algunos materiales de la especie [21], lo que impide altas frecuencias de autopolinización o consanguinidad. Irish *et al* (2010) [22] encontraron promedios altos de  $H_e$  y  $H_o$  de 0,66 y 0,65, respectivamente, en una colección de cacao local del banco de germoplasma que tiene USDA-ARS en su estación de agronomía tropical, señalando que

**Cuadro 2.** Índices de diversidad genética para 165 materiales de cacao utilizando marcadores moleculares de microsatélites.

| Marcador  | NA   | ENA  | He   | Ho   | PIC  |
|-----------|------|------|------|------|------|
| MTcCIR 3  | 6    | 2,29 | 0,55 | 0,36 | 0,48 |
| MTcCIR 7  | 6    | 2,31 | 0,57 | 0,16 | 0,51 |
| MTcCIR 11 | 8    | 5,51 | 0,82 | 0,72 | 0,80 |
| MTcCIR 12 | 8    | 4,96 | 0,81 | 0,84 | 0,81 |
| MTcCIR 15 | 6    | 4,09 | 0,76 | 0,84 | 0,78 |
| MTcCIR 25 | 5    | 3,39 | 0,71 | 0,95 | 0,73 |
| MTcCIR 26 | 6    | 2,57 | 0,61 | 0,76 | 0,57 |
| MTcCIR 30 | 5    | 3,53 | 0,72 | 0,61 | 0,69 |
| MTcCIR 33 | 8    | 6,03 | 0,84 | 0,69 | 0,84 |
| MTcCIR 37 | 9    | 4,51 | 0,78 | 0,85 | 0,79 |
| MTcCIR 40 | 6    | 4,42 | 0,78 | 0,97 | 0,75 |
| MTcCIR 58 | 8    | 6,06 | 0,84 | 0,91 | 0,83 |
| Promedio  | 6,75 | 4,14 | 0,73 | 0,72 | 0,71 |
| s.d       | 1,36 | 1,24 |      |      |      |

NA: número de alelos, ENA: número de alelos efectivos, He: heterocigosidad esperada, Ho: heterocigosidad observada, PIC: contenido de información polimórfica

los materiales presentan un gran potencial de variabilidad genética para programas de mejoramiento genético; además, el estudio señala a los marcadores como herramienta eficaz para mejorar la precisión y eficiencia genética en los programas de conservación de germoplasma de cacao, ya que permitieron identificar duplicados y materiales mal etiquetados. Afirmación que coincide con lo expuesto por Sánchez y colaboradores (2007) [23] al analizar la diversidad genética de accesiones de *Theobroma cacao* L., del banco de conservación a cargo de CORPOICA, los investigadores manifiestan que la detección y análisis de diversidad genética en clones de cacao, es de gran importancia para el mejoramiento genético del cultivo; por consiguiente, la diversidad encontrada puede aprovecharse para la selección de nuevas variedades de interés en cuanto a calidad y resistencia a patógenos, situación que redundaría en mejores ingresos para los productores y para la industria nacional, creando fuentes de trabajo y bienestar para los pequeños agricultores.

### Estructura genética

El promedio del coeficiente de cruzamiento (FIS: -0,0057) y los promedios de los índices de fijación (FST: 0,0355) y fijación total (FIT: 0,0301) de los individuos que conforman las tres poblaciones presentan niveles altos de heterocigosidad confirmando los resultados del índice de diversidad genética de la heterocigosidad observada (cuadro 2). Además, primero, el promedio cercano a cero del índice de fijación (FST) señala que la diferenciación genética es prácticamente nula, y segundo, el promedio mayor a 4 del número de migrantes por generación ( $Nm$ : 6,80) muestra que el flujo genético presenta un elevado intercambio de genes, sugiriendo que las poblaciones se comportan como una gran población más o menos panmíctica.

Resultados similares fueron obtenidos por Sereno *et al* (2006) [24] y Zhang *et al* (2008) [25] al analizar la diversidad genética de poblaciones de cacao Forastero procedentes de Brasil y de Perú respectivamente, determinando que la diferenciación genética entre individuos era muy baja con valores de 0,018 y 0,055 para Brasil y Perú, respectivamente e indicando que los promedios de FIS de 0,318 y de 0,234, para las poblaciones de Brasil y Perú, respectivamente, confirmaban la hipótesis que “los individuos de las distintas poblaciones de cacao Forastero presentan altos niveles de polimorfismo”. Los análisis de estos estudios coinciden con lo reportado por Rorer (1926) [26] al afirmar, que la sucesiva introducción de germoplasma

foráneo que data de finales de 1890, y el subsecuente flujo genético que tuvieron estas accesiones con las poblaciones nativas de cacao produjeron altos niveles de diversidad genética en las poblaciones de cacao. Por otro lado, Reategui *et al* (2009) [27] evaluaron con marcadores microsatélites la variabilidad genética de *Bertholletia excelsa* en la región Madre de Dios (Perú), sugiriendo que las localidades analizadas parecen formar parte de una única población panmíctica, probablemente mucho más amplia (lado boliviano y brasilero) y que la variabilidad genética observada está relacionada a las características de desarrollo vegetativo y reproducción de la planta (perennidad, edad, tiempo de generación, sistema alógamo, modo de dispersión, modo de polinización) y a su alta demografía.

El análisis de estructura genética entre poblaciones indica que Tumaco y Fedecacao están genéticamente menos relacionadas que Tumaco y Corpoica y a su vez existe mayor similitud genética entre Corpoica y Fedecacao (cuadro 3), estos resultados sugieren flujo genético entre los bancos de germoplasma y mínimas diferencias en sus estructuras genéticas y estarían acordes con la procedencia de las muestras analizadas, ya que los bancos de germoplasma de Corpoica y Fedecacao comparten la gran mayoría de genotipos que han sido seleccionados por características de productividad, resistencia, calidad y patronaje, etc, además, en estos bancos se desarrollan y producen la mayoría de clones comerciales de cacao cuya tecnología se transfiere a productores de todo el país, incluyendo a la zona de Tumaco, dando como resultado un origen genético similar y las diferencias genéticas que se obtienen estarían representadas por las hibridaciones naturales que se dan entre los cacaos comerciales y los materiales de cacao antiguos que los productores tienen en sus fincas.

Los resultados del AMOVA indican que el mayor porcentaje de variación corresponde a diferencias genéticas de los individuos que conforman cada po-

**Cuadro 3.** Estructura genética de tres poblaciones de cacao *Theobroma cacao*.

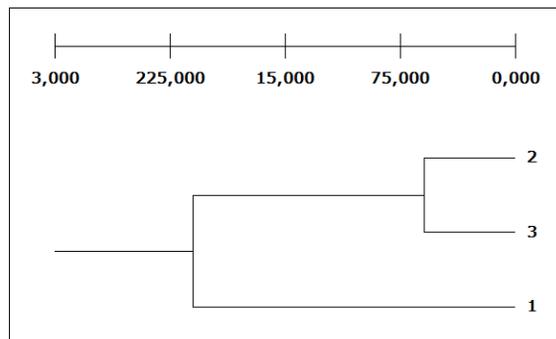
| Población | FST     |          |           |
|-----------|---------|----------|-----------|
|           | Tumaco  | Corpoica | Fedecacao |
| Tumaco    | 0,00000 |          |           |
| Corpoica  | 0,05224 | 0,00000  |           |
| Fedecacao | 0,06305 | 0,00736  | 0,00000   |

blación independientemente de su sitio de origen o de la población a la que pertenecen, seguido por la variación encontrada entre las poblaciones (cuadro 4). La variación de individuos dentro de las poblaciones, correspondiente al 0,18, es considerada como no significativa y por lo tanto, permite concluir que no existió variación individual dentro de cada población formada. Los resultados son semejantes a lo reportado por Zhang *et al.*, (2009) [28] quienes caracterizaron una colección de Cacao internacional de Costa Rica; donde encontraron 15,4% de diferencia entre grupos y 84,6% dentro de los grupos, considerando como principal causa el mal etiquetado de árboles y las diferencias que existen del cacao nacional y los introducidos. Adicionalmente, Zhang *et al.*, (2007) [29] realizaron un estudio para determinar la variación en la estructura genética del cacao ecuatoriano, reportando una variación dentro de los grupos de 76% y de 24% entre grupos; sugiriendo que la paternidad común de los árboles nacionales ecuatorianos que han contribuido a la formación del cacao Refractario, compartiendo antecedentes genéticos similares.

El dendograma (Figura 1) generado a partir de los datos obtenidos con los doce pares de iniciadores microsatélites confirmó la similitud genética existente entre las tres poblaciones de cacao analizadas, observándose por tanto, que los materiales de cacao, están agrupados en un solo clúster.

El cluster muestra valores bajos para las distancias genéticas entre las poblaciones estudiadas, notándose que la población de Tumaco se diferencia de las poblaciones de Corpoica y Fedecacao (distancia genética de Nei's de 0,21), mientras que las distancias genéticas entre las poblaciones de Fedecacao y Corpoica son mínimas (distancia genética de Nei's de 0,06). Estos resultados coinciden con los análisis de diversidad y estructura genética, confirmando que las poblaciones

**Figura 1.** Relación genética de poblaciones de cacao *Theobroma cacao* L. con base en marcadores de microsatélites. UPGMA, Nei (1972) (1. Tumaco, 2. Corpoica, 3. Fedecacao).



estudiadas son similares genéticamente, posiblemente porque hacen parte de bancos de germoplasma y contienen materiales genéticos de igual procedencia.

Resultados similares fueron reportados por Romero *et al.* (2010) [30] con plantas de cacao pertenecientes a cuatro cultivares diferentes y conservadas como colecciones *ex situ* en la Región Amazónica del Ecuador, el análisis del clúster jerárquico permitió confirmar la afinidad genética existente entre las 41 plantas analizadas y el grupo de cacao Nacional ecuatoriano, sugiriendo que las diferentes poblaciones de cacao Nacional están genéticamente emparentadas tanto

con los grupos Criollos y Forasteros; igualmente, la estructura genética se caracterizó por presentar altos niveles de heterocigosidad dentro de los individuos de un mismo grupo y por mostrar bajos niveles de diferenciación genética entre poblaciones. Resultados que se asemejan a la presente investigación, donde no hay grandes diferencias genéticas entre las poblaciones pero si existe alta variabilidad entre los individuos que las conforman.

**Cuadro 4.** Análisis Molecular de Varianza para *Theobroma cacao* L.

| Fuente de variación                        | d.f | Suma de cuadrados | Componentes de varianza | Porcentaje de variación |
|--|-----|-------------------|-------------------------|-------------------------|
| Entre poblaciones                          | 2   | 53,483            | 0,23219 Va              | 5,08                    |
| Entre individuos dentro de las poblaciones | 162 | 704,654           | 0,00819 Vb              | 0,18                    |
| Dentro de los individuos                   | 165 | 715,000           | 4,33333 Vc              | 94,74                   |
| Total                                      | 329 | 1473,136          | 4,57371                 |                         |

## CONCLUSIONES

Los marcadores de microsatélites del estudio fueron altamente discriminantes y demostraron tener alto nivel de exactitud para verificar la identidad genética y para agrupar a las tres poblaciones de cacao provenientes de Tumaco (Nariño), Corpoica (Palmira, Valle del Cauca) y Granja Experimental Tierradura (Miranda, Cauca). La estructura genética de las poblaciones de

cacao, se caracterizó por presentar altos niveles de heterocigosidad dentro de los individuos de un mismo grupo y por mostrar bajos niveles de diferenciación genética entre poblaciones.

## AGRADECIMIENTOS

Al Grupo de Investigación en Diversidad Biológica de la Universidad Nacional, Sede Palmira, por su soporte académico, técnico y por la financiación del proyecto. A CORPOICA (C.I Palmira) y FEDECACAO (Granja Tierradura, Miranda), por permitir realizar los muestreos del material vegetal en sus colecciones de germoplasma; y a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca por la asesoría y apoyo científico.

## REFERENCIAS

- [1] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU). Convenio de Diversidad Biológica. Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente [en línea]. 1992. Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente (PNUMA). Disponible: <http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>. [citado 16 de Febrero de 2014].
- [2] LANTERI, S. and BARCACCIA, G. Molecular marker based analysis for crop germoplasm preservation. The role of biotechnology, 2005, p. 55-66.
- [3] CUATRECASAS, J. A taxonomic revision of the genus *Theobroma*. Contributions from the U.S. National Herbarium 35(6), 1964, p. 379-607.
- [4] CHEESMAN, E. Notes on the nomenclature, classification and possible relationships of cocoa populations. Journal of Tropical Agriculture, 21, 1944, p. 144-159.
- [5] CERVANTES, C., BROWN, J. and SCHNELL, R. Combining ability for disease resistance, yield, and horticultural traits of cacao *Theobroma cacao* L. clones. Journal of the American Society for Horticultural Science, 131(2), 2006, p. 231-241.
- [6] EFOMBAGN, M., NYASSÉ, S., SOUNIGO, O., KOLESNIKOVA, M. and ESKES, A. Participatory cocoa *Theobroma cacao* selection in Cameroon: Phytophthora pod rot resistant accessions identified in farmers' fields. Crop Protection, 26, 2007, p. 1467-1473.
- [7] LANAUD, C., FOUET, O., CLÉMENT, D., BOCCARA, M., RISTERUCCI, A., SURUJDEO, S., LEGAVRE, T. and ARGOUT, X. A meta-QTL analysis of disease resistance traits of *Theobroma cacao* L. Molecular Breeding, 24, 2009, p. 361-374.
- [8] VAZQUEZ, A., MOLINA, F., FARFÁN, J. y SALVADOR, M. Potencial de los marcadores moleculares para el rescate de individuos de *Theobroma cacao* L., de alta calidad. BioTecnología, 16(1), 2012, p. 36-56.
- [9] DOYLE, J. and DOYLE, J. Isolation of plant DNA from fresh tissue. Focus, 12, 1990, p. 13-15.
- [10] LANAUD, C., RISTERUCCI, A., PIERETTI, I., FALQUE, M., BOUET, A. and LAGODA, P. Isolation and characterization of microsatellites in *Theobroma cacao* L. Molecular Ecology, 8, 1999, p. 2141-2152.
- [11] EXCOFFIER, L., LAVAL, G. and SCHNEIDER, S. Arlequin ver. 3.0: An integrated software package for population genetics data analysis. Evolutionary Bioinformatics [online]. 2005. Disponible: <http://www.la-press.com/journal-evolutionary-bioinformatics-j17>. [citado 6 de Marzo de 2014].
- [12] PEAKALL, R. and SMOUSE, P. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research-an update. Bioinformatics, 28, 2012, p. 2537-2539.
- [13] WRIGHT, S. The genetical structure of populations. Annals of Eugenics, 15, 1951, p. 323-354
- [14] SNEATH, P. and SOKAL, R. Numerical taxonomy. The principles and practice of numerical classification. San Francisco (USA): W.H. Freeman and Co, 1 ed., 1973, 588 p.
- [15] NEI, M. Genetic distance between populations. The American Naturalist, 106(949), 1972, p. 283-292.
- [16] MILLER, M. Tools for population genetic analyses (TFPGA) 1.3: A Windows program for the analysis of allozyme and molecular population genetic data. Arizona (USA): Northern Arizona University, Department of Biological Sciences, 1997, 30 p.
- [17] OSORIO, J. Caracterización molecular del banco de germoplasma de cacao (*Theobroma cacao*, L) del Instituto Amazónico de Investigaciones Cien-

- tíficas SINCHI mediante marcadores moleculares tipo microsatélites [Tesis Biólogo]. Bogotá (Colombia): Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias, 2009, p. 12-47.
- [18] LOOR, R., RISTERUCCI, A., COURTOIS, B., FOUET, O., JEANNEASU, M., ROSENQUIST, E., AMORES, F., VASCO, A., MEDINA, M. and LANAUD, C. Tracing the native ancestors of the modern *Theobroma cacao* L. population in Ecuador. *Tree Genetics and Genomes*, 5, 2009, p. 421-433.
- [19] CRYER, N., FENN, M., TUMBULL, C. and WILKINSON, M. Allelic size standards and reference genotypes to unify international cocoa *Theobroma cacao* L. microsatellite data. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 53, 2006, p. 1643-1652.
- [20] LONDOÑO, J., GIL, D., AGUILAR, S., RIVERA, F. y LÓPEZ, G. Caracterización molecular de clones de *Theobroma cacao* L., por medio de marcadores moleculares microsatélites. *Revista Luna Azul*, 32, 2011, p. 52-60.
- [21] SCHELTEMA, T. La autoincompatibilidad en los híbridos de cacao del CATIE. San José (Costa Rica): CATIE. 2 -7, Documento de trabajo no 47, 1989, 100 p.
- [22] IRISH, B., GOENAGA, R., ZHANG, D., SCHNELL, R., BROWN, S. and MOTAMAYOR, J. Microsatellite Fingerprinting of the USDA-ARS Tropical Agriculture Research Station Cacao *Theobroma cacao* L. Germplasm Collection. *Crop Science*, 50, 2010, p. 656-665
- [23] SÁNCHEZ, I., ZÁRATE, L., GALLEGO, G. y TOHME, J. Análisis de la diversidad genética de accesiones de *Theobroma cacao* L. del banco de conservación a cargo de CORPOICA. *Revista CORPOICA – Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 8(2), 8(2), 2007, p. 26-31.
- [24] SERENO, M., ALBUQUERQUE, P., VENCOVSKY, R. and FIGUEIRA, A. Genetic diversity and natural population structure of cacao *Theobroma cacao* L., from the Brazilian Amazon evaluated by microsatellite markers. *Conservation Genetics*, 7, 2006, p. 13-24.
- [25] ZHANG, D., BOCCARA, M., MOTILAL, L., BUTLER, D., UMAHARAN, P., MISCHKE, S. and MEINHARDT, L. Microsatellite variation and population structure in the 'Refractario' cacao of Ecuador. *Conservation Genetics*, 9, 2008, p. 327-337.
- [26] RORER, J. Ecuador cacao (part 2). *Tropical Agriculture Trinidad*, 3, 1926, p. 68-69.
- [27] REATEGUI, E., RENNO, J., CARVAJAL, F., CORVERA, R., DEL CASTILLO, D. y GARCÍA C. Evaluación de la variabilidad genética de la castaña *Bertholletia excelsa* en la región de madre de dios mediante marcadores microsatélites. *Folia amazónica*, 18(1-2), 2009, p. 41-50.
- [28] ZHANG, D., MISCHKE, S., JOHNSON, E., PHILLIPS-MORA, W. y MEINHARDT, L. Molecular characterization of an international cacao collection using microsatellite markers. *Tree Genetics & Genomes*, 5, 2009, p. 1-10.
- [29] ZHANG, D., BOCCARA, M., NOTLLAIL, L., BUTLER, D., UMAHORAN, P., MISHK, S. and LYNDEL, M. Microsatellite variation and population structure in the Refractario Cacao of Ecuador. *Conservation Genetics*, 9, 2007, p. 327-327.
- [30] ROMERO, C., BONILLA, J., SANTOS, E. y PERALTA, E. Identificación varietal de 41 plantas seleccionadas de cacao *Theobroma cacao* L., provenientes de cuatro cultivares distintos de la región amazónica ecuatoriana mediante el uso de marcadores microsatélites. *Revista tecnológica ESPOL*, 23(1), 2010, p. 121-128.

## CRECIMIENTO DE *Lactobacillus casei ssp casei* ATCC 393 EN SUERO CLARIFICADO

## GROWTH OF *Lactobacillus casei ssp casei* ATCC 393 IN CLAFIIED WHEY

## CRESCIMENTO *Lactobacillus casei ssp casei* ATCC 393 EM SORO CLARIFICADO

JOHN ALEXANDER VELASQUEZ-TELLEZ<sup>1\*</sup>, GERMAN GIRALDO-GIRALDO<sup>2</sup>,  
LEONARDO PADILLA-SANABRIA<sup>3</sup>, YULA MERCEDES GIRALDO-CASTAÑO<sup>4</sup>.

### RESUMEN

*En este trabajo se evaluó el efecto del pH y la temperatura sobre el crecimiento de Lactobacillus casei ssp casei ATCC 393, cultivado en suero de leche clarificado en fermentación por lotes. Se observó el efecto de los factores sobre la velocidad específica de crecimiento y la producción de biomasa, utilizando para cada parámetro evaluado la metodología de superficie de respuesta, empleando un diseño central compuesto rotable 2<sup>2</sup>. Los resultados obtenidos del modelo para maximizar la velocidad de crecimiento específica a 0,061h<sup>-1</sup> el proceso debe ser realizado a pH cercano de 7,1 y temperatura de 36,9°C, y para maximizar la producción de biomasa a 11,58 g/L debe realizarse a pH de 7,0 y temperatura de 35,7°C, estos resultados ratifican el efecto del pH y la temperatura sobre el crecimiento de Lactobacillus casei.*

---

**Recibido para evaluación:** 24 de Agosto de 2012. **Aprobado para publicación:** 17 de Abril de 2015.

- 1 Universidad del Quindío, Grupo de Investigación Agroindustria de Frutas Tropicales. Profesional Químico. Armenia, Colombia.
- 2 Universidad del Quindío, Facultad de Ciencias Agroindustriales, Licenciatura en Educación, Área Mayor Química. Ph.D. Ciencia y Tecnología de Alimentos. Armenia, Colombia.
- 3 Universidad del Quindío, Grupo de Investigación Agroindustria de Frutas Tropicales. Bacteriólogo, MSc. Ciencias Biomédicas. Armenia, Colombia.
- 4 Universidad del Quindío, Grupo de Investigación Agroindustria de Frutas Tropicales. Profesional Químico. Armenia, Colombia.

**Correspondencia:** johnalexvelasquez@gmail.com

## ABSTRACT

*This study evaluated the effect of pH and temperature on the growth of Lactobacillus casei ssp casei ATCC 393, grown in clarified whey in fermentation batch. It was observe factors effect on specific growth rate and biomass production, for each parameter evaluated using the response surface methodology, using also a central composite rotatable design 2<sup>2</sup>. The results of the model for the specific growth rate to maximize to 0,061 h<sup>-1</sup> specifies the process to be performer at pH near 7,1 and a temperature of 36,9°C and maximize biomass production 11,58 g/L must be at pH 7,0 and temperature of 35,7°C, these results confirm the effect of pH and temperature on the growth of Lactobacillus casei*

## RESUMO

*Neste trabalho avaliou-se o efeito do pH e a temperatura no crescimento de Lactobacillus casei ssp casei ATCC 393, numa cultura em soro de leite clarificado em fermentação por lotes. Observaram-se o efeito dos fatores sobre a velocidade específica de crescimento e a produção de biomassa, usando para cada parâmetro avaliado a metodologia de superfície de resposta num modelo rotativo central composto 2<sup>2</sup>. Os resultados obtidos para maximizar a velocidade de crescimento específica a 0,061h<sup>-1</sup> sugerem que deve ser realizado um pH perto de 7,1 e uma temperatura de 36,9°C e para maximizar a produção de biomassa a 11,58 g/L deve realizar-se a um pH de 7,0 e uma temperatura de 35,7°C. Estes resultados ratificam o efeito do pH e a temperatura sobre o crescimento de Lactobacillus casei.*

## INTRODUCCIÓN

Entre los *Lactobacillus*, las especies de *L. acidophilus* y *L. casei* son usados frecuentemente como probióticos, estos son considerados microorganismos autóctonos y asociados con el anfitrión humano [1]. Los *Lactobacillus casei* son un tipo de bacteria probiótica muy eficaz para equilibrar la microflora intestinal, prevenir los trastornos intestinales, regular el sistema inmune específicamente de la respuesta inmune celular y además posee una potente acción antidiarreica [2]. Industrialmente, *L. casei* tiene aplicaciones como probióticos en humanos, como cultivo iniciador ácido-productor para fermentaciones de leche y especialmente como cultivos para la intensificación y aceleración de desarrollo de sabores en ciertas variedades de quesos madurados con bacterias [3].

La manufactura industrial de queso produce grandes cantidades de suero de leche, que contiene principalmente lactosa (4,5%), proteínas (0,6%) y sales (0,7%) [4], el suero representa el mayor problema de contaminación en los países que dependen de la economía lechera y es normalmente usado como alimento para animales [5], posee una alta demanda química de oxígeno (valores entre 40000 and 60000 mg O<sub>2</sub>/L), y debido a esta razón, no puede ser desechado sin antes realizársele un tratamiento previo [6]. Actualmente, para disminuir su efecto contaminante se realizan dife-

## PALABRAS CLAVE:

Fermentación en lotes, Velocidad específica de crecimiento, Biomasa, Metodología de superficie de respuesta.

## KEY WORDS:

Fermentation for batch, Specific speed of growth, Biomass, Response surface methodology.

## PALAVRAS-CHAVE:

Fermentação em lotes, Velocidade específica de crescimento, Biomassa, Metodologia de superfície de resposta.

rentes procesos de transformación, entre los que se encuentran la producción de suero en polvo dulce y ácido, suero condensado, suero delactosado y desmineralizado, obtención de proteína, lactosa, siropes, quesos, además de obtener alcohol etílico, vinagre y ácido láctico [7], este último ampliamente utilizado por la industria de alimentos, farmacéutica y química [8].

Los procesos de bioconversión surgen como una alternativa para el aprovechamiento de este desecho como sustrato para el crecimiento de microorganismos capaces de metabolizar la lactosa, en este trabajo se evalúa el efecto del pH inicial y temperatura sobre el crecimiento de *Lactobacillus casei ssp casei* ATCC 393 en suero de leche, en cultivo batch.

## MÉTODO

En el cultivo se empleó la cepa de *Lactobacillus casei ssp casei* ATCC 393 (Remel-Apogent). El lactosuero utilizado, se obtuvo del proceso de manufactura de queso, empleando leche comercial. Para la desproteínización del lactosuero se empleó la técnica del punto isoelectrónico, ajustando el pH a 5,5 con adición de HCl 3N y aplicando tratamiento térmico en autoclave a 105°C por 15 minutos, luego se enfrió a -4°C por 24 horas y se decantó para remover las proteínas precipitadas. Para la preparación del inóculo la pajilla de la cepa de *Lactobacillus casei ssp casei* ATCC 393, se activó en 10 mL de agar APT, se incubó a 37°C durante 48 horas, con esta solución bacteriana se impregnaron perlas porosas que fueron sembradas e incubadas bajo las mismas condiciones anteriores, posteriormente se guardó la solución a -5°C con glicerol al 50%, esta solución se empleó para la producción del inóculo, tomando 200 microlitros e inoculando 10 mL de suero clarificado, se incubó a 37°C por 48 horas.

Para los procesos de fermentación en batch, se empleó un fermentador tipo tanque agitado con capacidad para 5,0 L, utilizando un volumen de trabajo de 4 L, se realizaron las corridas experimentales sin control de pH, a 180 rpm por 120 horas y 10% de inóculo inicial. El pH inicial del sustrato se ajustó al valor deseado con adición de HCl 3N ó NaOH 6N. Las muestras se tomaron cada 0, 2, 4, 6, 24, 48, 72, 96 y 120 horas para realizar los respectivos análisis.

En este trabajo se determinaron grados brix, empleando un refractómetro de mesa Thermo Electron Corporation ABBE-3L. El pH se midió con un potenciómetro

Hanna pH 212. La densidad se determinó utilizando un termo lactodensímetro (Brixco). El contenido de nitrógeno se midió por el método Kjeldahl [9]. La cantidad de proteína se determinó como el porcentaje de nitrógeno multiplicado por el factor 6,38 [9]. El contenido de calcio se cuantificó en un espectrofotómetro de llama Thermo Electron Corporation S4 AA Spectrometer, empleando la técnica de análisis en jugos de fruta [10]. El contenido de lactosa se determinó por el método espectrofotométrico de Teles [11]. La biomasa se cuantificó por medio de densidad óptica a 600 nm, la cual fue relacionada con la concentración utilizando un espectrofotómetro U.V. visible Hewlett Packard Chemstation 8453 G1115AA.

Para evaluar el efecto del pH y temperatura sobre el crecimiento de *Lactobacillus casei ssp casei* ATCC 393 en suero clarificado, se empleó la metodología de superficie de respuesta, analizando de manera independiente los parámetros de velocidad específica de crecimiento ( $\mu$ ) y producción de biomasa, utilizando un diseño central compuesto rotatable 22. Los factores en el diseño se codificaron de acuerdo a la ecuación 1.

$$x_i = \frac{(X_i - X_{cp})}{\Delta X_i} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde  $x_i$  = valor codificado de la variable independiente,  $X_i$  = valor real de la variable independiente,  $X_{cp}$  = valor real de la variable independiente en el punto central y  $\Delta X_i$  = valor del paso de cambio.

El comportamiento del sistema (fermentación) se explica con la ecuación 2.

$$Y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ii} x_i^2 + \sum b_{ij} x_i x_{ij} \quad (\text{Ec.2})$$

Donde Y = valor de la respuesta predicha,  $b_0$  = constante,  $b_i$  = efecto lineal,  $b_{ii}$  = efecto cuadrático,  $b_{ij}$  = efecto de interacción y  $x_i$  = variable independiente.

En el cuadro 1, se muestra el rango y los niveles de las variables investigadas en este trabajo.

**Cuadro 1.** Valores reales de las variables usadas en el diseño central compuesto.

| Variables        | Rango y niveles |    |    |    |
|------------------|-----------------|----|----|----|
|                  |                 | -1 | 0  | 1  |
| pH               | $X_1$           | 6  | 7  | 8  |
| Temperatura (°C) | $X_2$           | 32 | 37 | 42 |

Se empleó el paquete estadístico Statgraphics centu- rión para diseñar, modelar la respuesta y analizar los resultados obtenidos del proceso fermentativo.

## RESULTADOS

En cuanto a la composición del suero de leche, en el cuadro 2, se muestra la caracterización de suero entero y clarificado, en ella se observa una disminución aproximada del 10% en la cantidad de sólidos, cerca del 45% en el contenido de nitrógeno y proteínas, además de la disminución de una tercera parte del contenido de calcio, mientras que la lactosa no presentó cambios aparentes en la concentración después de la desproteínización. Los valores obtenidos en este trabajo se encuentran dentro de los rangos reportados para el suero entero de leche de vaca [12] y además, los valores del suero clarificado son similares a los obtenidos por otros autores [13, 14 y 15], quienes utilizaron el mismo tratamiento de clarificación.

El diseño central compuesto codificado, los resultados de velocidad específica de crecimiento experimental y los obtenidos por el modelo, se muestran en el cuadro 3.

Los valores de velocidad específica de crecimiento se determinaron a partir de la pendiente de la curva logarítmica de la biomasa contra el tiempo en la región de crecimiento exponencial.

El modelo de regresión para la velocidad específica de crecimiento, se muestra en la ecuación 3.

$$Y = -0,889355 + 0,179608X_1 + 0,0169177X_2 - 0,0140626X_1^2 + 0,00055X_1X_2 - 0,000282497X_2^2 \quad (\text{Ec.3})$$

**Cuadro 2.** Caracterización de suero entero y suero clarificado.

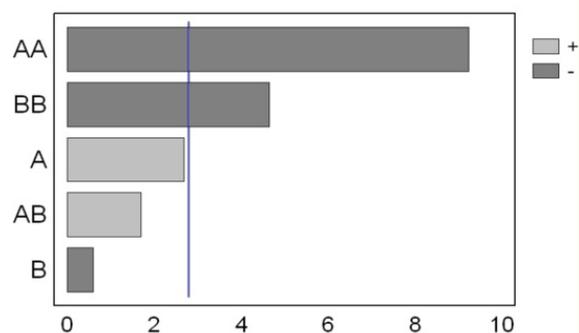
| Parámetros    | Suero Entero | Suero Clarificado |
|---------------|--------------|-------------------|
| ° Brix        | 7,2          | 6,5               |
| pH            | 6,57         | 5,71              |
| Densidad      | 1,029        | 1,029             |
| % N           | 0,20         | 0,11              |
| % Proteínas   | 1,28         | 0,70              |
| Lactosa (g/L) | 43,5         | 43,7              |
| Calcio (g/L)  | 0,313        | 0,223             |

Donde Y es la respuesta predicha para la velocidad específica de crecimiento, X1 y X2 son las variables codificadas de pH y temperatura respectivamente. Esta ecuación tiene dos términos lineales, dos términos cuadráticos y un término de interacción y es empleada para predecir la respuesta de velocidad específica de crecimiento con los parámetros utilizados de los factores (pH y temperatura) y compararlos con los valores obtenidos experimentalmente (cuadro 3). En el cuadro 4, se muestra el análisis de varianza (ANOVA), para la velocidad específica de crecimiento, donde se evidencia dos efectos significativos (valor-P menor a 0,05); el efecto cuadrático del pH y la temperatura, este resultado se puede ver además en el diagrama de Pareto (figura 1).

Al comparar los resultados experimentales de velocidad específica de crecimiento con los obtenidos a través del modelo matemático (cuadro 3), se evidencia el efecto del pH y la temperatura en un 96,01%, además del valor de R<sup>2</sup> ajustado de 91,03%, lo cual valida la significancia estadística del modelo, evidenciando una buena correlación entre los valores experimentales y las respuestas predichas; en concordancia con estos resultados se encuentran los representados en la figura 2, donde los puntos de valores predichos vs experimentales están alrededor de la línea diagonal, además en la figura 3, se muestran los valores predichos vs residuos, en ella no se observa un patrón en los residuos que pueda afectar el modelo, al mismo tiempo un valor de 0,00325 del error estándar de estimación, confirma la poca desviación de los residuos e indica buena precisión y confiabilidad de las corridas experimentales.

En la figura 4, se muestra la superficie y el contorno de respuesta de velocidad específica de crecimiento; esta figura es la representación gráfica de la ecuación cua-

**Figura 1.** Diagrama de Pareto para la velocidad específica de crecimiento.



**Cuadro 3.** Diseño central compuesto codificado, resultados experimentales y del modelo.

| Ensayo | $X_1$    | $X_2$    | $\mu$ (1/h) * | $\mu$ (1/h) ** | Producción de | Producción de  |
|--------|----------|----------|---------------|----------------|---------------|----------------|
|        |          |          |               |                | Biomasa g/L * | Biomasa g/L ** |
| 1      | -1       | -1       | 0,036         | 0,040          | 8,51          | 8,75           |
| 2      | 1        | -1       | 0,040         | 0,040          | 8,11          | 8,69           |
| 3      | -1       | 1        | 0,032         | 0,033          | 5,69          | 5,52           |
| 4      | 1        | 1        | 0,047         | 0,045          | 5,50          | 5,68           |
| 5      | -1,41421 | 0        | 0,031         | 0,028          | 8,84          | 8,88           |
| 6      | 1,41421  | 0        | 0,035         | 0,037          | 9,40          | 8,95           |
| 7      | 0        | -1,41421 | 0,050         | 0,047          | 8,11          | 7,61           |
| 8      | 0        | 1,41421  | 0,044         | 0,045          | 3,12          | 3,20           |
| 9      | 0        | 0        | 0,060         | 0,061          | 11,31         | 11,38          |
| 10     | 0        | 0        | 0,061         | 0,061          | 11,44         | 11,38          |

\* Resultados experimentales

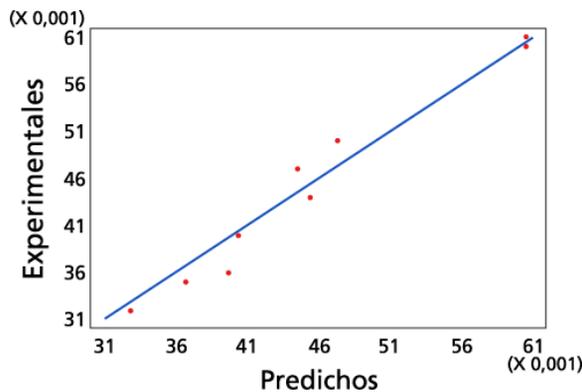
\*\* Resultados del modelo

**Cuadro 4.** Análisis de varianza para velocidad específica decrecimiento.

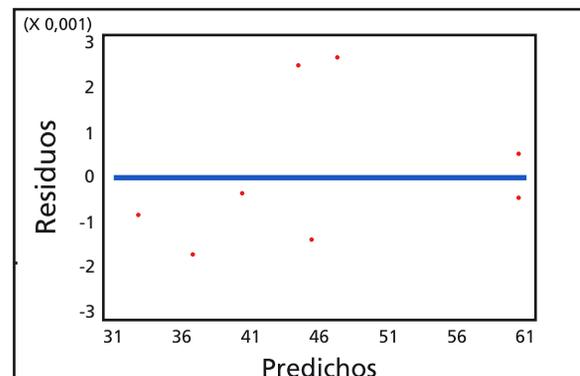
| Fuente        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| A:pH          | 0,0000759952      | 1  | 0,0000759952   | 7,17    | 0,0553  |
| B:Temperatura | 0,00000376107     | 1  | 0,00000376107  | 0,36    | 0,5833  |
| AA            | 0,000904018       | 1  | 0,000904018    | 85,35   | 0,0008  |
| AB            | 0,00003025        | 1  | 0,00003025     | 2,86    | 0,1663  |
| BB            | 0,000228017       | 1  | 0,000228017    | 21,53   | 0,0097  |
| Error total   | 0,0000423687      | 4  | 0,0000105922   |         |         |
| Total (corr.) | 0,0010624         | 9  |                |         |         |

$R^2 = 96,012\%$ ,  $R^2$  ajustada =  $91,027\%$ , Error estándar de estimación =  $0,00325456$

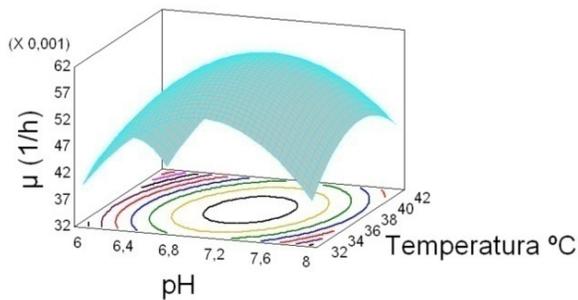
**Figura 2.** Valores Predichos vs Experimentales.



**Figura 3.** Valores Predichos vs Residuos



**Figura 4.** Superficie y contorno de respuesta para velocidad específica de crecimiento de *Lactobacillus casei ssp casei* ATCC 393, mostrando el efecto del pH y la temperatura.



drática del modelo y es práctica para entender el efecto del pH y temperatura sobre la variable respuesta, en ella se evidencia una superficie convexa, lo que indica que hay variables bien definidas para la optimización de la velocidad específica de crecimiento, debido a que la superficie en la cima es simétrica y plana [16].

El máximo valor experimental de velocidad específica de crecimiento obtenido en este trabajo fue de  $0,061 \text{ h}^{-1}$ , este valor es cercano al logrado por Feoli *et al.*, (1995) [17], quienes alcanzaron  $0,068 \text{ h}^{-1}$  con *Lactobacillus delbruekii bulgaricus* cultivado en un medio compuesto por sacarosa y suero de sangre de res. El resultado de  $0,061 \text{ h}^{-1}$  es bajo comparado con lo obtenido por Tango y Ghaly (1999) [18], quienes lograron una velocidad específica de crecimiento de  $0,24 \text{ h}^{-1}$  con *Lactobacillus helveticus* empleando suero de leche como medio de crecimiento y al reportado por Sharma y Mishra (2014) [19] quienes reportan  $0,45 \text{ h}^{-1}$  en *Lactobacillus plantarum* NCDC 414 crecido en jugo de verduras.

El resultado bajo de velocidad específica de crecimiento logrado en este trabajo, ratifica el extenso tiempo requerido en el proceso fermentativo (120 horas).

El resultado obtenido por el modelo para maximizar la velocidad específica de crecimiento a  $0,061 \text{ h}^{-1}$ , indica que el proceso debe ser realizado a pH cercano de 7,1 y temperatura de  $36,9^\circ\text{C}$ .

El diseño central compuesto codificado, los resultados de producción de biomasa experimentales y los obtenidos por el modelo se muestran en el cuadro 3. Para hallar la producción de biomasa (g/L), se realizó

la diferencia entre la biomasa final e inicial, tomando para todas las fermentaciones la biomasa final como la cantidad presente en 120 horas y como biomasa inicial la cantidad en 0 horas.

El modelo de regresión para la producción de biomasa, se muestra en la ecuación 4.

$$Y = -198,253 + 16,8744X_1 + 8,44616X_2 - 1,23126X_1^2 + 0,0105X_1X_2 - 0,119349X_2^2 \quad (\text{Ec.4})$$

Donde Y es la respuesta predicha para la producción de biomasa (g/L),  $X_1$  y  $X_2$  son las variables codificadas de pH y temperatura respectivamente, esta ecuación igualmente es empleada para predecir la respuesta y comparar los resultados con los valores obtenidos experimentalmente (cuadro 3). En el cuadro 5, se muestra el análisis de varianza (ANOVA) para la producción de biomasa, donde se manifiesta el efecto significativo de tres factores (valor-P menor de 0,05); el efecto cuadrático del pH y la temperatura, además del efecto lineal de la temperatura, estos efectos también se aprecian en el diagrama de Pareto (figura 5), donde claramente se evidencia que las variables evaluadas de pH y temperatura tienen efecto significativo sobre la producción de biomasa.

El resultado en el cuadro 5, de 0,9849 para el coeficiente de determinación, indica que el 98,49% de la variación de producción de biomasa es atribuido a las variables independientes de pH y temperatura y solo un 1,51% de la variación total no puede ser explicado por el modelo, esta alta correlación entre los valores experimentales y las respuestas predichas, se reafirma con el valor del  $R^2$  ajustado de 96,60%, además de la ubicación de los puntos sobre la línea diagonal en la gráfica de valores predichos vs experimentales (figura 6), lo que indica que el modelo es adecuado para describir la producción de biomasa bajo los rangos evaluados de pH y temperatura. En la figura 7, se muestran los valores predichos vs residuos, estos son inferiores al 5,0% y junto al valor del error estándar de estimación de 0,48%, confirma la alta significancia estadística del modelo.

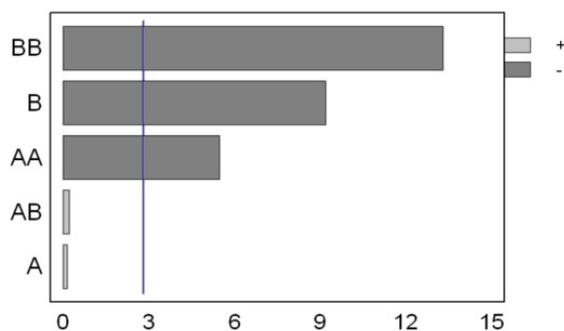
En la figura 8, se muestra la superficie y el contorno de respuesta para la producción de biomasa, en la superficie se evidencia el efecto del pH y la temperatura, mientras el contorno no muestra efecto de interacción entre las variables (contornos circulares), confirmando los resultados obtenidos en el ANOVA (cuadro 5).

**Cuadro 5.** Análisis de varianza para la producción de Biomasa.

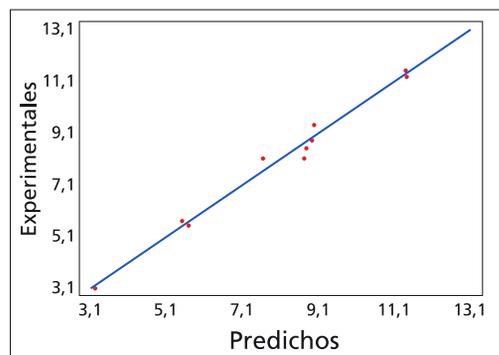
| Fuente        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| A:pH          | 0,00509837        | 1  | 0,00509837     | 0,02    | 0,8890  |
| B:Temperatura | 19,4904           | 1  | 19,4904        | 84,51   | 0,0008  |
| AA            | 6,93024           | 1  | 6,93024        | 30,05   | 0,0054  |
| AB            | 0,011025          | 1  | 0,011025       | 0,05    | 0,8376  |
| BB            | 40,6983           | 1  | 40,6983        | 176,47  | 0,0002  |
| Error total   | 0,922511          | 4  | 0,230628       |         |         |
| Total (corr.) | 61,14             | 9  |                |         |         |

R2 = 98,4912 %, R2 ajustada = 96,6051 %, Error estándar de estimación = 0,480237

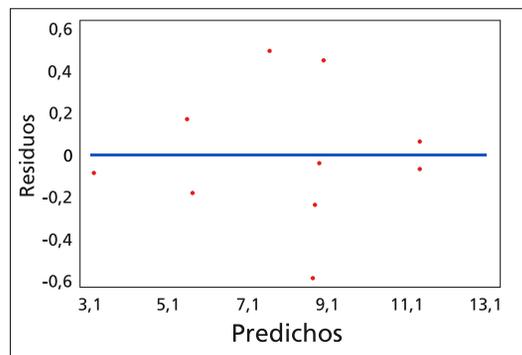
**Figura 5.** Diagrama de Pareto para producción de biomasa.



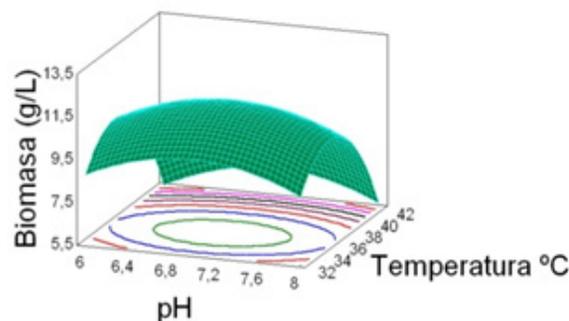
**Figura 6.** Valores Predichos vs Experimentales.



**Figura 7.** Valores Predichos vs Residuos.



**Figura 8.** Superficie y contorno de respuesta para la producción de biomasa de *Lactobacillus casei ssp. casei* ATCC 393, mostrando el efecto del pH y la temperatura.



La máxima producción de biomasa obtenida en este trabajo fue 11,31 g/L, este valor es más alto que el reportado por Fajardo *et al.*, (2014) [20] de 0,33 g/L de biomasa para *Lactobacillus casei subsp. casei* CECT 4043 crecido en suero de leche, al conseguido por Tosungnoen *et al.*, (2014) [21] de 3,183 g/L en *Lactobacillus Plantarum* MSUL 702 cultivado en medio líquido de almidón de yuca, el logrado por Aguirre *et al.*, (2010) [22] de 3,25 g/L para *Lactobacillus casei* crecido en suero de leche en cultivo batch, al obtenido por Yáñez *et al.*, (2008) [23] quienes alcanzaron una biomasa de 3,6 g/L cuando evaluaron el efecto del ácido hexanoico sobre la cinética de crecimiento de *Lactobacillus rhamnosus* en un medio de glucosa, al obtenido por Sachin *et al.*, (2006) [24], los cuales consiguieron una biomasa de 5,7 g/L con *Lactobacillus delbrueckii* NCIM 2365 mutado cultivado en medio hidrolizado de azúcar de caña el cual era suplementado con extracto de levadura y además el logrado por Plessas *et al.*, (2008) [25] de 7,8 g/L de biomasa en una mezcla de *Kluyveromyces marxianus* y *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* utilizando como medio suero de leche diluido. Sin embargo el resultado de

biomasa en este trabajo es más bajo que el logrado por Yoo *et al.*, (1997) [26], quienes obtuvieron una concentración de biomasa de 14,4 g/L con *Lactobacillus casei* cultivado en un medio a base de glucosa suplementado con 30 g/L de extracto de levadura.

El resultado del modelo para maximizar la producción de biomasa en 11,38 g/L, el proceso debe realizarse a pH cercano de 7,0 y temperatura de 35,7°C.

## CONCLUSIONES

Comparando los resultados experimentales con los obtenidos a través de los modelos matemáticos, se concluye que estos son adecuados para explicar el comportamiento de las variables respuesta ( $R^2$  ajustada de 91,027% y 96,605% para velocidad específica de crecimiento y la producción de biomasa respectivamente).

Para maximizar conjuntamente la velocidad específica de crecimiento y producción de biomasa, debido que no se presenta efecto de interacción en ambos modelos, el proceso fermentativo debe realizarse a pH cercano de 7,05 y temperatura de 36,3°C.

Conforme al resultado obtenido en este trabajo sobre producción de biomasa, el *Lactobacillus casei ssp casei* ATCC 393 presenta un alto potencial probiótico, sin embargo se hace necesario evaluar diferentes condiciones de cultivo que permitan optimizar el crecimiento del microorganismo.

## AGRADECIMIENTOS

A la red de universidades públicas del eje cafetero (Alma Mater) y al grupo de investigación Agroindustria de Frutas Tropicales, perteneciente a los programas de Química y Ciencias Agroindustriales de la Universidad del Quindío.

## REFERENCIAS

[1] AVONTS, L., VAN UYTVEN, E. and VUYST, L. Cell growth and bacteriocin production of probiotic *Lactobacillus* strains in different media. *International Dairy Journal*, 14, 2004, p. 947-955.

- [2] TODD, R.K. and MARTIN, J.K. Selection and design of probiotics. Raleigh (USA): North Carolina State University, Department of Food Science, 1999.
- [3] RAYMON, E.K. Enciclopedia de Tecnología Química. Tomo XI. I Edición. México (México): Ediciones Hispanoamericana, 1962, p. 654- 655.
- [4] SCHEPERS, A.W., THIBAUT, J. and LACROIX, C. Continuous lactic acid production in whey permeate/yeast extract medium with immobilized *Lactobacillus helveticus* in a two-stage process: model and experiments. *Enzyme Microbiology Technology*, 38, 2006, p. 324-337.
- [5] RODRÍGUEZ, L.R., TEIXEIRA, J.A. and OLIVEIRA, R. Low-cost fermentative medium for biosurfactant production by probiotic bacteria. *Biochemical Engineering Journal*, 32, 2006, p. 135-142.
- [6] GONZÁLEZ, M.I., ÁLVAREZ, S., RIERA, F. and ÁLVAREZ, R. Economic evaluation of an integrated process for lactic acid production from ultrafiltered whey. *Journal of Food Engineering*, 80, 2007, p. 553-561.
- [7] KONONOVICH, N. Whey utilization and whey products. *Journal of Dairy Science*, 62(7), 1979, p. 1149-1160.
- [8] OHKOUCHI, Y. and INOUE, Y. Direct production of L(+)-lactic acid from starch and food wastes using *Lactobacillus manihotivorans* LMG18011. *Bioresource Technology*, 97, 2006, p. 1554-1562.
- [9] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Official Methods of analysis. Maryland (USA): 16<sup>th</sup> Ed. 3<sup>rd</sup> Revision. 1997.
- [10] ROSS, J.T. and PRICE, W.J. Analysis of fruit juices. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 21, 1970, p. 51.
- [11] FEITOSA, F.F., YOUNG, C.K. and STULL, J.M. A method for rapid determination of lactose. *Journal of Dairy Science*, 61(4), 1978, p. 506-508.
- [12] JELEN, P. Industrial whey processing technology: an overview. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 27(4), 1979, p. 658-661.
- [13] JAKYMEC, M., MORAN, H., PÁEZ, G., FERRER, J., MÁRMOL, Z. y RAMONES, E. Cinética de la producción de ácido láctico por fermentación sumergida con lactosuero como sustrato. *Revista Científica*, 11(1), 2001, p. 53-59.
- [14] QUINTERO, H., RODRÍGUEZ, M., PÁEZ, G., FERRER, J., MÁRMOL, Z. y RINCÓN, M. Producción continua de proteína unicelular (*K. fragilis*) a partir de suero de leche. *Revista Científica*, 11(2), 2001, p. 87-94.

- [15] URRIBARRÍ, L., VIELMA, A., PAÉZ, G., FERRER, J., MÁRMOL, Z. y RAMONES, E. Producción de ácido láctico a partir de suero de leche, utilizando *Lactobacillus helveticus* en cultivo continuo. Revista Científica, 14(4), 2004, p. 297-302.
- [16] YU, L., LEI, T., REN, X., PEI, X. and FENG, Y. Response surface optimization of L(+) lactic acid production using corn steep liquor as an alternative nitrogen source by *Lactobacillus rhamnosus* CGMCC 1466. Biochemical Engineering Journal, 39, 2008, p. 496-502.
- [17] FEOLI, M., ESCOBAR, C. y MARÍN, R. Obtención de ácido láctico por fermentación con *Lactobacillus delbrueckii bulgaricus*. Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas, 23, 1995, p. 18-24.
- [18] TANGO, M.S. and GHALY, A.E. Effect of temperature on lactic acid production from cheese whey using *Lactobacillus helveticus* under batch conditions. Biomass Bioenergy, 16, 1999, p. 61-78.
- [19] SHARMA, V. and MISHRA, H. Unstructured kinetic modeling of growth and lactic acid production by *Lactobacillus plantarum* NCDC 414 during fermentation of vegetable juices. Food Science and Technology, 59, 2014, p. 1123-1128.
- [20] FAJARDO, P., RODRÍGUEZ, I., PASTRANA, L. and PÉREZ, N. Production of a potentially probiotic culture of *Lactobacillus casei subsp. casei* CECT 4043 in whey. International Dairy Journal, 18, 2008, p. 1057-1065.
- [21] TOSUNGNOEN, S., CHOOKIETWATTANA, K. and DARARAT, S. Lactic Acid Production from Repeated-Batch and Simultaneous Saccharification and Fermentation of Cassava Starch Wastewater by Amylolytic *Lactobacillus Plantarum* MSUL 702. APCBEE Procedia, 8, 2014, p. 204-209.
- [22] AGUIRRE, E.J., AGUILAR, J.M., RAMÍREZ, A. and ALVAREZ, M.M. Production of probiotic biomass (*Lactobacillus casei*) in goat milk whey: Comparison of batch, continuous and fed-batch cultures. Bioresource Technology, 101, 2010, p. 2837-2844.
- [23] YÁNEZ, R., MARQUES, S., GÍRIO, F.M. and ROSEIRO, J.C. The effect of acid stress on lactate production and growth kinetics in *Lactobacillus rhamnosus* cultures. Process Biochemistry, 43, 2008, p. 356-361.
- [24] SACHIN, R., KADAM, S.S., PATIL, K.B., BASTAWDE, J.M. and KHIRE, D.V. G. Strain improvement of *Lactobacillus delbrueckii* NCIM 2365 for lactic acid production. Process Biochemistry, 41, 2006, p. 120-126.
- [25] PLESSAS, S., BOSNEA, L., PSARIANOS, C., KOUTINAS, A.A., MARCHANT, R. and BANAT, I.M. Lactic acid production by mixed cultures of *Kluyveromyces marxianus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *Bulgaricus* and *Lactobacillus helveticus*. Bioresource Technology, 99, 2008, p. 5951-5955.
- [26] YOO, I.K., CHANG, H.N., LEE, E.G., CHANG, Y.K. and MOON, S.H. Effect of B Vitamin Supplementation on Lactic Acid Production by *Lactobacillus casei*. Journal of fermentation and bioengineering, 84(2), 1997, p. 172-175.

# DETERMINACIÓN DE CONGÉNERES EN ALCOHOL EXTRA NEUTRO RECTIFICADO EMPLEADO EN LA ELABORACION DE BEBIDAS ALCOHÓLICAS

## CONGENERS DETERMINATION IN EXTRA NEUTRAL RECTIFIED ALCOHOL USED IN THE ALCOHOLIC BEVERAGES ELABORATION

## DETERMINAÇÃO DE CONGÉNERES EXTRANEUTRO ÁLCOOL RECTIFICADO UTILIZADAS NA FABRICAÇÃO DE BEBIDAS ALCOÓLICAS

FERNANDO JOSÉ HERNÁNDEZ<sup>1</sup>, VICTORIA EUGENIA RECALDE<sup>2</sup>, AYDA MARCELA ERAZO<sup>3</sup>

### RESUMEN

*La Norma Técnica Colombiana NTC 4118 establece la presencia de 19 congéneres en bebidas alcohólicas, donde se incluyen ácidos, aldehídos, ésteres y alcoholes superiores. La concentración de estos compuestos debe ser < 80 mg.L-1, para que el producto pueda ser distribuido comercialmente. El aumento en la concentración de éstos compuestos involucra cambios en el aroma, el gusto, y hasta problemas en la salud del consumidor. Se presenta la estandarización y validación de una técnica analítica cromatográfica (GC/FID) para la determinación de congéneres en alcohol extra neutro rectificado para la elaboración de bebidas alcohólicas, llevado a cabo en la Industria Licorera del Cauca (I.L.C.). La sensibilidad de la técnica con límites de detección (entre 0,2 y 0,9 mg.L-1) y cuantificación (0,7 y 2,8 mg.L-1), la repetibilidad y precisión intermedia (Shapiro Wilk W(5gl) < 0,986*

**Recibido para evaluación:** 4 de Agosto de 2014. **Aprobado para publicación:** 17 de Abril de 2015.

- 1 Universidad del Cauca, Departamento de Química, Grupo de Investigación en Química de Compuestos Bioactivos. Magister en Ciencias Químicas. Popayán, Colombia.
- 2 Universidad del Cauca, Departamento de Química, Grupo de Investigación en Química de Compuestos Bioactivos. Química. Popayán, Colombia.
- 3 Universidad del Cauca, Departamento de Química, Grupo de Investigación en Química de Compuestos Bioactivos. Química. Popayán, Colombia

**Correspondencia:** fjhernandez@unicauca.edu.co.

y  $W(12\text{gl}) < 0,979$  respectivamente), junto con la linealidad (correlación de Pearson  $0,998_{N=40}$  y  $0,977_{N=96}$ ) permitieron validar la metodología con alta exactitud y con ello obtener resultados con alta precisión sobre la ausencia de congéneres (concentración  $< LOD$ ) y en el caso particular del sec-butil acetato ( $< 80 \text{ mg.L}^{-1}$ ) el control de calidad y la certeza de un producto en excelentes condiciones.

## ABSTRACT

*The Colombian Technical Standard NTC 4118 establishes 19 congeners presents in alcoholic beverages such as acids, aldehydes, esters and higher alcohols are included. The compounds concentration must be  $< 80 \text{ mg.L}^{-1}$ , for the product can be commercially distributed. The increases of compounds concentration involve aroma changes, taste, and human health problems. Standardization and validation of an analytical chromatographic technique (GC/FID) for congeners determination in extra neutral alcohol for alcoholic beverages production, carry out in Industria Licorera del Cauca (I.L.C.) is presented in this article. The validation methodology was performed by determining of sensitivity with detection limit (0,2 to 0,9  $\text{mg.L}^{-1}$ ) and quantification limit (0,7 and 2,8  $\text{mg.L}^{-1}$ ), the intermediate precision and repeatability (Shapiro Wilk  $W_{(q=5)} < 0,986$  and  $W_{(q=12)} < 0,979$  respectively), in conjunction with linearity (Pearson correlation  $0,977_{N=40}$ ,  $0,998_{N=96}$ ) it yielded results with high accuracy and determine congeners absence (concentration  $< LOD$ ) and sec-butyl acetate case ( $< 80 \text{ mg.L}^{-1}$ ) ensuring quality control and product in excellent condition.*

## RESUMO

*A Colombiana Norma Técnica NTC 4118 estabelece a presença de 19 congêneres em bebidas alcoólicas, onde ácidos, aldeídos, ésteres e álcoois superiores estão incluídos. A concentração destes compostos deve ser  $< 80 \text{ mg.L}^{-1}$ , de modo que o produto pode ser distribuído comercialmente. O aumento da concentração desses compostos envolvem alterações no aroma, sabor, e problemas com a saúde dos consumidores. É apresentado a validação de uma técnica cromatográfica analítica (GC/FID) para a determinação de congêneres na moagem para a produção de bebidas alcoólicas álcool extra neutro, realizado no Industria Licorera del Cauca (I.L.C.) é apresentada. Sensibilidade da técnica com limites de detecção (0,2 a 0,9  $\text{mg.L}^{-1}$ ) e de quantificação (0,7 e 2,8  $\text{mg.L}^{-1}$ ), precisão e repetibilidade intermediário (Shapiro Wilk  $W(5\text{gl}) < 0,986$ , e  $W(12\text{gl}) < 0,979$ , respectivamente), com a linearidade (correlação Pearson  $0,977_{N=40}$  e  $0,998_{N=96}$ ) permitiu metodologia de validação e obtendo resultados com alta precisão sobre a ausência de congêneres (concentração  $< LOD$ ) eo caso particular de acetato de sec-butil ( $< 80 \text{ mg L}^{-1}$ ) de controle de qualidade e garantia de um produto em excelente estado.*

## PALABRAS CLAVE:

Sustancias volátiles, Calidad en bebidas espirituosas, NTC 4118.

## KEY WORDS:

Volatile substances, Quality spirituous beverages, NTC 4118.

## PALAVRAS-CHAVE:

Substância volátil, Bebidas alcoólicas de qualidade, NTC 4118.

## INTRODUCCIÓN

En Colombia se denomina “bebidas alcohólicas” a las sustancias que se obtienen por un proceso de destilación de productos fermentados y que pueden contener sustancias aromáticas en alcohol rectificado neutro con edulcorantes o colorantes permitidos. Para que las bebidas alcohólicas puedan ser distribuidas al consumo humano deben cumplir con la Norma Técnica Colombiana [1], que considera la concentración final de sustancias volátiles o congéneres permitidos, presentes en las bebidas alcohólicas destiladas: aldehídos, furfural, ésteres y alcoholes superiores excluyendo los alcoholes etílico y metílico. En el Cuadro 1, se presentan los métodos clásicos de la norma técnica colombiana para la determinación de congéneres [2].

En los últimos años el desarrollo de técnicas cromatográficas para el control de calidad de diferentes bebidas alcohólicas [3], han permitido realizar estudios por varias técnicas [4] encontrando por ejemplo que la Cromatografía de Gases acoplada a Masas (GC/MS) utilizando marcadores isotópicos ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) se presenta como un excelente método de referencia para el seguimiento de la adición de alcohol neutro como una forma de control de calidad [5,6].

Otros estudios desarrollados de han enfocado sobre análisis puntuales de algunos de los congéneres,

como el acetaldehído [6], metanol y etilenglicol [7], objeto de estudio debido a sus propiedades cancerígenas y de intoxicación para los seres humanos, respectivamente. De otra parte se ha demostrado que los métodos cuantitativos, para la determinación de 2-furfural en bebidas alcohólicas, empleando HPLC en fase reversa, GC-FID y GC-MS presentan una considerable precisión y sensibilidad [8].

Con respecto a los métodos volumétricos, algunos presentan problemas de contaminación de solventes y alta imprecisión, además de claramente requerir el empleo de reactivos es alto y debido a la posibilidad de inclusión de mayores fuentes de error como las humanas la repercusión principal es en la precisión.

Por lo tanto es necesario generar métodos instrumentales donde los niveles de respuesta sean altamente confiables, reproducibles y robustos. La necesidad de disminuir los niveles de cuantificación de estos compuestos con el fin de lograr niveles seguridad de la presencia de éstos compuestos, hace indispensable implementar nuevas técnicas analíticas para hacer más práctico y amigable ambientalmente el análisis.

Además, La necesidad de la Industria licorera del Cauca comprometida con la calidad de sus productos requiere generar confiabilidad y certeza en sus metodologías de análisis para garantizar la calidad de sus productos. Para ello, se estandarizó y validó una metodología para identificar y cuantificar los congéneres presentes en bebidas alcohólicas utilizando la cromatografía de gases aprovechando su gran reproducibilidad y sensibilidad, permitiendo obtener límites de detección y cuantificación que permiten con certeza el cumplimiento de la norma de calidad.

En el método se desarrolló sobre la base de la identificación y cuantificación de los diecinueve congéneres reportados en la NTC 4118. La evaluación de la metodología estandarizada, se realizó tomando muestras reales de alcohol extra neutro rectificado proveniente de Ecuador debido a que empleado por la empresa licorera del Cauca gracias a que posee buenas características tanto fisicoquímicas como organolépticas. Finalmente El análisis de los datos se efectuó empleando el paquete estadístico SPSS [9] utilizando pruebas de distribución normal, igualdad de varianzas, análisis de varianza, pruebas paramétricas de comparación de medias entre otros.

**Cuadro 1.** Métodos para determinación de congéneres en alcohol.

| Sustancia            | Método                      | Fundamento  |
|----------------------|-----------------------------|---|
| Aldehídos            | Volumetría Redox            | Yodometría empleando bisulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ )      |
| Esteres              | Volumetría ácido-base       | Saponificación con hidróxido de sodio (NaOH)                              |
| Alcoholes superiores | Técnica Espectrofotométrica | Tratamiento con dimetilamino-benzaldehído en medio sulfúrico (538-543 nm) |
| Furfural             | Técnica Espectrofotométrica | Tratamiento con anilina incolora en medio ácido $15^\circ\text{C}$        |

## MÉTODO

### Condiciones cromatográficas y calibración de material de vidrio

En el marco de control de medios de análisis según ISO IEC/17025 (estándar utilizado por los laboratorios de ensayo y calibración). Para la calibración de los balones aforados se utilizó un protocolo de estandarización certificado por la ISO 9001-14001 para un total de 25 balones aforados. Se verificó que el equipo (Cromatógrafo de Gases Shimadzu 17 A con auto inyector AOC - 20i) con columna cromatográfica ATM – 624 con fase estacionaria 6% de Cianopropilfenil - 94% Metilpolisiloxano y detección de ionización por llama, con el que cuenta el laboratorio de Control de Calidad, funciona en las condiciones adecuadas para obtener la correcta lectura de los estándares y muestras [1,10].

### Preparación de soluciones estándar

Se prepararon 3 soluciones stock de 100 mg L<sup>-1</sup> de congéneres en alcohol rectificado al 30%. A partir de cada una de éstas, se prepararon 9 estándares en un rango de 2 a 50 mg L<sup>-1</sup> correspondientes a los niveles de concentración de la curva de calibración conteniendo la totalidad de los congéneres estudiados y que se presentan en el cuadro 2.

### Estandarización y validación de los métodos analíticos

Se implementaron y estandarizaron dos métodos para la cuantificación de 16 congéneres (método 1) y Metanol, Isopropanol (IPA), Acetato de Metilo (AM) (método 2), para los dos métodos se realizó la determinación el flujo óptimo a través de la Curva de Golay y se establecieron los parámetros óptimos, Se determinaron los LOD, LOQ repetibilidad, precisión intermedia robustez y exactitud como criterios de confianza del método analítico. Finalmente, se evaluaron muestras como proceso de control de calidad de los insumos adquiridos por la I.L.C.

### Parámetros estadísticos

Con el fin de analizar el grado de concordancia entre los datos individuales obtenidos cuando los métodos se aplican repetidamente a múltiples inyecciones de una muestra homogénea y la precisión intermedia, cada muestra y estándar se midió cinco veces, determinándose la desviación estándar (s) y la desviación

**Cuadro 2.** Lista de congéneres estudiados en alcohol rectificado.

| Nombre IUPAC                      | Nombre común          | Nombre IUPAC                       | Nombre común       |
|-----------------------------------|-----------------------|------------------------------------|--------------------|
| Etanal                            | Aldehído Acetaldehído | Alcohol isobutílico                | Isobutanol         |
| Alcohol metílico                  | Metanol               | 2-Metilpropanoato de 1-metil etilo | Metilisobutirato   |
| Alcohol isopropílico              | Isopropanol           | Alcohol 2-butílico                 | n-Butanol          |
| Ester metílico                    | Acetato de metilo     | Valeraldehído                      | Pentanal           |
| Isobutiraldehído                  | 2-Metilpropanal       | Metil-t-butil eter                 | Sec-butilacetato   |
| Alcohol n-propílico               | n-Propanol            | Alcohol amílico                    | Alcohol isoamílico |
| Etanoato etílico                  | Acetato de etilo      | n-Pentanol                         | Alcohol n-amílico  |
| 2-butanol                         | Sec-Butanol           | Hexanaldehído                      | Hexanal            |
| Ácido acético-3-metil-butil-ester | 3-Amilacetato         | Heptanaldehído                     | Heptanal           |
| Furan-2-carboxialdehído           | Furfural              |                                    |                    |

estándar relativa (% RSD). Se aplicó la comparación de dos medias experimentales. También se utilizó el contraste de dos colas y el contraste F para la comparación de las desviaciones estándar. Se aplicó el paquete estadístico SPSS y la hoja de cálculo de Excel para evaluar la Normalidad de los datos, pruebas paramétricas y linealidad.

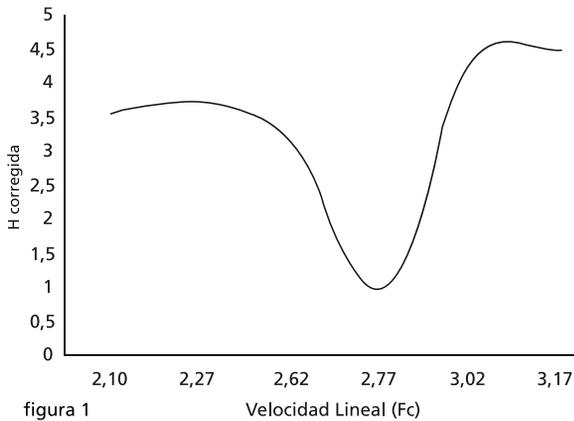
## RESULTADOS

### Determinación del flujo óptimo para la metodología de CG

La elaboración de la curva de Golay se realizó empleando la metodología reportada en [8] con una columna ATM – 624 con fase estacionaria 6% de Cianopropilfenil - 94% Metilpolisiloxano marca Alltech de este modo se encontró el mínimo en la curva, correspondiente al flujo óptimo de la columna el cual fue de 7,2 mL.min<sup>-1</sup> (velocidad lineal de 2,77 cm.min<sup>-1</sup>) de nitrógeno como gas de arrastre, como se muestra en la figura 1. El establecimiento del rango de velocidad lineal a analizar se estableció de acuerdo a las condi-

ciones de la columna cromatográfica (nivel máximo de presión corresponde a 9,0 psi y el mínimo a 5,8 psi).

**Figura 1.** Determinación del flujo óptimo empleando curva de Golay.

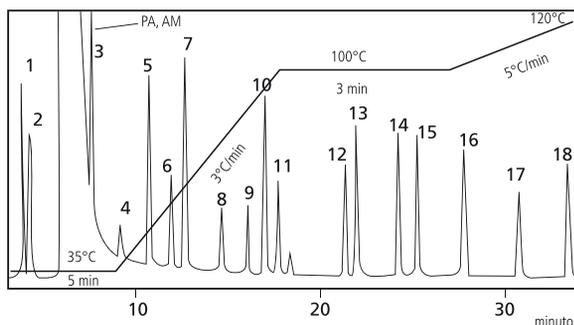


**Implementación de los métodos para la determinación de congéneres**

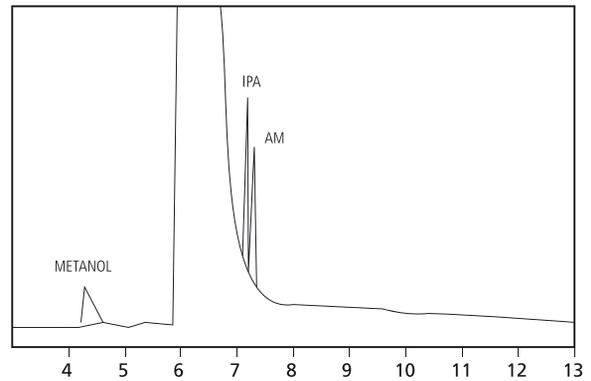
Se estableció la programación de temperatura del horno teniendo en cuenta la mejor resolución que presentaron los diecinueve congéneres. Sin embargo dentro de la implementación inicial no se logró la separación de isopropanol (IPA) y Acetato de metilo (AM) como se presenta en la figura 2.

Debido a esto, se decidió implementar un segundo método para la separación de estos compuestos incluyendo el metanol. Así que se asignaron dos métodos: el primer método fue diseñado para 16 congéneres y el segundo para la cuantificación de IPA, AM y metanol (figura 3). La resolución obtenida en los dos métodos oscila entre 1,2 y 2,1, indicando esto la separación apropiada de los congéneres. Las condiciones cromatográficas para cada método son presentadas en el Cuadro 3.

**Figura 2.** Cromatograma de congéneres método 1



**Figura 3.** Cromatograma de congéneres con IPA, AM y metanol obtenido por el método 2.



Acetaldehído (1), Metanol (2) Isopropanol (3) Acetato de Metilo (3) 2-Metil Propanal (4) N propanol (5) Acetato de etilo (6) Sec butanol (7) Iso butanol (8) Metil Isobutirato (9) N butanol (10) Pentanal (11) Sec Butil acetato (12) Alcohol Iso – amílico (13) Alcohol n – amílico (14) Hexanal (15) 3-Amil acetato (16) Furfural (17) Heptanal (18)

**Estandarización y Validación de los métodos**

Se realizó la determinación de los parámetros de calidad correspondientes, tal como se analiza a continuación.

Límite de detección (ecuación 1) y límite de cuantificación (ecuación 2). Se calculó la mínima cantidad detectable utilizando los resultados de la curva de calibración de acuerdo con el procedimiento sugerido por la IUPAC [11] y utilizando las ecuaciones:

$$LOD = \frac{3 * S_{intercepto}}{m_{curva}} \tag{Ec. 1}$$

$$LOQ = \frac{10 * S_{intercepto}}{curva} \tag{Ec. 2}$$

**Cuadro 3.** Condiciones cromatográficas para los dos métodos implementados en el análisis de congéneres.

|                | Método 1   | Método 2                             |
|----------------|--|--------------------------------------|
| Inyector       | Inyección directa 150°C  |                                      |
| Horno          | 35°C (5 min) @ 3°C min <sup>-1</sup> 100°C (5 min) @ 5°C min <sup>-1</sup> 120°C | 35°C (6 min) @ 3°C/min 150°C (3 min) |
| Detector       | FID 200°C  |                                      |
| Relación Split | 2:10   |                                      |

Para la determinación del LOD se realizaron 5 inyecciones de cada uno de los niveles de concentración de la curva de calibración de cada congénere. Los Límites de Detección obtenidos para los métodos estuvieron en un rango de concentración de 0,1 a 0,9 mg.L<sup>-1</sup>, lo que indica que la mínima cantidad detectable encontrada está por debajo (LOD < 1,0 mg.L<sup>-1</sup>) de los valores de concentración mínimos permitidos que exige la NTC 620 [12] entre (2 y 80 mg.L<sup>-1</sup>).

Paralelamente se determinó el LOD por medio del cálculo de la relación señal/ruido inyectando 20 veces el blanco y determinando la señal del LOD (3,0) como  $S_{LOD} = 3 \cdot \frac{Señal}{Ruido}$  y a partir de la solución stock se prepararon diluciones hasta alcanzar la señal del LOD. Para los 19 congéneres se determinó que la variación de los métodos establecida como %RSD fue menor a 3%.

Para calcular el Límite de Cuantificación (LOQ), se determinó de forma similar  $S_{LOQ} = 10 \cdot \frac{Señal}{Ruido}$  encontrándose que la mínima señal cuantificable (30) correspondía a concentraciones que oscilan entre 0,3 y 2 mg.L<sup>-1</sup>. El LOQ también se determinó a través del procedimiento sugerido por la IUPAC utilizando los resultados de los interceptos y las pendientes obtenidas por las ecuaciones de las curvas de calibración resultaron en rangos de concentraciones entre 0,3 y 1,9 mg.L<sup>-1</sup>. Comparando los resultados de las concentraciones obtenidas se encontraron %RSD menores al 2%.

Los valores de LOD y LOQ para los 19 congéneres se resumen en el cuadro 4, apreciándose que los métodos garantizan el cumplimiento de la norma NTC 620

Intervalo lineal y sensibilidad analítica. De acuerdo con los resultados para las curvas de calibración en el intervalo de concentraciones de 2 a 50 mg.L<sup>-1</sup>, los coeficientes de correlación se encuentran en un rango de 0,993 hasta 0,999, comprobando con ello la respuesta lineal del equipo en el rango de concentraciones de los congéneres trabajados. La sensibilidad analítica se midió teniendo en cuenta la capacidad de discriminar pequeñas diferencias de concentración en un analito, los valores de las pendientes mayores obtenidas por repetibilidad y precisión intermedia se reportaron para los alcoholes superiores indicando con ello una mayor sensibilidad del detector hacia estos compuestos.

### Repetibilidad y precisión intermedia por SPSS

A continuación en los cuadros 5, 6, 7 y 8 se presentan los resultados para el estudio del congénere metanol de las pruebas estadísticas realizadas utilizando el programa de SPSS.

**Cuadro 4.** Concentraciones de LOD y LOQ determinados para los 19 congéneres.

| Congénere          | LOD (mg L <sup>-1</sup> ) | LOQ (mg L <sup>-1</sup> ) |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|
| Acetaldehído       | 0,2                       | 0,8                       |
| Metanol            | 0,2                       | 0,8                       |
| IPA                | 0,4                       | 1,4                       |
| AM                 | 0,6                       | 1,9                       |
| 2-Metilpropanal    | 0,4                       | 1,5                       |
| n-Propanol         | 0,6                       | 1,8                       |
| Acetato de etilo   | 0,2                       | 0,7                       |
| Sec-Butanol        | 0,3                       | 0,9                       |
| Isobutanol         | 0,3                       | 1,0                       |
| Metil isobutirato  | 0,3                       | 1,0                       |
| n-Butanol          | 0,9                       | 2,8                       |
| Pentanal           | 0,8                       | 1,0                       |
| Sec-Butil acetato  | 0,7                       | 1,8                       |
| Alcohol isoamilico | 0,3                       | 1,1                       |
| Alcohol n-amilico  | 0,1                       | 0,3                       |
| Hexanal            | 0,2                       | 0,5                       |
| 3-Amilacetato      | 0,4                       | 1,0                       |
| Furfural           | 0,5                       | 1,6                       |
| Heptanal           | 0,4                       | 1,4                       |

**Cuadro 5.** Análisis estadístico Shapiro-Wilk para el congénere Metanol.

| Concentración metanol                     | Estadístico de Shapiro Wilk (W) calculado |                      |
|---|---|----------------------|
|   | Repetibilidad                             | Precisión Intermedia |
| Nivel                                     |   |                      |
| 5   | 0,860                                     | 0,933                |
| 10  | 0,801                                     | 0,860                |
| 20  | 0,916                                     | 0,839                |
| 23  | 0,728                                     | 0,810                |
| 30  | 0,920                                     | 0,786                |
| 35  | 0,807                                     | 0,938                |
| 40  | 0,719                                     | 0,929                |
| 50  | 0,902                                     | 0,822                |
| $W_{(5gl)} = 0,986$ $W_{(12 gl)} = 0,979$ |   |                      |

De la aplicación del estadístico W de Shapiro Wilk se definió trabajar con la media de los datos ya que la muestra proviene de una población normal.

**Cuadro 6.** Análisis estadístico Levene para el congénere Metanol.

| Metanol                 | Estadístico de Levene (Wcalc) | gl 1             | gl 2 |
|-------------------------|-------------------------------|------------------|------|
| Repetibilidad           |                               | Wtab (10,50)=5,9 |      |
| Basándose en la media   | 2,467                         | 7                | 38   |
| Basándose en la mediana | 1,432                         | 7                | 32   |
| Precisión intermedia    |                               | Wtab(10,100)=5,0 |      |
| Basándose en la media   | 4,252                         | 7                | 88   |
| Basándose en la mediana | 3,342                         | 7                | 88   |

Los datos obtenidos por la repetibilidad y la precisión intermedia provienen de la misma población ya que las varianzas son homogéneas

**Cuadro 7.** Análisis estadístico Pearson para el congénere Metanol.

| Metanol  | Repetibilidad               | Precisión Intermedia   |
|--|-----------------------------|------------------------|
| Correlación de pearson   | 0,998                       | 0,977                  |
| N  | 40                          | 96                     |
| Análisis de regresión para el modelo $Y = \alpha_0 + \alpha_1 x$ | t calculado de la pendiente | Intervalo de confianza |
| Repetibilidad  | 59,159   133,58             | 143,053                |
| Precisión Intermedia   | 59,780   90,967             | 97,218                 |

El análisis de regresión para el modelo  $Y = \alpha_0 + \alpha_1 x$ , con  $t(0,05; 8) = 1,859$  para repetibilidad y  $t(0,05; 107) = 1,600$  para precisión intermedia.

**Cuadro 8.** Resultados del cálculo ANOVA para el congénere metanol.

| Repetibilidad        | Suma Cuadrados | gl | Media Cuadrática | F cal    |
|----------------------|----------------|----|------------------|----------|
| Regresión            | 152759224,80   | 1  | 152759224,802    | 3499,76  |
| Residual             | 1658641,97     | 38 | 43648,473        |          |
| TOTAL                | 154417866,77   | 39 |                  |          |
| Precisión Intermedia | Suma Cuadrados | gl | Media Cuadrática | Fcal     |
| Regresión            | 169652655,876  | 1  | 169652655,876    | 3573,646 |
| Residual             | 4462487,530    | 94 | 47473,272        |          |
| TOTAL                | 174115143,406  | 95 |                  |          |

El coeficiente de Correlación de Pearson (cuadro7) mostró que las curvas de calibración de los congéneres presenta una linealidad buena con un valor de R por encima de 0,995 cuando se realizó el análisis estadístico mediante el contraste de regresión por ANOVA tanto en la repetibilidad como en precisión intermedia

Mediante el análisis de regresión para el modelo  $Y = \beta_0 + \beta_1 x$  de acuerdo con los resultados, mostrando la existencia de una relación lineal significativa entre la concentración y el área

El contraste de hipótesis ANOVA (Cuadro 8) para la regresión, que separa la variabilidad explicada por la regresión y la variabilidad no explicada o residual, ( $H_0 =$  la pendiente es significativamente igual a cero). Se establece que tanto para la repetibilidad como la precisión intermedia, la  $H_0$  se rechaza porque el F experimental es mayor que el F tabulado.  $F > F(\alpha, 1, n-2)$  donde  $\alpha$  es 0,05, (por lo tanto se concluye que existe asociación entre las dos variables (área y concentración) mediante una regresión lineal.

Finalmente en el cuadro 9 se resumen los resultados estadísticos para los demás congéneres

**Cuadro 9.** Sinopsis de las pruebas estadísticas realizadas en la evaluación de los métodos para los 19 congéneres.

| Prueba       | Resultado     |                      |
|--------------|---------------|----------------------|
|              | Repetibilidad | Precisión Intermedia |
| Shapiro Wilk | 0,620-0,935   | 0,378-0,968          |
| Levene       | 1,702-5,680   | 1,278-6,230          |
| Pearson      | 0,995-0,999   | 0,994-0,997          |

Como complemento del estudio se realizó empleando el paquete estadístico del programa Excel de Microsoft Office el análisis de Repetibilidad y Precisión intermedia por medio de la prueba paramétricas t de student y ANOVA obteniéndose los siguientes resultados:

### Análisis de Repetibilidad y Precisión Intermedia por Excel

Para evaluar la repetibilidad mediante el paquete estadístico de Excel, se determinó el valor promedio de las cinco inyecciones, se calculó la desviación estándar, la varianza y el %RSD cuyos resultados indican que el coeficiente de variación dio por debajo de 3%. Este valor indica que el método es repetible. Este parámetro se examinó mediante las inyecciones repetidas para patrones estándares en un rango de 2 a 50 mg.L<sup>-1</sup> de congéneres, los cuales se analizaron el mismo día; con los valores de áreas encontrados se halló su respectiva concentración.

Comparación de dos medias experimentales, prueba t método 1 y 2. Se realizó un paquete estadístico por Excel aplicando el parámetro t de medias entre los valores obtenidos por repetibilidad y precisión intermedia para comparar si las dos medias difieren significativamente o no, en el caso de la prueba t se tiene que para la comparación de las medias la Ho: "Las dos medias no difieren significativamente" y la H1: "Las medias difieren significativamente".

En el caso en que la hipótesis nula se acepta, indicando que no hay diferencia significativa entre las dos medias. Esto significa que hay evidencia de errores sistemáticos y para ello se realizó una prueba F.

Para saber si las varianzas (la obtenida por repetibilidad y la precisión intermedia), difieren significativamente se utilizó un contraste de dos colas, teniendo en cuenta que si el valor obtenido experimentalmente, F es menor que el F tabulado, la hipótesis nula se acepta; "Las varianzas son iguales" y en caso contrario se acepta la hipótesis alternativa (Las varianzas no son iguales).

Linealidad. Se examinó la linealidad de los datos obtenidos para los estándares en un intervalo de concentraciones desde 2 hasta 50 mg L<sup>-1</sup> definiendo la función que mejor explica la relación entre las variables a través del Coeficiente de Correlación de Pearson (tanto para el método 1 como para el método 2, en los parámetros de repetibilidad y precisión intermedia), en-

contrando una buena linealidad entre las dos variables ( $R \cong 1$ ). La cuantificación de los congéneres se hizo independiente para cada método por curva de calibración. A continuación se presenta un resumen general de los resultados agrupados por familias:

Robustez del método. Para evaluar la robustez del método, se prepararon 3 soluciones estándar de propanol de concentraciones de 15 y 30 mg.L<sup>-1</sup> se refrigeraron a una temperatura de 15°C y se realizaron inyecciones por triplicado por tres días consecutivos y luego se volvieron a preparar a las mismas condiciones después de dos meses. Al realizar estas inyecciones por el método ya calibrado en el equipo de cromatografía, se obtuvieron las concentraciones esperadas indicando que el método está calibrado y es robusto tal como se muestra en el cuadro 11.

### Análisis de muestras reales

Para el análisis de muestras reales, se recogieron muestras provenientes de la sección de preparación donde se almacena el alcohol y se les midió el grado alcohólico el cual estaba dentro de los límites permitidos, luego se inyectó la muestra utilizando el método ya calibrado teniendo en cuenta que este método es aplicable en el intervalo de concentraciones de 2 a 50 mg.L<sup>-1</sup> de

**Cuadro 10.** Resultados de Regresión Lineal para Curvas de Calibración de 19 Congéneres.

| Congéneres por familias | Rango Concentración     | Regresión Curvas |
|-------------------------|-------------------------|------------------|
| AldehídoAldehídos       | 2-50 mg.L <sup>-1</sup> | 0,995-0,999      |
| Esteres                 | 2-50 mg.L <sup>-1</sup> | 0,995-0,999      |
| Alcoholes Superiores    | 2-50 mg.L <sup>-1</sup> | 0,998-0,999      |
| Metanol                 | 5-50 mg.L <sup>-1</sup> | 0,998            |
| Isopropanol             | 5-50 mg.L <sup>-1</sup> | 0,993            |
| Acetato Metilo          | 5-50 mg.L <sup>-1</sup> | 0,996            |

**Cuadro 11.** Resultados de Robustez del método 1.

| 15 mg L <sup>-1</sup> | Conc Calc | 30 mg L <sup>-1</sup> | Conc Calc |
|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| 1                     | 15,364    | 1                     | 30,621    |
| 2                     | 14,949    | 2                     | 31,047    |
| 3                     | 15,484    | 3                     | 32,001    |
| Media                 | 15,266    | Media                 | 31,223    |
| Desv Estd             | 0,281     | Desv Estd             | 0,707     |
| %RSD                  | 1,839     | %RSD                  | 2,263     |

solución. En el Cuadro 12 se presentan los resultados obtenidos para algunas de las muestras analizadas.

**Cuadro 12.** Resultados obtenidos en el análisis de muestras reales de alcohol neutro rectificado.

| Muestra | Congéneres identificados               | Concentración              |
|---------|--|----------------------------|
| 1       | Secbutil acetato<br>Alcohol isoamílico | Dentro del rango permitido |
| 2       | Secbutil acetato                       | Dentro del rango permitido |
| 3       | Secbutil acetato                       | Dentro del rango permitido |

## CONCLUSIONES

Se implementó y estandarizó un método analítico para cuantificar e identificar congéneres en alcohol neutro rectificado pasando muestras reales a través de los métodos calibrados. Los datos de calibración dan Normalizados y los métodos tienen precisión intermedia. Los resultados fueron analizados estadísticamente a través de (3) ANOVA y SPSS(4). Los parámetros de calidad como el LOD ( $< 0,9 \text{ mg L}^{-1}$ ), LOQ, ( $< 2,0 \text{ mg L}^{-1}$ ) Intervalo Lineal, Selectividad, Sensibilidad; arrojaron resultados los cuales sirvieron para saber el grado de certeza en la determinación de congéneres menores a  $50 \text{ mg L}^{-1}$  con el fin de identificar y cuantificar este tipo de sustancias en bebidas alcohólicas.

La herramienta estadística utilizada como el SPSS en la cual vienen involucradas pruebas paramétricas como Shapiro Wilk, Levene, Pearson, ANOVA (Análisis de Varianza) entre otras; sirvieron para comprobar la confiabilidad en los resultados obtenidos mediante el análisis de estas pruebas, concluyendo así que los datos arrojados con la utilización de este método son repetibles y reproducibles cuando se realizó la estandarización del método. Esto indica un aumento en el grado de certeza del resultado.

La estandarización del método analítico incidió en el mejoramiento de la técnica porque permitió cuantificar congéneres en concentraciones por debajo de las exigidas por la norma ICONTEC. Debido a esto se aprecia que la calidad del alcohol extra neutro rectificado empleado en la elaboración de las bebidas alcohólicas en la I.L.C. cumple con las normas que exige el ICONTEC para la comercialización de aguardiente.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración y apoyo económico para el desarrollo del presente trabajo al Departamento de Química, la Facultad de Ciencias, la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Cauca y a la Industria Licorera del Cauca.

## REFERENCIAS

- [1] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Norma técnica colombiana (NTC) 4118, Bebidas Alcohólicas: Determinación de Metanol y de Congéneres en Bebidas Alcohólicas y en Alcohol etílico empleado en su elaboración, mediante cromatografía de Gases. Bogotá (Colombia): séptima actualización 1997, p. 1-12.
- [2] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC), norma técnica colombiana (NTC) 411, Bebidas Alcohólicas Anís o Anisado. Bogotá (Colombia): séptima actualización 2005, p. 1-10.
- [3] ZHU, H., XIAO-DONG, P., PING-GU, W., QUING, C., JIAN-LONG, H. and XIANG-HONG, S. Validation of the quantification method for ethyl carbamate in alcoholic beverages and soy sauce by GC-MS. *Food Chemistry*, 141(4), 2013, p. 4161-4165.
- [4] CEBALLOS-MAGAÑA, S., DE PABLOS, F., JURADO, J., MARTIN, M., ALCAZAR, A., MUÑIZ-VALENCIA, R., GONZALO-LUMBRERAS, R. and IZQUIERDO-HORNILLOS R. Characterisation of tequila according to their major volatile composition using multilayer perceptron neural networks. *Food Chemistry*, 136(3-4), 2013, p. 1309-1315.
- [5] COLLINS, T., ZWEIGENBAUM, J., and EBELER, S. Profiling of nonvolatiles in whiskeys using ultra high pressure liquid chromatography quadrupole time-of-flight mass spectrometry (UHPLC-QTOF MS). *Food Chemistry*, 163(15), 2014, p. 186-196.
- [6] PAIANO, V., BIANCHI, G., DAVOLI, E., NEGRI, E., FANELLI, R. and FATTORE, E. Risk assessment for the Italian population of acetaldehyde in alcoholic and non-alcoholic beverages. *Food Chemistry*, 154(1), 2014, p. 26-31.
- [7] KRUSE, J.A. Methanol and Ethylene Glycol Intoxication. *Critical Care Clinics*, 28(4), 2012, p. 661-711
- [8] PETISCA, C., HENRIQUES, A.R., PÉREZ-PALACIOS, T., PINHO, O. and FERREIRA, I.M.P.L.V.O.,

- Assessment of hydroxymethylfurfural and furfural in commercial bakery products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 33(1), 2014, p. 20-25.
- [9] SPSS Inc. SPSS para Windows, versión 11.5.1, 1989-2002 [online]. 2011. Available: <http://www.spss.com> [citado 19 julio de 2011]
- [10] BLAUBRAND. Aparatos volumétricos y picnómetros, con certificado de conformidad; ISO 9001; Instrucciones de calibrado (SOP) [online]. 2015. Available [http://www.brand.de/fileadmin/user/pdf/SOPs/SOP\\_BLAUBRAND\\_ES.pdf](http://www.brand.de/fileadmin/user/pdf/SOPs/SOP_BLAUBRAND_ES.pdf) [citado marzo 2015.]
- [11] MOCÁK, J., BOND, A.M. and MITCHELL, S. A statistical overview of standard (IUPAC and ACS) and new procedures for determining the limits of detection and quantification. *Pure and Applied Chemistry*, 69(2), 1997, p. 297-328
- [12] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Norma técnica colombiana (NTC) 620, Bebidas alcohólicas. Alcohol etílico. Bogotá (Colombia): Séptima actualización 2001, p. 1-22.

# EFEITO DE LA GELATINIZACIÓN DE LA HARINA DE YUCA SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE BIOPLÁSTICOS

## EFFECT OF CASSAVA FLOUR GELATINIZATION ON MECHANICAL PROPERTIES OF BIOPLASTICS

### EFEITO DA GELATINIZAÇÃO DE FARINHA DE MANDIOCA SOBRE AS PROPIEDADES MECÂNICAS DE BIOPLÁSTICOS

DIANA PAOLA NAVIA-PORRAS<sup>1\*</sup>, ALFREDO ADOLFO AYALA-APONTE<sup>2</sup>,  
HÉCTOR SAMUEL VILLADA-CASTILLO<sup>3</sup>

#### RESUMEN

*El desarrollo de materiales biodegradables destinados al empaque de alimentos es un tema de interés mundial, y en consecuencia el conocimiento de sus propiedades y características a partir de las cuales puede estimarse su aplicación. En este estudio, se elaboraron bioplásticos con harina gelatinizada y sin gelatinizar proveniente de dos variedades de yuca MPER 183 y CM 4574-7, fibra de fique y glicerol, los cuales fueron mezclados y sometidos a termo-compresión durante 5 min a 180°C y 1,5 bar de presión. Se evaluó el comportamiento mecánico de los bioplásticos a través de pruebas de flexión y tensión, y se identificaron las variaciones en la microestructura a través de imágenes por la técnica de microscopía electrónica de barrido. Se evidenció que la gelatinización favoreció el comportamiento mecánico de los bioplásticos, siendo la variedad de yuca MPER 183 la que presentó mayor resistencia al esfuerzo de rotura en tensión y flexión de 3,2 MPa y 8,8 MPa respectivamente, y modulo elástico de tensión y flexión de 748,7 MPa*

**Recibido para evaluación:** 1 de Marzo de 2014. **Aprobado para publicación:** 17 de Abril de 2015.

- 1 Universidad de San Buenaventura. Facultad de Ingeniería. Grupo de Investigación Biotecnología. Magister en Ingeniería de Alimentos. Cali. Colombia.
- 2 Universidad del Valle. Escuela de Ingeniería de Alimentos. Doctor en Ciencia e Ingeniería de Alimentos. Cali. Colombia.
- 3 Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agrarias. Departamento de Agroindustria. Doctor en Ingeniería de Alimentos. Popayán. Colombia.

**Correspondencia:** [dnavia@usbcali.edu.co](mailto:dnavia@usbcali.edu.co)

y 791,6 MPa respectivamente. Los materiales obtenidos en este trabajo presentaron características funcionales favorables para su uso como empaques alimentarios.

## ABSTRACT

*The development of biodegradable packaging materials for food is an issue of global concern, and therefore knowledge of its properties and characteristics from which its application can be estimated. In this work, bioplastics were prepared with gelatinized and ungelatinized flour from two cassava varieties MPER 183 and CM 4574-7, sisal fiber, and glycerol, which were mixed and subjected to thermopressing for 5 min at 180°C and 1,5 bar pressure. The mechanical behavior of the bioplastics was evaluated through tension and flexion tests, and the variations in the microstructure were identified through images by the technique of scanning electron microscopy. It showed that the gelatinization favored the mechanical behavior of the bioplastics, with the variety of cassava MPER 183 which provided greater resistance to breaking strength in tension and flexion of 3,2 MPa and 8,8 MPa respectively, elastic modulus tensil and flexural of 748,7 MPa and 791,6 MPa respectively. The materials obtained in this study were favorable performance characteristics for use as food packaging.*

## RESUMO

*O desenvolvimento de materiais de embalagens biodegradáveis para a comida é uma questão de preocupação global, e, portanto, o conhecimento das suas propriedades e características a partir do qual sua aplicação pode ser estimada. Neste trabalho, bioplásticos foram preparados a partir de farinha gelatinizada e não gelatinizada de variedades de mandioca MPER 183 e CM 4574-7, fibras de sisal e glicerol, os quais foram misturados e submetidos a termo-compressão durante 5 min a 180°C e 1,5 bar de pressão. O comportamento mecânico dos bioplásticos foi avaliada por meio de testes de flexão e tensão, e foram identificadas as variações na microestrutura através de imagens pela técnica de microscopia eletrônica de varredura. Foi estabelecido que a gelatinização favoreceram o comportamento mecânico dos bioplásticos, com a variedade de mandioca MPER 183 que proporciona maior resistência à força de ruptura em tração e flexão de 3,2 MPa e 8,8 MPa, respectivamente, o módulo de elasticidade à tração e flexão de 748,7 MPa e 791,6 MPa, respectivamente. Os materiais obtidos neste estudo apresentaram características de desempenho favorável para o uso como embalagem de alimentos.*

## INTRODUCCIÓN

Existen tres grandes retos relacionados con la producción de bioplásticos: reducir los gases de efecto invernadero, disminuir la acumulación de los desechos sólidos que no se degradan en el ambiente [1] y minimizar la dependencia en el uso de los recursos de origen fósil para la producción de plásticos. Bajo estos lineamientos, existen alternativas para la obtención de

## PALABRAS CLAVE:

Flexión, Tensión, Gelatinización.

## KEYWORDS:

Flexion, Tension, Gelatinization.

## PALAVRAS-CHAVE:

Flexão, Tensão, Gelatinização.

bioplásticos entre las cuales está el uso de materias primas renovables, que se han convertido en un campo ampliamente investigado a nivel mundial.

Si bien, las propiedades de los plásticos convencionales representan una gran ventaja para las diferentes aplicaciones (como empaques en el sector alimentario y no alimentario) [2], también presentan desventajas por su impacto negativo al ambiente por su acumulación como desecho sólido, obligando a los gobiernos mundiales a regular normas para evitar estos problemas.

Consecuentemente, los bioplásticos tienen un arduo desafío como sustitutos parciales o totales de los plásticos como el polietileno, polipropileno, poliestireno expandido, entre otros, debido a que su funcionalidad y aplicaciones son factores dependientes de las propiedades de las materias primas con las que son elaborados. Por esta razón, en los bioplásticos es importante el estudio de las propiedades mecánicas, térmicas y de estabilidad frente a la humedad.

En Colombia, existen materias primas ampliamente disponibles para la producción de bioplásticos, como los productos amiláceos procedentes de raíces y tubérculos; dentro de las raíces, la yuca es el principal producto como materia prima, cuyas condiciones edafoclimáticas le confieren preferencias para su producción y procesamiento a nivel nacional y en otros países de Latinoamérica [3]. En el norte del Departamento del Cauca y Sur del Valle (Colombia), se cultivan variedades industriales de yuca (para uso no alimentario) que son útiles para su agroindustrialización y obtención de harina, entre las cuales la variedad MPER 183 Ha presentado rendimientos sobresalientes de 27 ton/Ha [4] y la variedad CM 4574-7 conocida como “la amarga” es uno de los clones de yuca más difundidos por su alto rendimiento y resistencia a plagas [5] con rendimientos promedio de 29 ton/Ha.

De otro lado, el uso de fibras naturales como reforzantes o rellenos en los bioplásticos, se ha incrementado progresivamente, dado su compatibilidad con las materias primas amiláceas y su disponibilidad y bajo costo [6]. El fique, producido ampliamente en Colombia, es una de las fibras investigadas para su incorporación en los materiales bio-basados [7, 8, 9, 10], en razón a su prominente accesibilidad.

Estudios previos han proporcionado avances en el desarrollo de materiales semirrígidos utilizando harina de yuca, mezclada con fique y glicerol mediante moldeo

por compresión [11], sin embargo, se han identificado deficiencias en la plastificación del bioplástico y de su comportamiento mecánico [12]. Una alternativa para mejorar estos problemas de plastificación y del comportamiento mecánico del material bioplástico, es incorporar harina previamente gelatinizada al proceso de termo-compresión, o realizar un proceso de extrusión que anteceda el formado del bioplástico [13].

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la variedad de yuca (MPER 183 y CM 4574-7) y la gelatinización sobre las propiedades mecánicas (esfuerzo y modulo elástico de tensión y flexión) de bioplásticos elaborados por la técnica de termo-compresión a partir de harina de yuca.

## MÉTODO

Los bioplásticos fueron obtenidos por la técnica de termo-compresión a partir de harina de yuca gelatinizada (HG) y sin gelatinizar (HSG) mezclada con fibra de fique y glicerol (USP, Disan). La fibra de fique fue adquirida en la Cooperativa Agropecuaria de Paniquitá Ltda. (Cauca, Colombia) y se incorporó a la mezcla con un tamaño de partícula de 250  $\mu\text{m}$ . La harina fue obtenida de la molienda de trozos secos de yuca de las variedades MPER 183 (MP) y CM 4574-7 (CM), cultivadas en la zona norte del Departamento del Cauca (Colombia). La gelatinización se realizó a partir de dispersiones de harina de yuca (30% p/p) en agua, en un baño termostático a 75°C durante 20 min, de acuerdo con la metodología planteada por Fu *et al.*, [14] con algunas modificaciones.

### Preparación de los bioplásticos

La HSG fue mezclada con la fibra de fique y el glicerol en proporción 60, 25 y 15%, respectivamente, y homogeneizada en una mezcladora industrial (KitchenAid, USA) durante 30 min con adición de 60% de agua (p/p), posteriormente la mezcla fue termo-comprimida en una prensa hidráulica (Edafa, Colombia) a 180°C durante 5 min y presión de 1,5 bar. La HG fue mezclada durante la gelatinización con la fibra y glicerol y posteriormente se llevó a termo-compresión de forma similar a la HSG.

### Evaluación mecánica

Las pruebas de resistencia a la tensión fueron evaluadas de acuerdo a la norma ASTM D638-10 [15].

Se determinó el esfuerzo en la rotura ( $\sigma_T$ ) y el modulo elástico (ET) en muestras tipo I (16,5 cm de largo, 2 cm de ancho y 3 mm de espesor), almacenadas previamente durante diez días a  $23 \pm 1^\circ\text{C}$  y  $50 \pm 1\%$  de humedad.

La resistencia a la flexión se evaluó bajo las especificaciones de la norma ASTM D790-10 [16]. Se determinó el esfuerzo en la rotura ( $\sigma\Phi$ ) y el modulo elástico (EF) en muestras almacenadas durante diez días a  $23 \pm 1^\circ\text{C}$  y  $50 \pm 1\%$  de humedad relativa, previa realización de la prueba. Para la evaluación de las pruebas de tensión y flexión se utilizó un texturómetro (Shimadzu, EZ Test L, Japón), equipado con una celda de carga de 500 N.

### Análisis estadístico

Se evaluaron 10 muestras por tratamiento y cada tratamiento se realizó por triplicado. Los datos reportados corresponden al promedio de las mediciones realizadas. Se realizó la prueba de normalidad de los datos, análisis de varianza y prueba de comparación múltiple de *Tukey* con un nivel de confianza del 95% ( $p < 0,05$ ) usando el paquete estadístico SPSS versión 20.

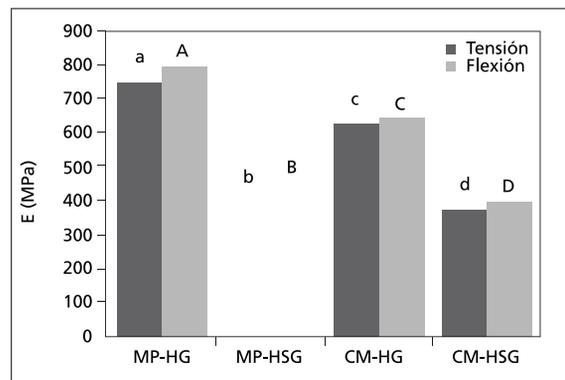
### Microscopia electrónica de barrido (MEB)

Las imágenes de los cortes trasversales de los bioplásticos fueron capturadas con un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-6490LV (USA) a partir de muestras cubiertas con cinta adhesiva conductora y posteriormente con un baño de oro. Se usó un voltaje de aceleración de 20 Kv y una magnificación de 750 aumentos.

## RESULTADOS

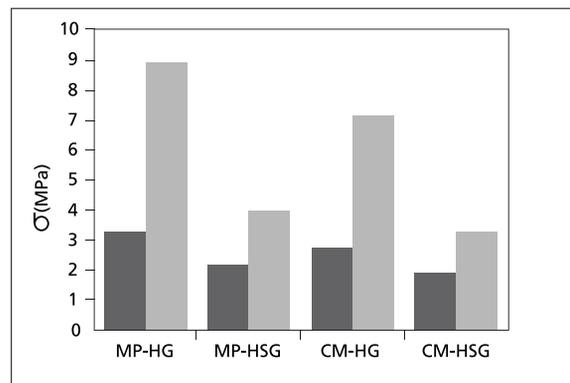
La figura 1, muestra la variación significativa ( $p < 0,05$ ) en el módulo elástico de tensión y flexión entre los tratamientos evaluados. Puede notarse que los bioplásticos elaborados con harina de yuca de la variedad MP presentaron valores más altos de ET y EF frente a los elaborados con harina de la variedad CM. De forma similar, los valores de  $\sigma_T$  y  $\sigma\Phi$  (figura 2) fueron superiores en las muestras elaboradas con harina de variedad de yuca MP. Este comportamiento puede relacionarse con la caracterización fisicoquímica de las harinas, en donde el poder de hinchamiento e índice de absorción de agua son mayores en la variedad CM [17]. En consecuencia, esto indica que los bioplásticos elaborados con la variedad CM absorben mayor cantidad de agua

Figura 1. Módulo elástico de los bioplásticos.



Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ )

Figura 2. Esfuerzo de rotura de los bioplásticos.



Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ )

frente a la variedad MP, afectando sus propiedades mecánicas; debido a que el agua absorbida actúa como plastificante, incrementando la movilidad intermolecular en la estructura del bioplástico favoreciendo su ductilidad resultando en la disminución de su resistencia mecánica de tensión y flexión.

De acuerdo con lo anterior, Mello y Mali [18] quienes fabricaron bandejas espumadas basadas en almidón de yuca, reportaron que la hidrofiliidad de las moléculas de almidón favorece la formación de puentes de hidrogeno con el agua, la cual actúa como plastificante, reduciendo las interacciones y la proximidad entre las cadenas poliméricas (amilosa/amilopeptina) del almidón, incrementando el volumen libre entre dichas moléculas, de manera que bajo fuerzas de tensión, los movimientos de las cadenas del almidón se facilitan y

esto se refleja en la disminución del esfuerzo mecánico del material.

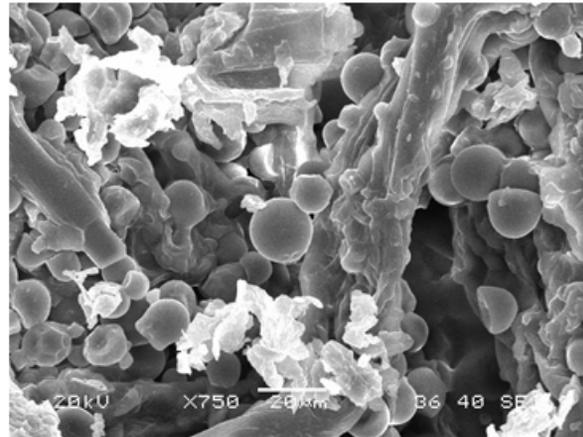
Por otra parte, Lee y otros autores [19] reportaron que el incremento de la disponibilidad de agua disminuyó la resistencia mecánica de láminas bioplásticas termo-comprimidas, debido a que el agua ganada actúa como plastificante, aumentando la flexibilidad de las muestras y disminuyendo consecuentemente su esfuerzo a la tensión.

Las muestras elaboradas con HG fueron mecánicamente más resistentes en términos de  $E_T$ ,  $E_F$ ,  $s_T$  y  $\sigma\Phi$  para ambas variedades (CM y MP) frente a las elaboradas con HSG. Este fenómeno puede atribuirse a que la gelatinización previa del componente amiláceo favorece la plastificación del bioplástico, incrementando la unión y adhesión entre la fibra, la harina y el glicerol, y consecuentemente incrementando su resistencia a los esfuerzos mecánicos aplicados. En la micrografía obtenida con MEB de la figura 3, puede apreciarse la plastificación incompleta en la micro-estructura de los bioplásticos elaborados con HSG, por cuanto permanecen gránulos de almidón libres en la matriz, y se evidencian poros y espacios vacíos que contribuyen a la disminución de la adherencia entre los componentes, disminuyendo su comportamiento mecánico. Janssen y Moscicki [20], afirman que la excesiva expansión y la presencia de poros afectan adversamente los valores de  $s_T$  de los materiales termoplásticos. No obstante, si la harina es previamente gelatinizada, la plastificación con la técnica de termo-compresión es más eficiente para la matriz polimérica, favoreciendo la homogeneidad en la microestructura y la adherencia entre sus componentes como se observa en la figura 4.

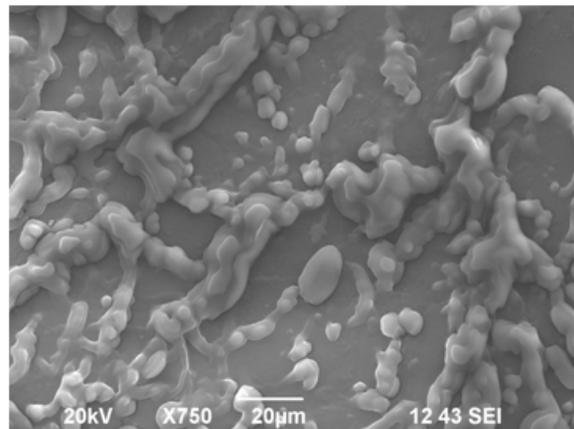
Los resultados del análisis de varianza, determinaron que la "variedad de yuca" empleada para obtener la harina y la "gelatinización" de la harina afectaron significativamente ( $p < 0,05$ ) las propiedades mecánicas de esfuerzo de rotura y módulo elástico, tanto de tensión como de flexión en los tratamientos evaluados, agrupando las respuestas en grupos diferentes como puede notarse en las figuras 1 y 2.

El comportamiento mecánico promedio de los bioplásticos elaborados con MP-HG fue de 3,2 MPa ( $s_T$ ), 748,7 MPa ( $E_T$ ), 8,8 MPa ( $\sigma\Phi$ ), y 791,6 MPa ( $E_F$ ) y de los elaborados con CM-HG fue de 2,7 MPa ( $s_T$ ), 623,9 MPa ( $E_T$ ), 7,1 MPa ( $\sigma\Phi$ ), y 637,6 MPa ( $E_F$ ). En general, las muestras de bioplásticos presentaron valores superiores a los reportados en poliestireno expandido

**Figura 3.** Micrografía MEB del corte trasversal del bioplástico MP-HSG.



**Figura 4.** Micrografía MEB del corte trasversal del bioplástico MP-HG.



con  $E_T$  de 60,4 MPa,  $s_T$  de 1,15 MPa,  $E_F$  78,9 MPa y  $\sigma\Phi$ : 0,96 MPa [12], por lo cual se consideran técnicamente factibles como alternativa de uso para empaquetar productos alimentarios. En otros estudios, la respuesta mecánica de bioplásticos de origen amiláceo ha tenido un comportamiento inferior al obtenido en este trabajo, como los reportados en materiales de almidón de yuca elaborados por termo-compresión con  $s_T$  de 1,7 MPa [21]; espumas extruidas a partir de almidón de papa y fibra de coco con  $s_T < 1$  MPa [22] y materiales elaborados con almidón de yuca pre gelatinizado reforzados con caolinita por moldeo-compresión con valores de  $s_T$  de 1,2 MPa [23].

Sin embargo, otros estudios han evaluado productos similares elaborados por termo-compresión con respuestas inferiores para el módulo elástico y superiores para el esfuerzo de tensión, como los estudiados en materiales obtenidos a partir de almidón de yuca

y fibra de coco con valores de  $s_T$  entre 3 y 9 MPa y  $E_T$  entre 176 y 373 MPa [3]; bioplásticos elaborados por termo-compresión a partir de almidón de yuca y fibras de yute y capoc, valores de  $s_T$  entre 4 y 5 MPa y  $E_T$  entre 30 y 40 MPa [24] y bandejas espumadas obtenidas por la técnica de horneado elaboradas con almidón de yuca y bagazo de malta [18] con valores de  $s_T$  entre 10 y 13 MPa.

De acuerdo con lo anterior, se evidencia que los resultados de este estudio muestran un comportamiento mecánico similar e incluso superior en algunos casos con respecto a los productos investigados por otros autores en condiciones similares de procesamiento; lo cual promueve el interés de continuar con la investigación en el campo de los bioplásticos obtenidos a partir de recursos amiláceos.

## CONCLUSIONES

Las muestras moldeadas por compresión elaboradas con harina de variedad de yuca MPER 183 presentaron mayores valores en las propiedades mecánicas de tensión y flexión frente a las elaboradas con harina de la variedad CM 4574-7.

La gelatinización de la harina previa al proceso de termo-compresión, evidenció un incremento en el módulo elástico y en el esfuerzo de rotura de tensión y flexión en los bioplásticos obtenidos con harina de las variedades MPER 183 Y CM 4574-7.

De acuerdo a los resultados de este trabajo, el uso de materia prima renovable (harina de yuca) puede ser una alternativa para el desarrollo de empaques para diferentes aplicaciones industriales (alimentos, farmacéuticos, entre otros) con propiedades mecánicas similares a las tradicionales.

## REFERENCIAS

[1] NAFCHI, A., MORADPOUR, M., SAEIDI, M. and ALIAS, A. Thermoplastic starches: Properties, challenges, and prospects. *Starch/Stärke*, 65(1-2), 2013, p. 61-72.

[2] PEELMAN, N., RAGAERT, P., DE MEULENAER, B., ADONS, D., PEETERS, R., CARDON, L., IMPE, F. and DEVLIEGHERE, F. Application of bioplastics for food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 32(2), 2013, p. 128-141.

[3] LOMELÍ, M., KESTUR, S., MANRÍQUEZ, R., IWA-KIRI, S., BOLZON, G. and FLORES, T. Bio-composites of cassava starch-green coconut fiber: Part II—Structure and properties. *Carbohydrate Polymers*, 102(15), 2014, p. 576-583.

[4] COLOMBIA. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRI-CULTURA TROPICAL (CIAT). Informe Anual 2008 [online]. 2008. Disponible en: [http://ciat.cgiar.org/wp-content/uploads/2013/03/informe\\_anual\\_2008.pdf](http://ciat.cgiar.org/wp-content/uploads/2013/03/informe_anual_2008.pdf) [citado 22 de marzo de 2014].

[5] JARAMILLO, G. Diagnóstico del cultivo de la yuca y su agroindustria en el departamento del Cauca año 2008 [online]. 2008. Disponible en: [http://ciat.cgiar.org/wp-content/uploads/2012/11/2008\\_06\\_18\\_G\\_Jaramillo.pdf](http://ciat.cgiar.org/wp-content/uploads/2012/11/2008_06_18_G_Jaramillo.pdf) [citado 22 de marzo de 2014].

[6] FARUK, O., BLEZKI, A., FINK, H. and SAIN, M. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*, 37(11), 2012, p. 1552- 1596.

[7] LUNA, G., VILLADA, H. y VELASCO, R. Almidón termoplástico de yuca reforzado con fibra de fique: Preliminares. *DYNA*, 76(159), 2009, p. 145-151.

[8] HIDALGO, M., MUÑOZ, M. y QUINTANA, K. Análisis mecánico del compuesto polietileno aluminio reforzado con fibras cortas de fique en disposición bidimensional. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 32(1), 2012, p. 89-95.

[9] BARRERA, M., HIDALGO, M. y MINA, J. Compuestos laminados de matriz polimérica reforzados con fibras naturales: Comportamiento mecánico. *Scientia et Technica*, 2(51), 2012, p. 51-59.

[10] MINA, J. Caracterización físico-mecánica de un almidón termoplástico (TPS) de yuca y análisis interfacial con fibras de fique. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(2), 2012, p. 99-109.

[11] VILLADA, H., NAVIA, D. and CASTAÑEDA, J. Biodegradable packaging obtained from cassava flour and fique fiber and their manufacture process. Patent WO 2013042094 A1, (C08L3/02, B65D65/46, B29C43/02, C08J5/04), 28 Mar 2013. Appl. PCT/IB2012/055060, 23 Sep. Bogotá (Colombia): 2012, 7 p.

[12] NAVIA, D., VILLADA, H. y AYALA, A. Evaluación mecánica de bioplásticos semirrígidos elaborados con harina de yuca. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, Ed Especial 2, 2013, p. 77-84.

[13] XIE, F., POLLET, E., HALLEY, P. and AVÉROUS, L. Starch-based nano-biocomposites. *Progress*

- in *Polymer Science*, 38(10-11), 2013, p. 1590-1628.
- [14] FU, Z., WANG, L., ZOU, H., LI, D. and ADHIKARI, B. Studies on the starch water interactions between partially gelatinized corn starch and water during gelatinization. *Carbohydrate Polymers*, 101(1), 2014, p. 727-732.
- [15] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM D638: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. Pennsylvania (USA): 2010, 16 p.
- [16] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM D790: Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. Pennsylvania (USA): 2010, 11 p.
- [17] NAVIA D. Desarrollo de un material para empaques de alimentos a partir de harina de yuca y fibra de fique [Tesis de maestría Ingeniería de Alimentos]. Cali (Colombia): Universidad del Valle, 2011, 127 p.
- [18] MELLO, L. and MALI, S. Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch. *Industrial Crops and Products*, 55(1), 2014, p. 187-193.
- [19] LEE, R., PRANATA, M., USTUNOL, Z. and ALME-NAR, E. Influence of glycerol and water activity on the properties of compressed egg white-based bioplastics. *Journal of Food Engineering*, 118(1), 2013, p. 132-140.
- [20] JANSSEN, L. and MOSCICKI, L. *Thermoplastic starch*. 1 ed. Weinheim (Germany): Wiley-VCH, 2010, 242 p.
- [21] REOLON, V. Desenvolvimento de bandejas biodegradáveis a partir da fécula de mandioca, cálcio e fibra de celulose [Tesis de maestría en Engenharia de alimentos]. Florianópolis (Brasil): Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, 2006, 76 p.
- [22] AGUILAR, E., ZAZUETA, J., JIMÉNEZ, O. and MARTÍNEZ, F. Mechanical and structural properties of expanded extrudates produced from blends of native starches and natural fibers of henequen and coconut. *Starch – Stärke*, 59(11), 2007, p. 533-542.
- [23] KAEWTATIP, K., and TANRATTANAKUI, V. Structure and properties of pregelatinized cassava starch/kaolin composites. *Materials and Design*, 37(1), 2012, 423-428.
- [24] PRACHAYAWARAKORN, J., CHAIWATYOTHIN, S., MUEANGTA, S. and HANCHANA, A. Effect of jute and kapok fibers on properties of thermoplastic cassava starch composites. *Materials and Design* 47(1), 2013, p. 309-315.

# EFECTO DEL PRETRATAMIENTO QUÍMICO Y ENZIMÁTICO EN LA DESLIGNIFICACIÓN DE BIOMASA AGROINDUSTRIAL TÍPICA DEL CAUCA

## EFFECT OF PRETREATMENT CHEMICAL AND ENZYMATIC ON DESLIGNIFICATION OF TYPICAL AGROINDUSTRIAL BIOMASS OF DEPARTMENT CAUCA

## EFEITO DO PRÉTRATAMENTO QUÍMICO E ENZIMÁTICO SOBRE DESLIGNIFICAÇÃO DO TÍPICO BIOMASSA AGRO DE CAUCA

ALVARO JAVIER PANTOJA-MATTA<sup>1</sup>, MILTON FERNANDO CUATIN-INGUILÁN<sup>2</sup>, DEYANIRA MUÑOZ-MUÑOZ<sup>3</sup>

### RESUMEN

*La deslignificación de biomasa lignocelulósica constituye un paso fundamental hacia la obtención de monosacáridos a partir de macromoléculas como la celulosa y hemicelulosa. Diferentes procesos físicos, químicos y biológicos, han sido empleados con el fin de alterar y modificar la matriz de diversas materias primas vegetales, por la presencia de lignina, uno de los componentes más recalcitrantes en su estructura. En esta investigación, se caracterizó biomasa lignocelulósica de bagacillo de caña (M1), polvillo de fique (M2) y de afrecho de yuca (M3) y la mezcla en iguales proporciones de los tres materiales (M4). Se realizó pretratamiento químico a la biomasa, usando bisulfito de sodio comercial al 4% p/p y pretratamiento enzimático con enzima lacasa al 1% p/p. El primero redujo la mayor cantidad de lignina, generando una deslignificación*

**Recibido para evaluación:** 11 de Agosto de 2014. **Aprobado para publicación:** 6 de Mayo de 2015.

- 1 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agroindustria, Grupo Diseño Procesos y Energía. Ingeniero Agroindustrial. Popayán, Colombia.
- 2 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agroindustria, Grupo Diseño Procesos y Energía. Ingeniero Agroindustrial. Popayán, Colombia.
- 3 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agroindustria, Grupo Diseño Procesos y Energía. Msc en Ingeniería énfasis ingeniería Sanitaria y Ambiental. Popayán, Colombia.

**Correspondencia:** pantojalvaro@gmail.com

del 32,26% en M1 y de 62,72% en M2, mientras el pretratamiento enzimático generó el 67,91% de deslignificación en la mezcla M4. En todos los residuos, el rango de deslignificación de 19,46% al 67,91% produjo un incremento de celulosa en un rango del 25,57% al 200,12%. De la investigación se concluyó que el pretratamiento químico generó mayor deslignificación mientras que el pretratamiento enzimático, mayor incremento de celulosa.

## ABSTRACT

*Delignification of lignocellulosic biomass is an essential step towards obtaining monosaccharides from macromolecules such as cellulose and hemicellulose. Different physical, chemical and biological processes have been employed to alter and modify the array of different plant materials, by the presence of lignin, one of the most recalcitrant components in its structure. In this research, lignocellulosic biomass sugarcane bagasse (M1), sisal dust (M2) and cassava bran (M3) and the mixture of equal proportions of the three materials (M4) was characterized. Chemical pretreatment was performed biomass using sodium bisulfite commercial 4% w/w laccase enzyme pretreatment with 1% w/w. The first reduced as much lignin, generating 32,26% in delignification of M1 and M2 62,72%, while the enzyme pretreatment resulted in 67,91% of the mixture M4 delignification. In all residues delignification range 19,46% to 67,91% of cellulose was an increase in the range of 25,57% to 200,12%. The investigation concluded that the chemical pretreatment resulted in increased delignification while the enzymatic pretreatment, greatest increase in cellulose.*

## PALABRAS CLAVES:

Residuos, Procesos, Lignocelulosa,

## KEY WORDS:

Residues, Processes, Lignocellulose.

## PALAVRAS-CHAVE:

Resíduos, Processos, Lignocelulose.

## RESUMO

*Deslignificação de biomassa lignocelulósica é um passo essencial para a obtenção de monossacarídeos de macromoléculas, como celulose e hemicelulose. Física diferente, processos químicos e biológicos têm sido utilizados para alterar e modificar a matriz de diferentes materiais de plantas, pela presença de lignina, um dos componentes mais recalcitrantes em sua estrutura. Nesta pesquisa, biomassa lignocelulósica bagaço de cana (M1), pó de sisal (M2) e farelo de mandioca (M3) e da mistura de partes iguais de três materiais (M4) foi caracterizado. Pré-tratamento químico foi realizado utilizando biomassa de bissulfito de sódio comercial 4% w/w de pré-tratamento da enzima lacase com 1% w/w. O primeiro reduzido tanto lignina, gerando 32,26% em deslignificação de M1 e M2 62,72%, enquanto que o pré-tratamento da enzima resultou em 67,91% da mistura M4 deslignificação. Em todos os resíduos de deslignificação variam 19,46% a 67,91% de celulose foi um aumento na gama de 25,57% a 200,12%. A investigação concluiu que o pré-tratamento químico resultou em aumento da deslignificação enquanto o pré-tratamento enzimático maior aumento em celulose.*

## INTRODUCCIÓN

En Colombia, los sectores industriales, institucionales y académicos, trabajan en conjunto para estudiar mecanismos de aprovechamiento óptimo de todas las formas de biomasa, con el propósito de generar alternativas eficientes para la producción de biocombustibles y de energía.

Las plantas fijan carbono atmosférico por el proceso de fotosíntesis para sintetizar polímeros. La biomasa vegetal se refiere a los tejidos vegetales presentes en residuos agrícolas y agroindustriales, ricos en polisacáridos de celulosa y hemicelulosa, que representan un alto potencial para su transformación en monosacáridos como la glucosa y xilosa. En general la composición de celulosa está entre 25 y 55%, de hemicelulosa entre 20 y 50% y lignina entre 5 y 30% [1,2,3]. Adicionalmente, la biomasa lignocelulósica contiene gran variedad de compuestos orgánicos como (grasas, ceras, alcaloides, proteínas, fenoles simples y complejos, entre otros) y compuestos inorgánicos, como las cenizas, que corresponden al 2% del peso seco [3].

La presencia de lignina en estos tejidos, genera una barrera que impide la exposición adecuada de la celulosa para los procesos de hidrólisis enzimática. La lignina es un biopolímero aromático tridimensional complejo, variable e hidrofóbico que confiere rigidez y alto nivel de compactibilidad a la pared celular de las plantas [4, 5].

El costo de producción de etanol a partir de biomasa lignocelulosa puede ser alto cuando se aplica pretratamiento para reducir la recalcitrancia del sustrato, conferido por la lignina, biopolímero aromático tridimensional complejo que le confiere la rigidez y alto nivel de compactibilidad a la pared celular de las plantas [3,4,5].

La separación de la celulosa de la lignina es uno de los muchos obstáculos técnicos que deben superarse para que los biocombustibles puedan ser producidos económicamente a partir de celulosa que contienen los residuos. El pretratamiento representa la etapa de mayor costo en la conversión de biomasa a etanol, por lo cual en la actualidad las investigaciones se enfocan a desarrollar pretratamientos de deslignificación, tecnologías limpias y metodologías de innovación que mejoren los procesos de sacarificación y fermentación [6, 7, 8, 9, 10, 11].

De acuerdo a las estadísticas reportadas por el Anuario Estadístico, 2011, la superficie cosechada, la producción y los rendimientos para los cultivos típicos en el departamento del Cauca son: para el cultivo de caña, 34.937 ha, 40.338 ton y 1.151 Kg/ha; para el cultivo de fique, 7.755 ha, 8.976 ton y 9.226 Kg/ha; y para el cultivo de yuca: 3.412 ha, 31.419 ton, 9.226 Kg/ha [12]. Lo anterior evidencia un volumen considerable de generación de residuos lignocelulósicos que pueden ser aprovechados.

Estos residuos resultantes de la etapa de desmedulado del bagazo de caña, del peinado de la fibra larga de fique y del tamizado de la lechada del almidón de yuca en las rallanderías son desaprovechados en el departamento del Cauca y se convierten en inconvenientes para la sostenibilidad de las cadenas productivas de estos cultivos.

El propósito de este trabajo es evaluar, el efecto del pretratamiento químico y enzimático en la deslignificación de los residuos agroindustriales provenientes del departamento del Cauca bagacillo de caña, polvillo de fique, afrecho de yuca.

## MÉTODO

### Obtención de muestras de biomasa

En esta investigación, se empleó biomasa de residuos agroindustriales típicos de los departamentos del Valle del Cauca y Cauca: bagacillo de caña, suministrado por la empresa Ingenio Riopaila; polvillo de fique, suministrado por la empresa Empaques del Cauca y afrecho de yuca, de la rallandería Almidones La Zelandia, del corregimiento de Mondómo (Santander de Quilichao).

### Preparación de muestras de ensayo

Para efectos de este estudio, los tres residuos agroindustriales fueron identificados así: 100% bagacillo de caña (M1); 100% polvillo de fique (M2) y 100% afrecho de yuca (M3). Estos residuos fueron adecuados mediante secado, reducción de tamaño y tamizado. Se trabajó con un tamaño de partícula inferior al tamiz N°. 40. Se utilizó el procedimiento de la guía No. 4: "Reducción de Tamaño y Tamizado" del laboratorio de Operaciones Unitarias I, de la Universidad del Cauca. Se usó un juego de tamices ASTM (10, 16, 20, 30, 40, 50, 60 y 70), y Tamiz Tyler 16, balanza electrónica y

molino de martillos. Finalmente, la muestra de biomasa M4, se obtuvo a partir de la mezcla de los residuos M1, M2 y M3 previamente adecuados.

### Cuantificación de biomasa lignocelulósica

Existen diferentes métodos de cuantificación de celulosa, hemicelulosa y lignina como los procedimientos establecidos por la norma TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry) y los protocolos NREL/TP-510-42618, establecido por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable de Estados Unidos, (NREL). [13,14].

Otra técnica de caracterización corresponde al método de dosificación de las fibras insolubles de Van Soest, el cual determina holocelulosa,  $\alpha$ -celulosa y lignina fraccionando la pared celular de las fibras [13]. Este método fue el empleado en la caracterización de las muestras de biomasa residual en este estudio.

Se cuantificó la proporción de Fibra Detergente Neutra (FND) mediante la acción de un detergente sobre la muestra para separar la fracción fibrosa de la fracción soluble, la Fibra Detergente Ácida (FDA) y Lignina total expresada como Lignina Ácido Detergente (LAD). Los contenidos de celulosa y hemicelulosa se calcularon con las siguientes expresiones [15,16]:

$$\% \text{ Celulosa} = \% \text{ FDA} - \% \text{ LAD}$$

$$\% \text{ Hemicelulosa} = \% \text{ FDN} - \% \text{ FDA}$$

$$\% \text{ Solubles} = 100\% - \% \text{ FDN}$$

Los análisis composicionales de la biomasa lignocelulósica de M1, M2, M3 y la mezcla (M4), se realizaron, mediante servicio técnico contratado con el Laboratorio de Calidad de Forrajes del Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT, ubicado en el municipio de Palmira, departamento del Valle del Cauca.

### Pretratamiento químico de la biomasa

En los pretratamientos químicos se emplean agentes químicos para alterar la estructura lignocelulósica y solubilizar los azúcares. Un procedimiento es la deslignificación que emplea sulfito para recubrimiento recalcitrante de lignina, (SPORL), el cual disminuye sustancias inhibitorias derivadas de la lignina. Aplicado en paja de arroz, mostró alta proporción de  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  en el licor del pretratamiento,

mejor deslignificación (53,4%) y sulfonación de la lignina, y conservación de polisacáridos (91,4%) [5, 17, 18, 19].

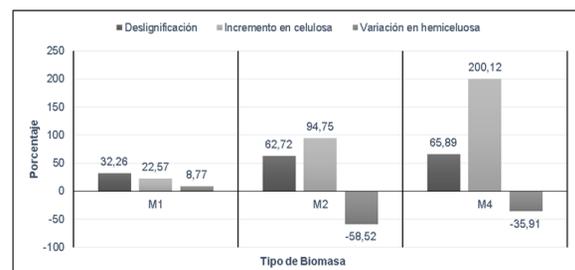
El pretratamiento químico utilizado en la deslignificación de las muestras M1, M2 y M4, empleó el efecto oxidante del bisulfito de sodio  $\text{Na}(\text{SO}_3)_2$ , para lograr la desintegración de la lignina que recubre las fibrillas celulósicas de la pared celular [5]. Para ello, se empleó un licor de bisulfito de sodio al 4% p/p, para generar la redistribución de la lignina acompañada de una baja producción de inhibidores. Se utilizó una relación sólido-líquido del 6% p/v [18,19] y se aplicó un proceso de reflujo o digestión en paralelo (figura 1).

### Pretratamiento enzimático de biomasa

En los pretratamientos biológicos, la biomasa se somete a la acción de microorganismos como los hongos o enzimas (lacasas) que degradan en forma aeróbica, la lignina. En procesos de biopulpeo enzimático, los pretratamientos que usan mediadores como el HBT (1-hidroxibenzotriazol) o el ABTS (2,2- azinobis (3-etilbenzotiazoline-6sulfonato), disminuyen lignina en su totalidad manejando tiempos cortos de 2 a 8 horas, pero su uso es restringido por el alto costo y biodegradabilidad limitada [17, 20].

En el pretratamiento enzimático para la deslignificación de las muestras del estudio M1, M2 y M4, se consideró las propiedades lignolíticas de la enzima lacasa comercial ECOFADE LT 100 de la empresa MERQUIAND LTDA. El uso de este pretratamiento conlleva a la baja producción de inhibidores y el bajo impacto ambiental y económico [20]. Se empleó una carga enzimática del 1% p/p respecto al material, a condición de 20 °C y 150 rpm por un periodo de 12 horas.

**Figura 1.** Modificación de celulosa y hemicelulosa por pretratamiento químico



**Cuadro 1.** Composición lignocelulósica y de material inorgánico de los residuos

| Tipo de Biomasa | Lignina Ácido Detergente LAD (%) | Hemicelulosa (%) | Celulosa (%) | Diferencial Δ(%) | Cenizas (%) | Nitrógeno no proteico (%) |
|-----------------|----------------------------------|------------------|--------------|------------------|-------------|---------------------------|
| M1              | 14,54                            | 19,50            | 42,00        | 23,96            | 6,83        | 0,28                      |
| M2              | 14,86                            | 3,64             | 21,35        | 60,15            | 8,37        | 0,88                      |
| M3              | 1,06                             | 23,00            | 21,35        | 54,59            | 1,64        | 0,18                      |
| M4              | 19,82                            | 12,81            | 16,24        | 51,13            | 5,85        | 0,44                      |

M1: 100% Bagacillo de caña; M2: 100% Polvillo de fique; M3: 100% Afrecho de yuca; M4: 33,33% Bagacillo de caña; 33,33% Polvillo de fique; 33,33% Afrecho de yuca

### Cuantificación de lignina, celulosa y hemicelulosa

Las muestras de biomasa M1, M2 y M4, pretratadas química y enzimáticamente, se caracterizaron calcularon los porcentajes de deslignificación y las variaciones porcentuales en celulosa y hemicelulosa.

### RESULTADOS

El diferencial obtenido en la composición de los residuos, Δ(%), (cuadro 1), corresponde al porcentaje de sustancias solubles en los diferentes detergentes usados en el método Van Soest, como proteínas, nitrógeno no proteico, lípidos, pigmentos, azúcares, ácidos orgánicos y pectinas.

Las muestras M1, M2 y M4 presentaron el mayor contenido de lignina y requieren pretratamientos para la remoción del polímero y modificación de la estructura de la fibra, antes de ser empleados en procesos de hidrólisis enzimática, mientras que el afrecho de yuca (M3), no los requiere por el bajo contenido de lignina (1,06%) y por la inversión costo/energética en que se incurre.

Los residuos presentaron una composición de hemicelulosa más heterogénea, el mayor contenido se presentó en el afrecho de yuca con un 23%, por lo tanto tiene mayor potencial para la obtención de pentosas y hexosas, a diferencia del polvillo de fique que presentó el 3,64%. En la muestra M4, el contenido de lignina fue de 19,82%, mayor a lo esperado, considerando que los residuos M1, M2 y M3 son sus componentes y registraron valores de 14,54%, 14,86% y 1,06% en lignina respectivamente.

Es necesario aclarar que durante la cuantificación por el método de Van Soest, el resultado fue alterado por

la presencia de otros componentes como sílice (cenizas), cutina y nitrógeno no proteico. En este caso, el polvillo de fique fue el mayor aportante de cenizas según los análisis elemental y proximal (cuadro 1). Este es el componente que más afectó la determinación de lignina mientras el efecto de los otros componentes fue despreciable.

La presencia del afrecho de yuca en M4, afectó los contenidos de celulosa y hemicelulosa, debido a que la interferencia del almidón, incrementa el porcentaje de fibra detergente neutra en la mezcla M4, de acuerdo a resultados previamente obtenidos [21].

### Efecto del pretratamiento químico

La composición de los residuos tras ser sometidos a pretratamiento químico, se indica en el cuadro 2. El mayor porcentaje de remoción de lignina en las fibras, se presentó en la muestra M4 con un valor de 65,89%, a pesar de tener inicialmente la mayor proporción de este componente. Lo anterior muestra el beneficio de utilizar el pretratamiento con bisulfito de sodio a rango de pH de 5-9 [18], para obtener la mayor exposición

**Cuadro 2.** Composición de residuos pretratados químicamente.

| Tipo de biomasa | Lignina Ácido Detergente LAD (%) | Hemicelulosa (%) | Celulosa (%) |
|-----------------|----------------------------------|------------------|--------------|
| M1              | 9,85                             | 21,21            | 51,48        |
| M2              | 5,54                             | 1,51             | 41,58        |
| M4              | 6,76                             | 8,21             | 48,74        |

M1: 100% Bagacillo de caña; M2: 100% Polvillo de fique; M4: 33,33% Bagacillo de caña; 33,33% Polvillo de fique; 33,33% Afrecho de yuca

de la estructura de las fibras al ataque enzimático en un proceso de hidrólisis.

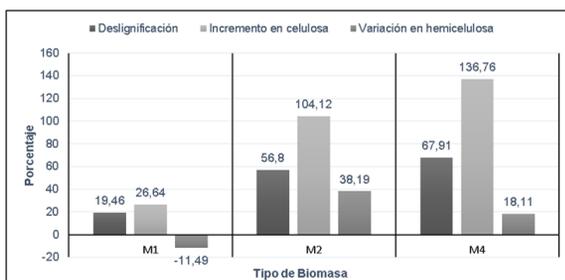
El pretratamiento químico no afectó negativamente la proporción de celulosa en cada residuo (figura 1), por lo tanto permitió la modificación de las fibras con una limitada formación de inhibidores derivados de la degradación de celulosa, tal como se reporta por otros investigadores [5].

El bagacillo de caña (M1) presentó el mayor contenido de celulosa después del pretratamiento (51,48%), mientras que la muestra de biomasa M4, presentó un contenido final de celulosa (48,74%), menor a M1, aunque la presencia del afrecho de yuca (M3) favorece el incremento de celulosa después de la deslignificación, por encima del 100%.

Se observa sólo incremento positivo de hemicelulosa en M1 (figura 2), mientras en los residuos M2 y M4 se presentaron pérdidas de hemicelulosa. La variación negativa del contenido de hemicelulosa para el polvillo de fique (M2) y la muestra de biomasa M4, se puede asociar a una disposición más susceptible del polisacárido a la solubilización provocada por el medio ácido generado en el licor de pretratamiento, ocasionando pérdidas del polisacárido, por el bajo grado de polimerización, estructura amorfa y ramificada al azar [5].

Considerando los resultados reportados para bagazo de caña pretratado usando celulasas a partir de *Penicillium funiculosum* y *Trichoderma harzianu*, sometido a diferentes concentraciones de NaOH, la deslignificación del bagazo de caña fue de 52,06%, la pérdida de hemicelulosa de 58,8% y el incremento de celulosa del 99,4%. Estos resultados son comparables con los obtenidos para el polvillo de fique pretratado químicamente, donde se logró un porcentaje de deslignificación del 62,72%, disminución de hemicelulosa de 58,5% e incremento en celulosa del 94,75% [22].

**Figura 2.** Modificación en celulosa y hemicelulosa del pretratamiento enzimático sobre los residuos



**Cuadro 3.** Residuos pre-tratados enzimáticamente.

| Residuo o Biomasa | Lignina Acido Detergente LAD (%) | Hemicelulosa (%) | Celulosa (%) |
|-------------------|----------------------------------|------------------|--------------|
| M1                | 11,71                            | 17,26            | 53,19        |
| M2                | 6,42                             | 5,03             | 43,58        |
| M4                | 6,36                             | 15,13            | 38,45        |

M1: 100% Bagacillo de caña; M2: 100% Polvillo de fique; M4: 33,33% Bagacillo de caña; 33,33% Polvillo de fique; 33,33% Afrecho de yuca

Se ha estudiado la deslignificación alcalina de bagazo de caña (35,5% de celulosa y 21,3% de lignina) [23]. La máxima deslignificación (48,7%) fue obtenida con la mayor concentración de álcali (5% NaOH por 24 horas). Al comparar estos resultados, con los obtenidos para el bagacillo de caña pretratado con bisulfito de sodio, se encuentra que a pesar de que el tratamiento alcalino es más fuerte, el grado de deslignificación es comparable, teniendo en cuenta un tiempo de reacción menor y un agente químico menos agresivo como el bisulfito de sodio.

### Efecto del pretratamiento enzimático

La composición lignocelulósica de los residuos pre-tratados enzimáticamente, se indica en el cuadro 3. En todas las muestras después del pretratamiento de deslignificación con la enzima lacasa, se observó incremento de celulosa y reducción de lignina respecto a los contenidos iniciales. Solo en bagacillo de caña (M1) se redujo la fracción de hemicelulosa.

La figura 2 resume los porcentajes de deslignificación de los residuos, después del pretratamiento enzimático. El residuo M4, presentó la mayor reducción de lignina, alcanzando un valor de 67,91%, que comparado con el 65,89% obtenido en el pretratamiento químico, resulta superior, indicando que la acción enzimática fue más eficiente y específica en la degradación de lignina en una mezcla de residuos como M4.

Sin embargo, se puede interpretar como un efecto homogéneo diferenciado por las condiciones de los procedimientos utilizados en cada uno de ellos. En el pretratamiento químico se requirió de 3 horas mientras en el enzimático, de 12 horas, lo cual incide en el consumo energético. Además, el proceso enzimático generó una baja carga de residuos químicos mientras que el proceso químico donde se usó bisulfito de so-

dio, generó residuos que deben ser neutralizados por presentar niveles de pH inferiores a 6.

El bagacillo de caña (M1) presentó el menor incremento de celulosa, después del pretratamiento enzimático, mientras los residuos M2 y M4 aumentaron la fracción de celulosa de forma significativa.

El mayor contenido de hemicelulosa después del pretratamiento, se registró en M1, pero se produjo pérdida del 11,49% en el contenido final, significando un efecto negativo del proceso lignolítico, en la fracción hemicelulósica al estar ligada a la fracción de lignina. Evaluando en conjunto los resultados del pretratamiento enzimático, el porcentaje de disminución de lignina alcanzado en la deslignificación, evidencia que la enzima lacasa favoreció la deslignificación en residuos lignocelulósicos como M2 y M4.

Iqbal *et al.*, (2012) estudiaron la deslignificación enzimática de bagazo de caña, para exponer polímeros de celulosa para la sacarificación y producción de bioetanol. Se empleó un extracto enzimático con las siguientes actividades lignolíticas: lignina peroxidasa, manganeso peroxidasa y lacasa, para la deslignificación del bagazo con contenidos de 35,5% en celulosa y 21,3% en lignina. La mayor reducción de lignina y el máximo porcentaje de deslignificación alcanzado, fue del 33,5%.

Este porcentaje de reducción es superior al obtenido por el pretratamiento enzimático sobre el bagacillo de caña M1 (19,46%), a pesar de que este residuo, presentó un porcentaje de lignina menor, lo cual permite analizar un mayor efecto en la deslignificación de un tipo de biomasa recalcitrante como el bagazo de caña usando un complejo con mayor especificidad y un mayor tiempo de proceso (48 horas), con respecto a lo generado por la enzima lacasa en un tiempo de proceso reducido (12 horas), sobre bagacillo de caña.

Salcedo *et al.*, (2011) estudiaron la deslignificación enzimática de residuos de cosecha de caña de azúcar (hojas y cogollos) empleando la enzima comercial Suberasa® (Novozyme). Se alcanzó un porcentaje de deslignificación del 41,3% y la proporción de celulosa se incrementó considerablemente. En cuanto al bagacillo de caña, la deslignificación enzimática no fue eficiente respecto a lo encontrado en los residuos de cosecha de caña de azúcar, reflejando mayor recalcitrancia y complejidad de la estructura de las fibras asociadas al tallo de la planta, con respecto a las fibras

asociadas a tejidos, presentes en hojas y cogollos. Así mismo, la complejidad de la enzima usada influye de forma positiva sobre los resultados del estudio de residuos de cosecha de caña de azúcar.

## CONCLUSIONES

Del estudio del efecto del pretratamientos químico y enzimático en la deslignificación de residuos lignocelulósicos, se concluye que en un rango de deslignificación entre el 19,46% al 67,91%, se obtuvo un incremento en celulosa entre el 25,57% y el 200,12% para los residuos M1, M2 y M4.

El pretratamiento químico permitió mayor deslignificación y el enzimático, mayor incremento de celulosa. Entre ambos, el pretratamiento químico fue el más eficiente para modificar la composición lignocelulósica de los residuos del estudio e incrementar el porcentaje de celulosa.

En M1, el incremento de celulosa en el proceso enzimático (26,64%) fue comparable al químico (22,57%), por lo tanto se presentó mayor actividad específica de la enzima lacasa para oxidar la lignina, a pesar que el pretratamiento químico ofreció mayor efecto en la deslignificación.

La deslignificación química del bagacillo de caña, usando bisulfito de sodio resultó comparable a lo reportado en otros estudios con pretratamientos más severos. Sin embargo es necesario investigar en la modificación de la fibra, la alteración de la cristalinidad de la celulosa y la recalcitrancia de la lignina de un residuo como el bagazo de caña.

El pretratamiento enzimático con la enzima lacasa presentó menores efectos en la deslignificación y modificación de la fibra, respecto a otros estudios donde se reporta el uso de mecanismos enzimáticos para el pretratamiento de biomasa. Es necesario la aplicación de complejos lignolíticos de amplio espectro y especificidad, así como el uso de mediadores de origen natural o químico para incrementar la eficiencia de la enzima y su acción sobre la lignina.

El método de dosificación de fibras insolubles de Van Soest, empleado para la caracterización de los residuos de la investigación, no permitió obtener resultados confiables y coherentes en la composición lignocelulósica de los residuos, debido a la presencia de

almidón y sílice en los residuos, lo cual influye en la precisión y estimación de las fracciones de fibra detergente neutra y lignina ácido detergente. La caracterización química requiere de técnicas más precisas para estimar las proporciones de celulosa y hemicelulosa.

## AGRADECIMIENTOS

Al grupo de investigación: Diseños, Procesos y Energía de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca, por los recursos financieros aportados en la ejecución de la metodología. Al grupo de investigación ASUBAGROIN, director y todos sus integrantes, por sus valiosas asesorías en el desarrollo del estudio.

## REFERENCIAS

- [1] GUARNIZO, F.A., MARTINEZ, Y.P.N. y PINZON, B.M.L. Azúcares del pseudotallo de plátano: una opción para la obtención de alcohol de segunda generación. *Revista Bistua*, 10 (1), 2012, p. 39-51.
- [2] PHITSUWAN, P., SAKKA, K. and RATANAKHANOKCHAI, K. Improvement of lignocellulosic biomass in plant: A review of feedstocks, biomass recalcitrance, and strategic manipulation of ideal plants designed for ethanol production and processability. *Biomass and Bioenergy* XXX, 1-16, 2013. p. 2.
- [3] SUESCA-DÍAZ, A. Producción de enzimas celulolíticas a partir de cultivos de *Trichoderma sp.* con biomasa lignocelulósica [M.Sc. Tesis Ingeniería Química]. Bogotá, D.C (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, 2012, p. 5-10.
- [4] ABRIL, A. y NAVARRO, E.A. Etanol a partir de biomasa lignocelulósica [online]. Disponible en: [http://www.researchgate.net/publication/241216642\\_Etanol\\_a\\_partir\\_de\\_biomasa\\_lignocelulsica/file/9c96051c8409028b93.pdf](http://www.researchgate.net/publication/241216642_Etanol_a_partir_de_biomasa_lignocelulsica/file/9c96051c8409028b93.pdf) [citado 15 de marzo de 2014].
- [5] LIMAYEN, A. and RICKE, S. Lignocellulosic biomass for bioethanol production: Current perspectives, potential issues and future prospects. *Progress in Energy and Combustion Science*, 38, 2012, p. 449-467.
- [6] SÁNCHEZ-RIAÑO, A., GUTIÉRREZ-MORALES, A., MUÑOZ-HERNÁNDEZ, J. y RIVERA-BARRERO, C. Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *Revista Tumbaga*, 1(5), 2010, p. 65-67.
- [7] DOHERTY, W., MOUSAVIOUM, P. and FELLOWS, C. Value-adding to cellulosic ethanol: Lignin polymers. *Industrial Crops and Products*, 33, 2010, p. 259-276.
- [8] LÓPEZ, F., GARCÍA, J., FERIA, M., ZAMUDIO, M. y PÉREZ, A. Biorrefinería de materiales lignocelulósicos: *Eucalyptus globulus* [online]. Disponible en: [http://www.uhu.es/cideu/Boletin/Boletin8\\_9/BolInf8-9CIDEU75-82.pdf](http://www.uhu.es/cideu/Boletin/Boletin8_9/BolInf8-9CIDEU75-82.pdf) [citado 20 de abril de 2013].
- [9] AGUILAR V.D. Producción de etanol a partir de bagazo de caña panelera mediante un sistema híbrido de fermentación y pervaporación [Tesis Ingeniería Química]. Manizales (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, p. 6-11, 2011.
- [10] JUÁREZ-BARRIENTOS, J.M., RAMÍREZ-RIVERA, E.J., RAMÍREZ-FIGUEROA, E., RAMÓN-CANUL, L.G. y RODRIGUEZ-MIRANDA, J. Aplicación y comparación de pretratamientos totalmente libres de cloro en residuos de piña y zapote mamey para la obtención de carboximetilcelulosa. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2 (1), 2011, p.108-126.
- [11] REQUEJO, A., RODRIGUEZ, A., COLODETTE, J.L. and JIMENEZ, L. TCF bleaching sequence in kraft pulping of olive treep runing residues. *Bioresource Technology*, 4 (84), 2012, p. 117-123.
- [12] COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR). Anuario Estadístico Agropecuario y Pesquero. Resultados y Evaluaciones Agropecuarias Municipales. Bogotá (Colombia): 2012.
- [13] SUÁREZ, O.G. Evaluación de la calidad de la fibra de los subproductos del fruto del zapote (*Matisia cordata*) y su aplicación en la elaboración de productos fibrosos [Tesis Químico]. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación, Popayán, 2009, p. 20-25
- [14] ÁLVAREZ R.A., PIZARRO G.C. y FOLGUERAS D.M. Caracterización química de biomasa y su relación con el poder calorífico [Tesis M.Sc. Ingeniería Energética]. Oviedo (España): Universidad de Oviedo, Departamento de Energía, 2012, 12 p.
- [15] COLOMBIA. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT). Informe de carac-

- terización de residuos agroindustriales. Palmira (Colombia): Laboratorio de Forrajes, 2013
- [16] PERNALETE, Z., PIÑA, F., SUAREZ, M., FERRER, A. y AIELLO, C. Fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal: efecto de la humedad del bagazo y la carga de amoníaco. *Bioagro*, 20(1), 2008, p. 3-10.
- [17] GARCÍA, M. Biorrefinerías: Situación Actual y Perspectivas de Futuro. Informe de Vigilancia Tecnológica. Madrid (España): Fundación Española para el Desarrollo de la Investigación en Genómica y Proteómica. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, 2008.
- [18] YANG, L., CAO, J., MAO, J. and JIN, Y. Sodium carbonate sodium sulfite pretreatment for improving the enzymatic hydrolysis of rice straw. *Industrial Crops and Products* 43, 2013, p. 711–717.
- [19] WU, M., PANG, J., LU, F., ZHANG, X., CHE, L., XU, F. and SUN, R. Application of new expansion pretreatment method on agricultural waste. Part I: Influence of pretreatment on the properties of lignin. *Industrial Crops and Products*, 50, 2013, p. 887–895.
- [20] ÁVILA, M., PALECHOR, J. y VALENCIA, E. Biopulpeo por vía enzimática de fibras de fique usadas para el desarrollo de matrices moldeadas con harina de yuca [Tesis Ingeniería Agroindustrial]. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, 2013.
- [21] COLOMBIA. UNIVERSIDAD DEL CAUCA. VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES. Potencial energético de la mezcla de bagacillo de caña, polvillo de fique y afrecho de yuca para obtener bioetanol. Popayán (Colombia): Informe Final de Investigación, 2013.
- [22] MAEDA, R., SERPA, V., LIMA, V., ALVES, R., MELO, L., MACHADO DE CASTRO, A., DRIEMEIR, C., PEREIRA, N. and POLIKARPOV, I. Enzymatic hydrolysis of pretreated sugar cane bagasse using *Penicillium funiculosum* and *Trichoderma harzianum* cellulases. *Process Biochemistry*, 46, 2011, p. 1196-1201.
- [23] IQBAL, H., ASGHER, M. and AHMAD, Z. Alkali and enzymatic delignification of sugarcane bagasse to expose cellulose polymers for saccharification and bio-ethanol production. *Industrial Crops and Products*, 44, 2012, p. 488-495.
- [24] SALCEDO, M.J., LÓPEZ-GALÁN, J. y FLÓREZ-PARDO, L. Evaluación de enzimas para la hidrólisis de residuos (hojas y cogollos) de la cosecha de caña de azúcar. *Dyna*, 78(169), 2011, p. 182-190.

# ANÁLISIS DE LOS PATRONES ESPACIALES DEL PAISAJE EN UN CORREDOR BIOLÓGICO DEL MACIZO COLOMBIANO CAUCA.

## ANALYSIS OF LANDSCAPE PATTERNS IN A BIOLOGICAL CORRIDOR OF COLOMBIAN ANDEAN, CAUCA DEPARTMENT.

## ANÁLISE DOS PADRÕES DE PAISAGEM EM UM CORREDOR BIOLÓGICO DE COLÔMBIA ANDINA, DEPARTAMENTO DE CAUCA.

MARÍA CAMILA OROZCO M.<sup>1</sup>, LUIS EDUARDO CERON R.<sup>2</sup>, JUAN PABLO MARTÍNEZ I.<sup>3</sup>,  
ROMÁN OSPINA M.<sup>4</sup>.

### RESUMEN

*Se determinó el patrón espacial de paisaje para un corredor biológico propuesto entre los municipios de Almaguer, Sucre y la Vega en el departamento del Cauca, cuya extensión es 28726 ha. El análisis se efectuó a partir del procesamiento de imágenes satelitales generando cartografía sobre usos del terreno empleando plataformas SIG. Se establecieron cuatro cuadrantes de análisis espacial, cada uno de 1600 ha, seleccionados en función del gradiente altitudinal y el tipo de usos del terreno presentes en la zona. En cada uno de los cuadrantes se aplicaron métricas del paisaje determinando diversidad, riqueza, composición y estructura a partir de variables como área, número de parches, índice de parche mayor, índice de forma del paisaje, índice de yuxtaposición y conectividad calculados con el programa Fragstats©. En la zona se encontró una elevada fragmentación ecosistémica predominando una matriz antropogénica (pastos limpios). Con los resultados obtenidos se establecieron lineamientos de conservación para usos del terreno conformados por bosques primarios, intervenidos, riparios y vegeta-*

**Recibido para evaluación:** 11 de Agosto de 2014. **Aprobado para publicación:** 6 de Mayo de 2015.

- 1 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias. Ingeniera Forestal. Popayán, Colombia.
- 2 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias. Ingeniera Forestal. Popayán, Colombia.
- 3 Universidad del Cauca, Grupo de Estudios Ambientales. Biólogo, Candidato a Doctor en Ciencias Ambientales. Popayán, Colombia.
- 4 Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Magíster en Manejo de bosques tropicales. San José, Costa Rica

**Correspondencia:** camilaorozco9@gmail.com

*ción de páramo, mientras que para rastrojos y aquellos de origen antrópico como pastos limpios, mosaico de cultivos y tierras degradadas se fijaron pautas de manejo, enfatizando la planificación del corredor biológico como unidad estratégica para la implementación de acciones.*

## ABSTRACT

*It was determined the spatial pattern of landscape for a proposed biological runway between the towns of Almaguer, Sucre and La Vega in the department of Cauca, whose length is 28726 ha. The analysis was conducted from the processing satellite image generating a land image using mapping GIS platforms. We developed four quadrants of spatial analysis, each one of 1600 ha, selected based on the altitudinal gradient and type of land uses present in the area. In each of the quadrants were applied landscape metrics determining diversity, richness, composition and structure of variables such as area, number of patches, largest patch index, landscape shape index, juxtaposition and connectivity index calculated with the program Fragstats ©. In the area there was found a highly fragmented ecosystem predominantly anthropogenic matrix (clean pasture). With the results there was established conservation guidelines for land uses of primary forests, operated, and riparian vegetation wasteland, while for stubble and those anthropogenic as clean pasture, crops and land mosaic degraded management guidelines were set emphasizing the biological corridor planning a strategic unit for the implementation of actions.*

## PALABRAS CLAVES:

Uso del terreno, Conservación, Fragmentación.

## KEY WORDS:

Land use, Conservation, Fragmentation.

## PALAVRAS-CHAVE:

Uso da terra, Conservação, Fragmentação.

## RESUMO

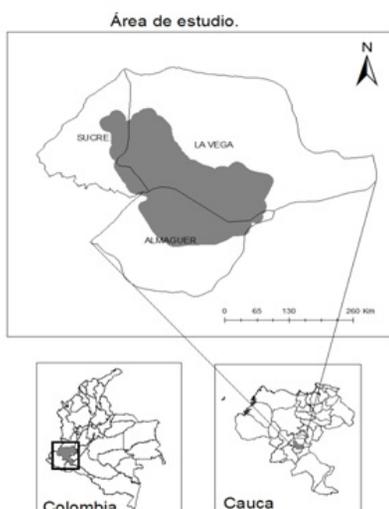
*Foi determinado o padrão espacial de paisagem para um corredor biológico entre as cidades de Almaguer, Sucre e a Vega, no estado do Cauca que tem 28726 hectares. A análise foi realizada a partir do processamento de imagens de satélite gerando um mapeamento do uso do terreno utilizando plataformas SIG. Foram estabelecidos quatro quadrantes de análise espacial, cada um de 1600 hectares, os quais foram selecionados com base no gradiente de altitude e o tipo de usos do solo presente na área. Em cada um dos quadrantes foram aplicadas métricas da paisagem que determinaram a diversidade, riqueza, composição e estrutura a partir de variáveis como área, número de trechos, índice de justaposição, índice de forma da paisagem e conectividade calculada com o programa Fragstats©. Na área encontramos um ecossistema altamente fragmentado, predominantemente matriz antropogênica (pasto limpo). Com os resultados obtidos foram estabelecidas diretrizes de conservação para usos da terra composta de florestas primárias, florestas exploradas, matas ciliares e vegetação de páramo, enquanto que para restolho e aqueles de origem antrópico como pasto limpo, culturas e mosaico de terras degradadas fixamos orientações de gestão, enfatizando no planejamento o corredor biológico como uma unidade estratégica para a implementação de ações.*

## INTRODUCCIÓN

A través de diversos estudios que analizan el paisaje y sus patrones se ha logrado determinar cómo los cambios en el uso del terreno afectan la estructura, función y dinámica de los sistemas socioecológicos [1, 2, 3]. Se entiende el paisaje como una extensión de terreno compuesta por múltiples componentes que interactúan y se repiten a través del espacio, comprendiendo un mosaico de espacios naturales y antrópicos que definen patrones espaciales y temporales [4]. Por lo expuesto, el trabajo centra su análisis en las interacciones observables entre los elementos del paisaje mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permiten calcular los atributos espaciales del paisaje y sus componentes [5, 6].

El macizo colombiano es reconocido como una ecoregión estratégica que ofrece múltiples servicios ambientales, resaltando la oferta hídrica [7]; su diversidad ecosistémica y biológica se encuentra amenazada debido a diferentes procesos de degradación antrópica y a la fragmentación de sus bosques [8]. Considerando la vulnerabilidad ecosistémica asociada a los procesos de transformación que afectan al macizo colombiano; se planteó la necesidad de determinar los elementos que caracterizan sus paisajes, haciendo énfasis en el área propuesta para el corredor biológico en los municipios de Almaguer, Sucre y La Vega (Cauca). Esto con el fin de generar elementos que ayuden a orientar las estrategias para la conservación, recuperación, rehabilitación y restauración de ecosistemas en el corredor.

**Figura 1.** Área de estudio (corredor)



## MÉTODO

El estudio se llevó a cabo en los Municipios de Almaguer, Sucre y La Vega ubicados al Sur-oriente del departamento del Cauca considerando una estrategia de corredor biológico propuesto por la Corporación Autónoma Regional del Cauca (2008) para 28726 ha en el área núcleo del Macizo Colombiano. La zona de estudio presenta un rango altitudinal entre los 1200 y 3400 m.s.n.m., con pendientes altas y geomorfología similar (Figura 1.)

Para este trabajo se empleó cartografía de usos del terreno generada mediante la clasificación supervisada multiespectral de una imagen ALOS 2010. La cual se compaginó con información secundaria a escala 1:25000 para toda el área de estudio. Se realizó una validación de las categorías de usos identificadas mediante puntos georreferenciados en campo a partir de polígonos seleccionados en la imagen.

Para la caracterización del paisaje primero se hizo un análisis semidetallado del área total del corredor y luego se analizaron cuatro cuadrantes de 1600 ha (detallado) en donde se determinaron los cambios en el patrón del paisaje. Estos fueron seleccionados a partir de una grilla generada considerando la altitud del área de estudio, obteniendo: 1) de 1200 a 1800 m.s.n.m., 2) de 1800 a 2600 m.s.n.m., 3) de 2600 a 3200 m.s.n.m. y 4) de 3200 a 3400 m.s.n.m., teniendo en cuenta para la selección aquellos cuadrantes que estuvieran completamente dentro del área muestral.

Con ayuda de la herramienta Fragstats© se establecieron los atributos determinantes del patrón del paisaje mediante métricas que no fueran redundantes y que tuvieran un comportamiento adecuado al tipo de estudio [10]. Las métricas utilizadas fueron Área (CA), Número de parches (NP), Índice de parche mayor (LPI), Índice de forma del paisaje (LSI), Relación área/número de parches (CA/NP) Índice de diversidad de Shannon (SHDI), Índice de diversidad de Simpson (SIDI), Índice de yuxtaposición (IJI) y Conectividad (CON), donde se trabajó con un radio de 1000 metros.

A partir de la información obtenida se definieron áreas con prioridades de conservación y restauración en la zona.

## RESULTADOS

A partir de la validación en campo y la respectiva clasificación en el SIG se obtuvo como resultado la generación de nueve categorías de usos de terreno para la zona de estudio (Cuadro 1).

### Análisis para el área total del corredor (Semidetallado)

El patrón estructural de la zona sugiere un paisaje fragmentado con una matriz de pastos que representa el 34,5% del área de estudio, seguido por el bosque primario (21,1%), mosaico de cultivos (17,2%) y bosque natural intervenido (16,5%). En dicha matriz se hallan inscritos parches y corredores, sin embargo se encuentra dividida permitiendo que en algunas zonas predominen otros usos, este panorama es el

**Cuadro 1.** Usos de terreno

| Categoría                        | Usos de Terreno   |
|----------------------------------|---|
| Bosque Ripario (BR)              | Vegetación natural asociada a las orillas de los ríos por su oferta de microhábitat, destinadas a conservación.   |
| Bosque primario (BP)             | Bosques naturales compuestos por especies nativas de árboles, no presenta actividad antrópica, poca alteración de sus procesos ecológicos, poseen valor ecológico y económico para la sociedad. |
| Bosque Natural Intervenido (BNI) | Se refiere al bosque natural que fue sometido a una intervención humana, poseen valor económico para la sociedad.   |
| Mosaico de cultivos (MC)         | Vegetación compuesta por especies de uso agrícola.  |
| Rastrojo (R)                     | Vegetación con alturas menores a de 5 m., subarbórea, arbustiva y herbácea en regeneración.   |
| Pastos limpios (PL)              | Predominio de especies herbáceas, principalmente gramíneas, dedicadas a pastoreo permanente.  |
| Tierras degradadas (TD)          | Superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal por sobreexplotación.  |
| Cobertura antrópica y ríos (CyR) | Zonas pobladas e infraestructura humana, se incluyen los ríos para efectos de procesamiento e interpretación.   |
| Vegetación de paramo (VP)        | Caracterizado por la dominancia de herbáceas y arbustos propios del ecosistema, zona de conservación.   |

resultado de la historia de uso del suelo que ha estado caracterizada por la pérdida de cobertura forestal propia de la zona.

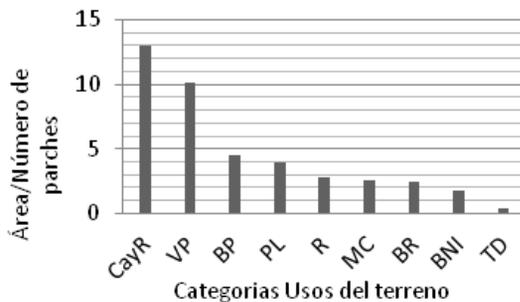
Se puede evidenciar que las categorías como cobertura antrópica y ríos, mosaicos de cultivos, rastrojos, pastos limpios, y las tierras degradadas representan el 57% del área total, lo que revela que el paisaje está altamente intervenido, sin embargo la zona tiene un 43% de cobertura natural, representado en bosque primario, bosque natural intervenido, bosque ripario y vegetación de paramo, un porcentaje de área menor al esperado, además de encontrarse fragmentos reparados en muchos parches y diversas distancias en la zona, lo que coincide con el estudio de Ospina (2005) y Marín (2008).

En todo el paisaje se pudo observar que el bosque natural intervenido presentó el mayor número de parches (2740), seguido por los pastos limpios (2535), mientras que las tierras degradadas (20), la cobertura antrópica y ríos (35) así como la vegetación de paramo (65) presentaron el menor número de parches (Cuadro 2). El alto número de parches de los pastos limpios, puede darse debido a la ganadería extensiva y a las actividades antrópicas que permiten una sustitución de coberturas boscosas por potreros generando la reducción de las coberturas naturales a pequeños fragmentos de bosque.

En la Figura 2 se puede observar que la relación área/número de parches para cobertura antrópica y ríos es alta porque su área (455 ha) se distribuye en un pocos parches (35), lo que indica que sus extensio-

**Cuadro 2.** Índices de fragmentación por tipo de categorías uso del terreno para el área total

|     | CA     | NP   | LPI  | LSI  | IJI  | CON  | CA/ NP |
|-----|--------|------|------|------|------|------|--------|
| CyR | 455,1  | 35   | 0,3  | 48,8 | 71,4 | 9,1  | 13,0   |
| VP  | 655,2  | 65   | 0,6  | 15,5 | 51,9 | 13,9 | 10,1   |
| BP  | 6064,1 | 1330 | 3,6  | 63,0 | 65,3 | 2,5  | 4,6    |
| PL  | 9924,3 | 2520 | 10,8 | 84,7 | 75,5 | 2,0  | 3,9    |
| R   | 1146,1 | 417  | 0,2  | 36,2 | 65,8 | 2,3  | 2,8    |
| MC  | 4967,9 | 1920 | 3,3  | 65,6 | 61,2 | 2,7  | 2,6    |
| BR  | 753,7  | 312  | 0,3  | 28,3 | 61,7 | 7,7  | 2,4    |
| BNI | 4751,9 | 2740 | 0,4  | 82,9 | 63,2 | 1,7  | 1,7    |
| TD  | 7,9    | 20   | 0,0  | 6,3  | 22,8 | 15,8 | 0,4    |

**Figura 2.** Relación área/número de parches para el área del corredor

nes se encuentran agrupadas, mientras que los pastos limpios, el bosque primario, y los mosaicos de cultivos a pesar de tener mayores áreas presentan un alto número de parches, lo que indica mayor extensión distribuida en muchos fragmentos y el bosque primario al tener alta abundancia de parches, representa la categoría de interés más fragmentada de todo el paisaje.

La configuración espacial de los parches de las diferentes categorías en el paisaje, mostró que el aislamiento entre los parches de vegetación de páramo, bosque primario y bosque ripario fue bajo, ya que aunque sus parches son numerosos y de diversos tamaños están agregados favoreciendo su proximidad; esta situación permite que exista flujo a lo largo del paisaje entre los diferentes tipos de hábitat disponibles para los múltiples organismos, desempeñando un papel importante en la distribución de las especies forestales [13, 14, 15].

El índice de parche mayor (LPI) indica que en el zona un parche de pastos limpios ocupa el 10,8% de toda la área, sugiere que el paisaje evaluado contiene un parche de pastos grande con respecto al área del paisaje y de las categorías de interés, coincidiendo con la matriz encontrada en la zona. El índice de forma del paisaje (LSI) muestra que los pastos limpios, el bosque natural intervenido, los mosaico de cultivos y el bosque primario presentaron formas complejas y fragmentos irregulares, mientras que la vegetación de páramo y bosque ripario tuvieron valores inferiores indicando que el perímetro de sus parches maneja una regularidad. Esto se explica debido a que la vegetación de páramo tiende a ser compacta y los bosques riparios, se encuentran al lado de los ríos siguiendo su cauce y dando origen a formas alargadas y regulares [16, 17].

El índice de yuxtaposición mostró que los fragmentos de pastos limpios, bosque primario, bosque natural intervenido y bosque ripario con valores altos presentan una buena adyacencia, es decir que se encuentran aglomerados dentro de toda la zona, en cambio para la vegetación de páramo el índice fue de 51,9% ya que sus parches se encuentran aglomerados solo en la zona más alta.

Para el índice de conectividad se encontró que la vegetación de páramo presenta el nivel más alto de conectividad dentro del paisaje con un 13,9%, esto se debe a que la cubierta vegetal paramuna está más agrupada y sigue un patrón altitudinal [18]. Las categorías de interés muestran una baja conectividad entre sus parches.

El Índice de diversidad de Shannon a nivel de paisaje fue de 1,60 para la zona de estudio, lo que indica que es heterogéneo y que presenta una alta abundancia relativa dentro del paisaje. El Índice de dominancia de Simpson fue de 0,72 siendo un valor cercano a 1 lo que demuestra que es un paisaje dominado por un tipo de uso del terreno que en este caso corresponde a pastos limpios, por ser la matriz y presentar el parche mayor dentro del ecosistema, al haber una alta dominancia, se presenta una baja diversidad de las categorías restantes.

### Análisis detallado en los cuadrantes del corredor

**Cuadrante 1 (C1).** Se encuentra ubicado en la parte más baja (1200-1800 msnm), con pendientes relativamente bajas y un relieve no muy diverso, debido a esto hay alta expansión agrícola y ganadera, dada la facilidad para acceder a los terrenos y realizar su explotación, por esto se presenta una matriz de pastos limpios con un área que cubre prácticamente la totalidad del cuadrante, con pocos parches de otras coberturas y alta fragmentación ecosistémica.

**Cuadrante 2 (C2).** Situado entre los 1800 y 2600 msnm, sin embargo presenta intervención humana debido a que la explotación aún resulta sencilla por la geomorfología, dando continuidad a la matriz de pastos limpios (cuadro 3), pero con mayor número de parches de otros usos del terreno como el mosaico de cultivos y algunos tipos de bosques, indicando que la conservación aumenta y la fragmentación tiende a disminuir.

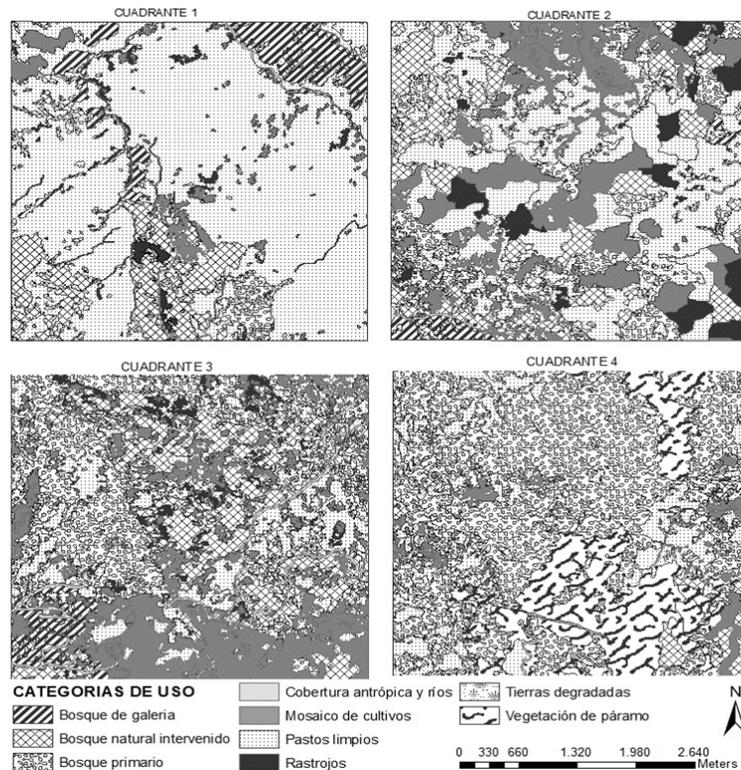
**Cuadro 3.** Área (ha) de cada categoría de uso del terreno por cuadrante

|            | C1     | C2    | C3    | C4    | $\bar{x}$ | DS    | CV%   |
|------------|--------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| <b>BR</b>  | 133,9  | 32,2  | 54,8  | 0,0   | 55,2      | 57,1  | 103,3 |
| <b>BP</b>  | 35,2   | 133,2 | 371,6 | 809,9 | 337,5     | 345,2 | 102,3 |
| <b>BNI</b> | 185,4  | 310,9 | 355,7 | 94,2  | 236,5     | 119,2 | 50,4  |
| <b>MC</b>  | 59,8   | 354,0 | 429,6 | 68,5  | 227,9     | 191,7 | 84,1  |
| <b>R</b>   | 27,6   | 109,9 | 53,6  | 0,7   | 47,9      | 46,6  | 97,2  |
| <b>PL</b>  | 1139,4 | 657,7 | 304,7 | 242,4 | 586,0     | 411,8 | 70,3  |
| <b>CyR</b> | 20,6   | 5,1   | 30,1  | 8,0   | 15,9      | 11,6  | 72,3  |
| <b>TD</b>  | 2,1    | 1,9   | 0,0   | 0,0   | 1,0       | 1,2   | 115,7 |
| <b>VP</b>  | 0,0    | 0,0   | 0,0   | 377,1 | 94,3      | 188,6 | 200,0 |

**Cuadrante 3 (C3).** Con altitudes de 2600 a 3200 msnm, la geomorfología y clima es más irregular, permitiendo menor expansión ganadera y cultivos más numerosos convirtiendo esta cobertura (mosaico de cultivos) en la matriz de la zona, se observa mayor conservación respecto a los dos cuadrantes anteriores ya que al ser mas permeable permite mayor flujo de organismos entre los fragmentos de otros usos del terreno como bosques [19], La anterior explicación conuerda con lo expuesto por Criollo y Bastidas (2011) para plantaciones forestales.

**Cuadrante 4 (C4).** Esta es la zona más elevada del área total, con altitudes entre 3200 y 3400 msnm, presenta diversidad de relieves y dificultad para ejecutar actividades antrópicas, conllevando un buen estado de conservación de los ecosistemas con una matriz de bosque primario y vegetación de paramo presente y distribuida únicamente en este cuadrante (Figura 3), por esta razón deben centrarse aquí los esfuerzos de gestión.

**Figura 3.** Usos del terreno por cuadrantes priorizados en el corredor



## Comparación entre cuadrantes

**Cuadro 4.** Número de parches de cada categoría de uso del terreno por cuadrante

|            | C1  | C2  | C3  | C4  | $\bar{x}$ | DS    | CV%   |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----------|-------|-------|
| <b>BR</b>  | 50  | 18  | 21  | 0   | 22,3      | 20,7  | 93,0  |
| <b>BP</b>  | 5   | 37  | 150 | 86  | 69,5      | 63,2  | 90,9  |
| <b>BNI</b> | 86  | 164 | 137 | 138 | 131,3     | 32,7  | 24,9  |
| <b>MC</b>  | 119 | 89  | 289 | 91  | 147,0     | 95,7  | 65,1  |
| <b>R</b>   | 21  | 23  | 50  | 2   | 24,0      | 19,8  | 82,3  |
| <b>PL</b>  | 64  | 87  | 287 | 96  | 133,5     | 103,2 | 77,3  |
| <b>CyR</b> | 9   | 4   | 3   | 5   | 5,3       | 2,6   | 50,1  |
| <b>TD</b>  | 4   | 12  | 0   | 0   | 4,0       | 5,7   | 141,4 |
| <b>VP</b>  | 0   | 0   | 0   | 29  | 11,3      | 14,5  | 128,9 |

Según el cuadro 4. El mosaico de cultivos presentó el mayor número de parches, seguido de los pastos limpios y el bosque natural intervenido, mientras que los rastrojos, el bosque ripario y la vegetación de páramo tienen valores bajos. Se debe tener en cuenta que el área influye notoriamente en el comportamiento de este índice, debido a esto es de vital importancia analizar la relación área/número de parches en la que el bosque primario presentó menor número de parches con grandes áreas, esto se puede evidenciar también para la vegetación de páramo en el cuadrante número 4.

En el Cuadro 5 se encontró que para los cuadrantes número 1 y 2 los índices de parche de mayor tamaño se encuentran dentro de la categoría pastos limpios, en cuanto a los cuadrantes número 3 y 4 el índice de parche mayor lo presenta el bosque primario seguido de la vegetación de páramo para el cuadrante 4. Podemos inferir que la cobertura que presenta los parches más grandes son los pastos

**Cuadro 5.** Índice de parche mayor (LPI) por categoría de uso del terreno por cuadrante

|            | C1   | C2   | C3   | C4   | $\bar{x}$ | DS   | CV%   |
|------------|------|------|------|------|-----------|------|-------|
| <b>BR</b>  | 5,1  | 1,4  | 2,5  | 0,0  | 2,3       | 2,2  | 96,6  |
| <b>BP</b>  | 2,1  | 2,1  | 17,2 | 37,9 | 14,9      | 16,9 | 114,4 |
| <b>BNI</b> | 3,1  | 4,5  | 12,3 | 0,7  | 5,1       | 5,0  | 97,5  |
| <b>MC</b>  | 0,7  | 6,6  | 14,6 | 1,2  | 5,8       | 6,4  | 111,9 |
| <b>R</b>   | 0,4  | 0,9  | 0,5  | 0,0  | 0,4       | 0,3  | 77,3  |
| <b>PL</b>  | 68,6 | 30,9 | 3,9  | 3,7  | 26,8      | 30,6 | 114,3 |
| <b>CyR</b> | 0,4  | 0,2  | 1,2  | 0,3  | 0,5       | 0,5  | 89,1  |
| <b>TD</b>  | 0,1  | 0,2  | 0,0  | 0,0  | 0,1       | 0,1  | 129,8 |
| <b>VP</b>  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 16,2 | 4,0       | 8,1  | 200,0 |

limpios, seguidos por el bosque primario, con un valor significativo a comparación de los parches de las demás coberturas.

**Cuadro 6.** Índice de forma del paisaje (LSI) por categoría de uso del terreno por cuadrante

|            | C1   | C2   | C3   | C4   | $\bar{x}$ | DS  | CV%   |
|------------|------|------|------|------|-----------|-----|-------|
| <b>BR</b>  | 9,4  | 5,9  | 7,7  | 0,0  | 5,7       | 4,1 | 71,0  |
| <b>BP</b>  | 5,2  | 9,4  | 19,2 | 14,9 | 12,2      | 6,1 | 50,4  |
| <b>BNI</b> | 14,3 | 19,7 | 23,7 | 15,6 | 18,3      | 4,2 | 23,2  |
| <b>MC</b>  | 14,0 | 14,2 | 25,5 | 12,7 | 16,6      | 5,9 | 35,9  |
| <b>R</b>   | 10,1 | 6,3  | 16,8 | 2,0  | 8,8       | 6,3 | 71,2  |
| <b>PL</b>  | 13,9 | 17,1 | 26,2 | 17,6 | 18,7      | 5,3 | 28,1  |
| <b>CyR</b> | 24,5 | 6,7  | 16,5 | 9,9  | 14,4      | 7,8 | 54,4  |
| <b>TD</b>  | 2,8  | 4,8  | 0,0  | 0,0  | 1,9       | 2,3 | 123,2 |
| <b>VP</b>  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 8,9  | 2,3       | 4,5 | 200,0 |

Para el cuadro 6, en los cuatro cuadrantes evaluados se encontró que el bosque natural intervenido, pastos limpios, mosaico de cultivos y bosque primario obtienen valores altos para el LSI, lo cual indica formas irregulares dentro de la configuración del paisaje, mientras que la vegetación de páramo tiende a mantener una forma regular dentro del paisaje ajustándose a una forma geométrica simple.

El índice de yuxtaposición (Cuadro 7) para los cuadrantes del área de estudio muestra que hay adyacencias entre parches de una misma categoría, debido a que presenta valores relativamente altos en todos los casos, sin embargo para el cuadrante número 1 en las tierras degradadas presentan baja adyacencia, esto se puede dar porque hay muy pocas

**Cuadro 7.** Índice de yuxtaposición (IJ) por categoría de uso del terreno por cuadrante

|            | C1   | C2   | C3   | C4   | $\bar{x}$ | DS   | CV%   |
|------------|------|------|------|------|-----------|------|-------|
| <b>BR</b>  | 39,3 | 53,8 | 66,2 | 0,0  | 39,8      | 28,7 | 72,2  |
| <b>BP</b>  | 39,3 | 62,2 | 73,6 | 70,4 | 61,4      | 15,5 | 25,2  |
| <b>BNI</b> | 38,4 | 55,1 | 76,2 | 62,4 | 58,0      | 15,8 | 27,2  |
| <b>MC</b>  | 37,7 | 52,9 | 74,5 | 74,6 | 59,9      | 17,9 | 30,0  |
| <b>R</b>   | 62,4 | 60,5 | 70,0 | 53,9 | 61,7      | 6,6  | 10,7  |
| <b>PL</b>  | 82,2 | 67,5 | 74,9 | 58,8 | 70,9      | 10,1 | 14,2  |
| <b>CyR</b> | 53,8 | 59,8 | 82,5 | 65,7 | 65,4      | 12,3 | 18,8  |
| <b>TD</b>  | 4,4  | 31,7 | 0,0  | 0,0  | 9,0       | 15,3 | 168,9 |
| <b>VP</b>  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 60,0 | 15,0      | 30,0 | 200,0 |

unidades de esta categoría dentro del cuadrante, los valores más altos se dan en el cuadrante número 1 para pastos limpios y en el cuadrante número 3 para cobertura antrópica y ríos, debido a que sus parches tienden a estar espacialmente agregados.

Para las categorías de interés como bosque primario, bosque natural intervenido y bosque ripario es posible observar como incrementa este índice a medida que se analiza cada una de las ventanas de estudio, siendo el cuadrante número 3 donde se presenta el mayor índice de adyacencia para estas tres, es importante resaltar que en el cuadrante número 4 se encontró un índice de adyacencia de 60% para la vegetación de páramo, que no es posible comparar con las demás, sin embargo la adyacencia y conectividad entre sus parches es alta.

Para el análisis de conectividad en el cuadrante 1 se obtuvo alta conectividad para el bosque primario con un 70%, a pesar de que los bosques primarios no cuentan con una gran cantidad de área dentro de esta ventana, esto indica que sus parches se encuentran en un radio inferior a los 1000 m. En los cuadrantes número 2 y 3 es el bosque ripario quien presenta el mayor índice de conectividad con un 79% y 90,4% respectivamente, esto obedece a que su distribución se asocia al curso de los ríos. El bosque primario presenta alta conectividad permitiendo los flujos e intercambios entre sus parches.

El coeficiente de variación en la comparación de cuadrantes presenta valores altos en la mayoría de métricas, lo que quiere decir que los datos son diferentes, indicando unos valores heterogéneos, alejados del promedio. Sin embargo para el número de parches en el bosque primario se encontró un coeficiente de

variación pequeño, mostrando datos homogéneos, ya que presenta un número de parches muy parecido en todos los cuadrantes, algo muy similar sucede con los rastrojos en el índice de yuxtaposición, en donde sus parches poseen adyacencias muy parecidas durante toda el área de estudio.

### Estrategias de Conservación y Manejo Adaptativo

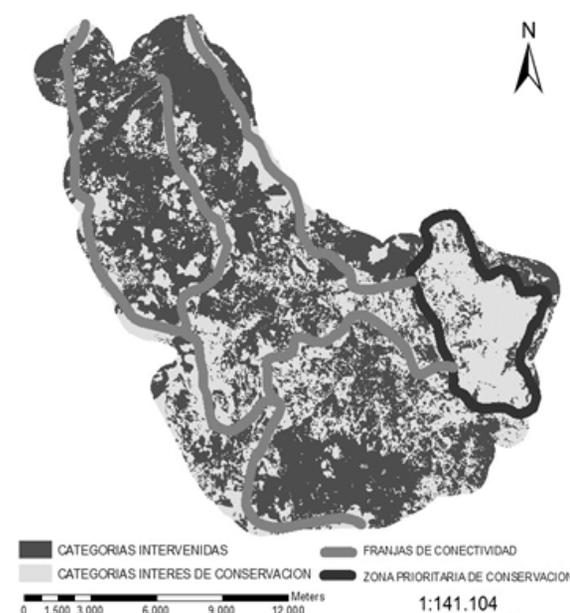
A partir del estudio de los usos del terreno se identificaron cuatro sectores prioritarios para centrar los esfuerzos de manejo adaptativo, se prioriza la zona alta que contiene los páramos y una matriz de bosque natural que favorece la movilidad de organismos entre los fragmentos de estas categorías y regula múltiples servicios ambientales (Figura 4). Los otros tres sectores se localizan durante toda el área de estudio en donde a pesar de no existir un continuo de las coberturas de interés para conservación, estas presentaron altos valores de conectividad y adyacencia permitiendo que aún se den interacciones entre ellas mismas ofreciendo diversos ambientes para la fauna y flora, garantizando recursos variados para los organismos.

En la zona de páramos es importante continuar evaluando los cambios de cobertura y buscar estrategias de orden político para detener la pérdida de vegetación natural a causa de la expansión agropecuaria. Se deben generar estrategias de negociación con las comu-

**Cuadro 8.** Conectividad (CON) por categoría de uso del terreno por cuadrante

|            | C1   | C2   | C3   | C4   | $\bar{x}$ | DS   | CV%   |
|------------|------|------|------|------|-----------|------|-------|
| <b>BR</b>  | 28,6 | 79,1 | 90,5 | 0,0  | 49,5      | 42,6 | 85,9  |
| <b>BP</b>  | 70,0 | 28,1 | 21,8 | 21,8 | 35,4      | 23,3 | 65,7  |
| <b>BNI</b> | 26,1 | 21,8 | 19,5 | 20,3 | 21,9      | 2,9  | 13,5  |
| <b>MC</b>  | 26,3 | 37,5 | 19,5 | 36,2 | 29,9      | 8,6  | 28,6  |
| <b>R</b>   | 23,8 | 20,6 | 24,3 | 0,0  | 17,2      | 11,6 | 67,4  |
| <b>PL</b>  | 43,6 | 32,4 | 18,2 | 25,9 | 30,1      | 10,7 | 35,7  |
| <b>CyR</b> | 33,3 | 33,3 | 87,2 | 40,0 | 48,5      | 26,0 | 53,7  |
| <b>TD</b>  | 33,3 | 40,9 | 0,0  | 0,0  | 18,6      | 21,7 | 116,7 |
| <b>VP</b>  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 31,3 | 7,8       | 15,6 | 200,0 |

**Figura 4.** Zonas de conservación priorizadas



nidades que están presionando esta zona para poder conservarla.

Para los otros tres sectores es indispensable identificar cuáles son las prácticas que están generando presión sobre los bosques remanentes ya que es importante mantener la estructura del paisaje actual y complementarla con la mejora de las coberturas diferentes a las de interés de conservación [21, 22]. Se deben caracterizar los bosques, para establecer la dinámica de las comunidades e identificar otros requerimientos para su conservación. Para esto es importante que se establezca un sistema de cuadrantes de monitoreo de los bosques, como se ha propuesto en programas como MACACEA [21].

La implementación de una red de franjas de conectividad que permita el flujo de las interacciones entre coberturas de interés, por ejemplo: para el cuadrante 1 sería importante conectar los parches de bosque primario, para los cuadrantes 2 y 3 los bosques riparios y para el cuadrante 4 la vegetación de páramo, esto debido a que presentan alta conectividad entre ellos. Los corredores se pueden desarrollar bajo sucesión natural, restauración o reforestación con especies nativas o de interés de restauración.

Los pastos limpios siendo la matriz de la zona tienen alta importancia en esta propuesta, aplicando la técnica de las cercas vivas o siembra de árboles dentro de los potreros, que pueden generar recursos para la fauna como forraje, producción de madera, frutos, leña y sombrío al ganado.

Teniendo en cuenta que los rastrojos hacen parte de las primeras etapas de la sucesión natural, se pretende dejar por un tiempo un algunas zonas sin intervención para permitir que se lleve a cabo, sin olvidar que este proceso lleva muchos años, otra forma de realizarlo es acelerando el proceso con siembras de arbustos o árboles nativos permitiendo que conduzcan a una transformación más rápida y se podrían implementar cultivos diversificados de manera sostenible.

Respecto a los mosaicos de cultivos se les puede dar un manejo mediante los sistemas agroforestales, tratando de evitar los monocultivos, cultivando bajo asociaciones que permitan los diferentes aportes y demanda de nutrientes al suelo.

## CONCLUSIONES

Al analizar el paisaje total y el resultado de la comparación entre cuadrantes, se pudo evidenciar que la matriz es pastos para los dos casos, lo que indica que en muchos de los aspectos el análisis de paisaje completo podría generar los mismos resultados que identificar el patrón del paisaje basado en muestras.

La intervención antrópica está más acentuada en las zonas bajas del área de estudio, como lo mostró el análisis de cuadrantes, mientras que a mayor altura la intervención es menor.

Para el análisis de conectividad de todo el paisaje es evidente que la vegetación de páramo es la que presenta el nivel más alto de conectividad.

Los bosques riparios muestran una alta conectividad, lo que indica que sirve de corredores biológicos naturales permitiendo interrelación de organismos, pero es evidente que estos ecosistemas están sufriendo una gran presión, reduciendo de manera drástica su conectividad lo que conlleva a pérdida de diversidad y afecta las interacciones de dicho ecosistema

## REFERENCIAS

- [1] PETIT, S. and FREDERIKSEN, P. Modelling land use change impacts for sustainability assessment. *Ecological Indicators*, 11 (1), 2011, p. 1-3.
- [2] HAINES, Y.R. Land use and biodiversity relationships. *Land Use Policy*, 26 (1), 2009, p. S178-S186.
- [3] ERB, K.H. How a socio-ecological metabolism approach can help to advance our understanding of changes in land-use intensity. *Ecological Economics*, 76 (0), 2012, p. 8-14.
- [4] FORMAN, R. Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology*, 10 (3), 1995, p. 133-142.
- [5] HELBRON, H., SCHMIDT, M., GLASSON, J. and DOWNES, N. Indicators for strategic environmental assessment in regional land use planning to assess conflicts with adaptation to global climate change. *Ecological Indicators*, 11 (1), 2011, p. 90-95.

- [6] POTSCHIN, M. Land use and the state of the natural environment. *Land Use Policy*, 26 (1), 2009, p. S170-S177.
- [7] DNP. Lineamientos estratégicos para la gestión ambiental articulada del macizo colombiano (Documento borrador). Bogotá (Colombia): 2010, 45 p.
- [8] PAZ, G. Variabilidad genética del roble común (*Quercus humboldtii* bonpl.) en la región del macizo colombiano. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10 (2), 2012, p. 110 - 116.
- [9] CRC. Mejoramiento del paisaje forestal como apoyo a la conformación del corredor biológico páramo de barbillas, microcuencas los huevos, chuzolongo y pascariguaco en los municipios de Almaguer y la Vega - núcleo del macizo colombiano, departamento del Cauca. Popayán (Colombia): 2008, 28 p.
- [10] ECHEVERRIA, C., COOMES, D.A., HALL, M. and NEWTON, A.C. Spatially explicit models to analyze forest loss and fragmentation between 1976 and 2020 in southern Chile. *Ecological Modelling*, 212 (3-4), 2008, p. 439-449.
- [11] OSPINA, R. y CARDONA, G. Análisis del paisaje y su influencia sobre las características florísticas de los bosques dominados por *Guadua angustifolia* en el eje cafetero colombiano. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 3 (1), 2005, p. 64-73.
- [12] MARÍN, A., TORO, L. y URIBE, S. Conectividad estructural del paisaje cafetero en la cuenca alta del río San Juan, suroeste antioqueño, Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 23, 2008, p. 43-54.
- [13] RODRÍGUEZ, M.A., AIZEN, M.A. and NOVARO, A.J. Habitat fragmentation disrupts a plant-disperser mutualism in the temperate forest of South America. *Biological Conservation*, 139 (1-2), 2007, p. 195-202.
- [14] LAURANCE, W.F., NASCIMENTO, H.E.M., LAURANCE, S.G., ANDRADE, A.C., FEARNESIDE, P.M., RIBEIRO, J.E.L., ROBSON, L.C. and FEARNESIDE, P.M. Rain Forest Fragmentation and the Proliferation of Successional Trees. *Ecology*, 87 (2), 2006, p. 469-482.
- [15] LAURANCE, W. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: implications for conservation. En: *Stability of Tropical Rainforest Margins*. 1 ed. Berlín (Alemania): Springer, 2007, p. 9-35.
- [16] MARTÍNEZ, J. Determinación preliminar del estado de fragmentación en el área seleccionada de la parte sur del corredor biológico Munchique-Pinche, Informe Técnico. Popayán (Colombia): CRC, 2007, 43 p.
- [17] MARTÍNEZ, J., FIGUEROA, APOLINAR y RAMÍREZ, B. Cambios de cobertura y fragmentación a través de un análisis espacio temporal en el parque nacional natural Puracé. En: *Fragmentación y coberturas vegetales en ecosistemas andinos*, Departamento del Cauca. 1 ed. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca., 2009, p. 137-155.
- [18] ARELLANO, H. y RANGEL, O. Patrones en la distribución de la vegetación en áreas de páramo de Colombia: heterogeneidad y dependencia espacial. *Caldasia*, 30 (2), 2008, p. 355-411.
- [19] MARTÍNEZ, J., TANDIOY, W. y FIGUEROA, A. Patrones de cambio naturales y antrópicos en un ecosistema altoandino, parte alta de la cuenca del río Palacé. En: *Fragmentación y coberturas vegetales en ecosistemas andinos*, Departamento del Cauca. 1 ed. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca., 2009, 400 p.
- [20] CRIOLLO, Y. y BASTIDAS, S. Análisis del paisaje y de su relación con características florísticas de los bosques naturales de la compañía Smurfit Kappa Cartón de Colombia, en el núcleo meseta, municipios de Popayan y Cajibío, departamento del Cauca. [Tesis en Ingeniería Forestal]. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2011, p. 86.
- [21] GEA. Modelamiento climático, patrones de cambio y sus efectos en ecosistemas agrícolas altoandinos, identificando medidas de adaptación y mitigación para la planificación. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012, 84 p.
- [22] SARMIENTO, M. y RAMOS, P. Informe sobre el Estado y Calidad de las Políticas Públicas sobre Cambio Climático y Desarrollo en Colombia: Sector agropecuario y forestal. Bogotá (Colombia): AVINA-PCL, 2012, p. 37.

# EFECTO DEL MARINADO CON NaCl Y TRIPOLIFOSFATO-SÓDICO SOBRE LAS PROPIEDADES BROMATOLÓGICAS EN CARNE DE CABRA

## EFFECT OF MARINADE WITH NaCl AND SODIUM TRIPOLYPHOSPHATE ON BROMATOLOGICAL PROPERTY IN GOAT MEAT

## EFEITO DO MARINADO COM NaCl E TRIPOLIFOSFATO DE SÓDIO EM PROPIEDADES BROMATOLÓGICAS NA CARNE DE CAPRINOS

RICARDO PEÑA F.<sup>1</sup>, DANIEL SALVADOR DURAN O.<sup>2</sup>, LUIS CARLOS BALETA M.<sup>3</sup>

### RESUMEN

*La carne de cabra reúne todas las características nutricionales apreciables por los consumidores siendo una excelente alternativa de alimentación; por lo tanto, en este estudio se propone la utilización de una mezcla de NaCl, Tripolifosfato sódico, extractos de romero y laurel como agentes marinadores, empleando la técnica de maceración como sistema facilitador del marinado y aplicando el empacado al vacío y la conservación en refrigeración en una estrategia global de tecnificación. En el producto terminado se evaluaron variables bromatológicas de pH, grasa, proteína, capacidad de retención de agua, ternura y humedad durante los días 0, 7, 14, 21 y 28 de almacenamiento en refrigeración. Los resultados demostraron que la aplicación del tratamiento de marinado mejora la capacidad de retención de agua, la retención de proteínas y eleva el pH del producto desde el primer día de*

**Recibido para evaluación:** 10 de Julio de 2012. **Aprobado para publicación:** 17 de Abril de 2015.

- 1 Universidad de Pamplona. Microbiólogo, Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Pamplona, Colombia.
- 2 Universidad de Pamplona, Grupo de investigación en Ingeniería y Tecnología de Alimentos (GINTAL). Ingeniero de alimentos, PhD. Pamplona, Colombia.
- 3 Universidad de Pamplona. Microbiólogo, Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Pamplona, Colombia.

**Correspondencia:** ricardopfl@hotmail.com.co

*almacenamiento por cuanto se puede afirmar que la aplicación del proceso de marinado por maceración influye de manera significativa sobre las propiedades bromatológicas de la carne de cabra de raza santandereana, constituyéndose en una alternativa de industrialización.*

## ABSTRACT

*Goat meat has all the significant nutritional characteristics by consumers to be an excellent alternative supply; therefore, this study proposes the use of a mixture of NaCl, sodium tripolyphosphate, laurel and rosemary extracts as marginalisers agents using maceration technique marinade as facilitator system and applying vacuum packaging and storage at refrigeration of an overall strategy of modernization. In the finished product bromatologic variables pH, fat, protein, water holding capacity, tenderness and moisture during the days 0, 7, 14, 21 and 28 were evaluated in chilled storage. The results showed that the treatment is marinated improves water retention, protein retention and raises the pH of the product from the first day of storage because we can say that the application of the marinating process by mashing influences bromatological significantly on properties of meat goat breed Santander, becoming an alternative to industrialization.*

## RESUMO

*Carne de cabra tem todas as características nutricionais significativas por parte dos consumidores a ser uma excelente alternativa de abastecimento; por conseguinte, este estudo propõe o uso de uma mistura de cloreto de sódio, tripolifosfato de sódio, extractos de louro e rosmaninho como agentes marginalisers utilizando a técnica de marinada com maceração como sistema facilitador e aplicar a embalagem a vácuo e armazenamento sob refrigeração de uma estratégia global de modernização. Nas variáveis bromatológicas do produto acabado pH, gordura, proteína, capacidade de retenção de água, maciez e umidade durante os dias 0, 7, 14, 21 e 28 foram avaliados em armazenamento refrigerado. Os resultados mostraram que o tratamento é marinado melhora a retenção de água, a retenção de proteínas e eleva o pH do produto a partir do primeiro dia de armazenagem, porque pode-se dizer que a aplicação do processo de marinada triturando influências significativamente em propriedades bromatológica de caprino raça Santander, tornando-se uma alternativa para a industrialização.*

## INTRODUCCIÓN

La cabra fue introducida a Colombia por los españoles, en el año de 1524 desde la isla de Jamaica y se estableció en las regiones que le son más propicias por el clima y la vegetación. Se encuentra en un 95% como raza criolla, el 5% restante son cruces con las razas Nuvia, Saanem, Alpina y Toggenburg, originados por importaciones iniciadas desde el año 1930. Los departamentos con mayor población caprina en

## PALABRAS CLAVES:

Cabra de raza santandereana, Marinado por maceración, Capacidad de retención de agua, pH.

## KEY WORDS:

Santander race goat, Marinated by soaking, Water holding capacity, pH

## PALAVRAS CHAVE:

Cabra raça Santander, Marinados por imersão, Capacidade de retenção de água, pH

su orden son: Guajira, Santander, Magdalena, Boyacá, Norte de Santander, Cesar y Córdoba [1].

Según la FAO (2005), la producción de carne ovina y caprina en Colombia era de 13.363 ton, de las cuales la carne de cabra corresponde al 49% del total, es decir, alrededor de 6.673 toneladas de carne y la población caprina para ese año alcanzaba 1.200.000 ejemplares [2]. La carne de cabra reúne los parámetros más importantes de calidad y tiene un elevado valor biológico (60,4), además presenta un coeficiente de digestibilidad del 97% [3]. Madruga *et al*, [4] demuestran que la composición del carne de cabra es similar a la de vacuno, pollo cerdo y cordero, al comparar las cantidades de agua, ceniza y proteínas; la carne de cabra contiene  $74,30 \pm 0,33\%$  de humedad,  $1,07 \pm 0,01\%$  de cenizas,  $18,49 \pm 0,66\%$  de proteínas y  $1,72 \pm 0,17\%$  de grasa [5] lo cual la hace una de las carnes con menor porcentaje de grasa dentro de los animales de abasto. Las canales de cabras jóvenes presentan porcentajes altos de músculo y bajos porcentajes de hueso así como de grasa intramuscular y epidérmica, cuando se comparan con canales de la oveja en los mismos rangos de edad [6, 7].

El valor de la carne de cabra puede ser aumentado a través de prácticas de producción o de procesamiento de carne que promuevan su industrialización aumentando el valor de los animales vivos [8]. Estos procesos están dirigidos a aumentar la vida útil de los productos, permitiendo la producción de diferentes sabores y el uso de las carnes que serían de difícil comercialización en su estado natural [9].

Varios estudios describen el uso de carne de cabra en la elaboración de productos cárnicos [10, 11, 12]. Ibarra [13], afirma que "la carne de cabra es aceptable, como parte de las recetas preparadas, y como producto elaborado".

En general, el mercado de carne de cabra presenta un potencial de crecimiento bueno, debido a la demanda alta de productos con calidad [9]. Con el interés de proponer nuevas estrategias de Industrialización y conservación de la carne de cabra, este trabajo evalúa el efecto del marinado por maceración sobre las propiedades bromatológicas de la carne de cabra de raza santandereana, almacenada en condiciones de refrigeración.

## MÉTODO

### Materiales

Se utilizaron 4 ejemplares machos, de 9 meses de edad, pertenecientes a la raza caprina Santandereana (previa certificación veterinaria) Estos, fueron transportados al aprisco del campus de la Universidad de Pamplona (N.S), los animales fueron mantenidos aislados y en ayuno para facilitar las labores de faenado. El sacrificio de los animales se realizó por personal calificado y siguiendo las pautas dadas por la ley 84 de 1989 por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Protección de los Animales. Una vez obtenida la carne madurada en canal, se procedió a realizar el despiece, pesaje e identificación de las piezas comerciales de carne a utilizar (pierna, brazo y costillar) como porciones comerciales.

### Métodos

**Marinado y empacado al vacío.** Se procedió a realizar la elaboración de los productos marinados y sin marinar, la solución de marinado estaba compuesta de NaCl (2%), TPS (de la mezcla lista de polifosfatos) (0,5%), 0,5% de extracto de romero y 0,5% de laurel molido [14, 15, 16]. Posteriormente las muestras fueron empacadas al vacío según las experiencias de Babji *et al*. [17] y Morales de la Nuez, *et al*. [18] modificando la cantidad de vacío inducido que para este caso fue del 95%.

**Análisis bromatológicos.** Las piezas de carne preparadas fueron sometidas a evaluación bromatológica durante los días 0, 7, 14, 21 y 28 del almacenamiento en refrigeración realizando análisis tanto al producto marinado como sin marinar, se determinó la cantidad de proteínas mediante la aplicación del método Kjeldahl según norma ISO 937 de 1978, cuantificación de la grasa mediante la utilización del método Soxhlet según norma ISO 1443 de 1979, contenido de humedad utilizando el método gravimétrico en la balanza de humedad Ohaus M35 [19], determinación de pH [20] y evaluación de la capacidad de retención de agua (CRA) [21].

### Análisis estadístico

Todas las pruebas fueron practicadas por triplicado bajo un diseño experimental de bloques completos al azar y se aplicaron análisis estadísticos ANOVA a un facto en busca de diferencias estadísticamente signifi-

ficativas (DMS) con un valor  $p \leq 0,05$  entre los tratamientos de marinado y sin marinar a cada uno de las variables anteriores y así determinar la favorabilidad de la aplicación de los tratamientos de conservación en la carne de cabra de raza santandereana.

## RESULTADOS

### Rendimiento del proceso de marinado

Luego de evaluar el peso de cada una de las piezas comerciales de carne de cabra obtenidas tras la aplicación del proceso de marinado propuesto, el índice de ganancia de peso de cada una presentó un porcentaje de ganancia de  $12 \pm 4,42$ , correspondiente a  $0,14 \pm 0,08$  kg por pieza tratada lo que demuestra el buen rendimiento tecnológico y excelentes perspectivas de ganancia industrial.

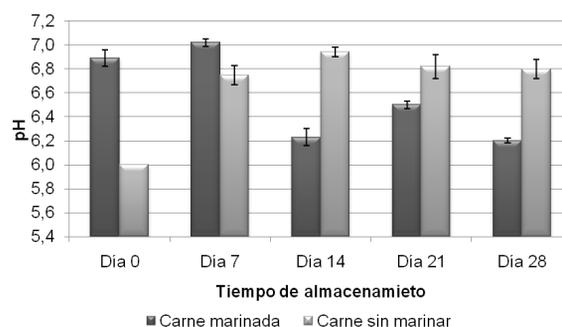
La ganancia de peso registra una relación directa de proporcionalidad, ya que mientras más grande es la pieza de carne sometida al proceso de marinado y masajeo, mayor es la ganancia de peso en la misma, debido a que existe una relación directa entre la capacidad de absorción de salmuera y la superficie de contacto de la carne. Estos resultados concuerdan con los reportados por Wattanachant *et al.* [22] quienes registraron ganancias importantes de peso escurrido en carne de cabra Anglonubia y Saanen enlatadas en salmuera.

El proceso de masajeado propuesto ayuda de manera importante a la penetración de la solución marinadora en el producto ya que la acción mecánica ejercida rompe la estructura celular de la superficie del músculo y esta acción produce un exudado proteico cremoso que funciona como agente ligante. Internamente, las piezas de carne, ven favorecidos la distribución y penetración de la salmuera. Otro efecto asociado al proceso de marinado es el ascenso de la temperatura en las piezas de carne tratada debido a la fricción de los trozos. Según Wistreich [23] la penetración de la sal en la carne se realiza en mayor índice cuando el proceso de marinado se ejecuta por encima de  $15^{\circ}\text{C}$ .

### Análisis bromatológicos practicados

**El pH de la carne de cabra.** La figura 1 ilustra el registro del pH en las muestras de la carne de cabra marinada y sin marinar durante el tiempo de almacenamiento y demuestra diferencias estadísticamente

**Figura 1.** Evolución del pH en la carne de cabra durante el almacenamiento.



significativas con un valor  $p \leq 0,05$  entre los dos tratamientos con tendencias contrarias a la alcalización y la acidificación paulatinas. Las muestras del día 0, para los dos casos analizados, presentan diferencias debido a que la carne marinada se adicionó solución de plifosfatos, la cual tiene la capacidad de elevar el pH del producto [24], mientras que el pH de la muestra sin marinar fue de  $6,00 \pm 0,007$ , originado por el normal proceso de maduración de la carne y se ajusta a valores altos de pH final de la maduración en la carne, lo cual indica animales estresados durante el manejo *pre-mortem* [22].

La lenta acidificación del producto marinado durante el almacenamiento supone que no se presenta importante proliferación de bacterias ácido-lácticas como *Lactobacillus spp.*, *Carnobacterium spp* y *Leuconostoc spp*; que es el tipo de microbiota normalmente presente en carnes empacadas al vacío [25], originado por el alto pH inicial sobre todo para la carne de cabra marinada (pH inicial la carne de cabra marinada =  $6,88 \pm 0,05$ ). Estos resultados están de acuerdo con Grau [26,27] en cuanto a los valores de los recuentos microbianos para carne envasada al vacío de pH alto.

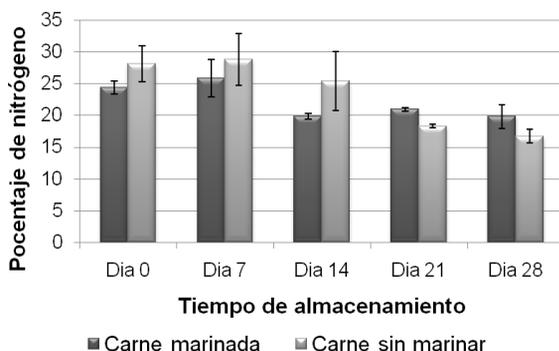
Es importante resaltar el característico comportamiento evolutivo de los valores de pH en la carne de cabra sin marinar empacada al vacío, la cual inicia con un pH normal pero al transcurrir el tiempo de almacenamiento se presenta una clara tendencia a la alcalinización del producto con un notorio comportamiento uniforme, alcanzando valores cercanos a 7,00. Este comportamiento es originado probablemente por el crecimiento de algunos géneros de enterobacterias característicos durante el almacenamiento y la acumulación de metabolitos de la acción bacteriana en el producto originados por la

desaminación de proteínas [28]. Brightwell *et al.*, [29] mostraron que en los paquetes de carne fresca, almacenados a 4°C se registró un número alto de enterobacterias del tipo anaerobias facultativas de los géneros: *Enterobacter spp*, *Serratia spp*, *Hafnia spp*, *Rahnella spp* y *Clostridium spp*, que metabolizan los aminoácidos para producir aminas, amoníaco, sulfuro de dimetilo y mercaptanos, debido a la producción de aminas y amoníaco, el pH de la carne tiende a ser alcalino. El proceso de alcalinización registrado en el producto sin marinar es concordante con los resultados obtenidos por Bhat *et al.*, [30] en HARRISA hecha a partir de carne de cabra.

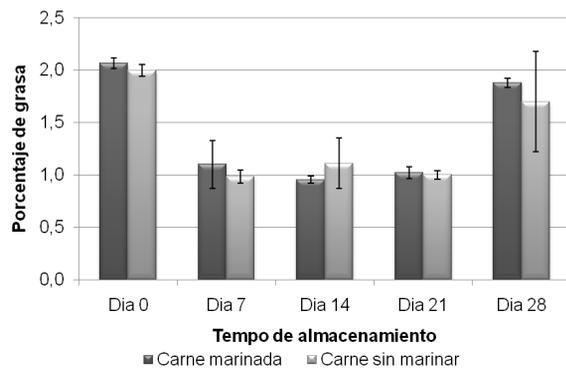
**La proteína en la carne de cabra.** En la figura 2 se muestran los resultados de los análisis de proteína practicados a las muestras de carne de cabra durante el periodo de almacenamiento propuesto y se puede observar una clara tendencia a la disminución de dicho porcentaje para los dos tratamientos evaluados. Los resultados correspondientes al día 14, presentaron diferencias significativas, entre los dos tratamientos y se evidencia un comportamiento que continúa durante los días 21 y 28, mostrando un descenso en los índices con una pendiente de reducción mayor en la carne de cabra sin marinar pero sin presentar diferencias estadísticamente significativas entre los dos tratamientos durante éste último periodo.

La reducción en las cantidades de proteínas en el músculo se puede explicar por la continua degradación proteica durante el almacenamiento originada por la desnaturalización de las cabezas de miosina, hecho que es independiente de la temperatura de almacenamiento [31]. La disminución paulatina de las cantidades de proteínas del producto durante su almacenamiento se contraponen con los resultados reportados por Bhat *et al.*, [30]

**Figura 2.** Evolución del contenido de proteína en la carne de cabra.



**Figura 3.** Evolución del contenido de grasa en la carne de cabra



**Contenido de grasa en la carne de cabra.** La figura 3 muestra variación del contenido de grasa en las muestras sometidas a análisis durante los días de almacenamiento propuestos y se puede determinar la presencia de dos tendencias de comportamiento características, por lo tanto los resultados se pueden dividir de la siguiente manera: en un primer grupo los resultados de las muestras marinadas y sin marinar de los días 0 y 28. En un segundo grupo los resultados de las muestras marinadas y sin marinar de los días 7, 14 y 21. Entre los dos grupos de datos existieron diferencias estadísticamente significativa con un valor  $p \leq 0,05$  debido a que las piezas con mayores índices de grasa, correspondientes al primer grupo eran en su mayoría costillas mientras que las del segundo grupo fueron principalmente piernas, lo que demuestra que existen diferencias importantes en el contenido de grasa intramuscular de los diferentes grupos anatómicos, sin embargo, no se presentaron diferencias en las cantidades de grasa intramuscular de las mismas partes anatómicas de diferentes individuos caprinos de la misma edad.

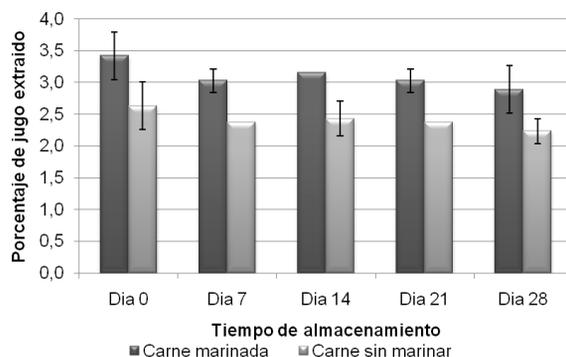
Los resultados obtenidos contrastan con las cantidades de grasa intramuscular determinada en cabras reportadas [32] y con los resultados en cabras indígenas surafricanas obtenidos por Sheradin *et al.* [33]. En cuanto a la cantidad general de grasa intramuscular no se cuenta con reportes de la comprobación de las cantidades de grasa entre grupos musculares anatómicos de animales de la misma raza, como en este caso. Sin embargo se debe aclarar que la composición de ácidos grasos de diferentes grupos musculares varía en cuanto a la relación de ácidos saturados, monosaturados y polinsaturados para los diferentes músculos [34].

**Capacidad de retención de agua (CRA) de la carne de cabra.** La figura 4 muestra la variación de la capacidad para retener agua del producto durante el tiempo de almacenamiento y se evidencia que existen diferencias significativas entre la carne marinada y sin marinar con un valor  $p \leq 0,05$  en todos los días de análisis, así como la ocurrencia de mayor CRA en la carne de cabra marinada durante todo el ensayo debido a la importante actividad de las sales agregadas, las cuales sirven como moléculas que aportan cargas y permiten establecer enlaces dipolo-dipolo con las moléculas de agua y las proteínas sarcoplasmáticas [35].

La capacidad de las muestras de carne para retener el agua de su constitución es un aspecto muy importante desde el punto de vista de la industria agroalimentaria, ya que del agua dependen aspectos tan fundamentales como la apariencia, jugosidad y dureza durante la masticación, determinantes de la calidad de la carne a la hora del consumo. Además, la pérdida de peso de la carne fresca durante su procesado debido a las pérdidas de agua es de gran importancia desde un punto de vista económico.

Otro importante hecho que aumenta la capacidad de retención de agua en las muestras marinadas es el elevado pH registrado en estas, con un valor de pH más alto se puede esperar un mayor índice de CRA gracias a que los fosfatos interfieren cambiando el pH desde el punto isoeléctrico de las proteínas, que se encuentra entre 5,0 a 5,4 y donde la capacidad de retención de agua es más bajo que a un pH más alcalino. Hamm [36], encontró que la capacidad de retención de agua de la carne mejora notoriamente a pH de 7,5.

**Figura 4.** Evolución de la CRA en la carne de cabra durante el almacenamiento.

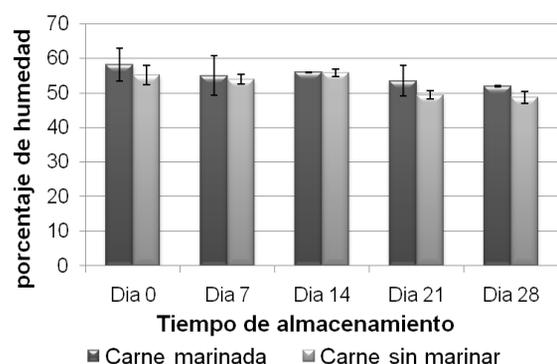


No se hallaron diferencias de la capacidad de retención de agua entre los diferentes grupos musculares estudiados. González *et al.* [37] tampoco encuentran diferencias en la capacidad de retención de agua en los músculos de cabras. Sin embargo, estos resultados contradicen las apreciaciones de Matassino *et al.* [38] y Argüello *et al.* [39].

**Contenido de humedad en la carne de cabra.** La figura 5 resume las variaciones registradas en las cantidades de humedad de carne de cabra marinada y sin marinar, almacenadas en refrigeración y muestra una tendencia a la paulatina reducción tanto en la carne de cabra marinada como sin marinar. El índice de humedad en el día 0 para la carne marinada, es estadísticamente más alto que los valores registrados los días 21 y 28 en la carne sin marinar lo que denota una mayor pérdida de humedad a través del tiempo en la carne de cabra sin marinar. La disminución paulatina en la humedad del producto contrasta con los resultados reportados por Bhat *et al.*, [31].

La pérdida de humedad del producto se justifica en el proceso de autodegradación enzimática que sufre la carne durante el almacenamiento ya que al degradar las estructuras proteicas miofibrilares se libera parte del agua contenida en ellas, sin embargo, la mayor humedad de las muestras de carne de cabra marinada se debe a la capacidad para retener agua miofibrilar, la cual es originada por la repulsión electrostática entre las proteínas de las miofibrilas (miofilamentos), que resulta en la turgencia de las miofibrillas. En algunos casos, con la adición de sales a un pH alto, como el polifosfato, incluso con una solubilización parcial en los filamentos, se estimula potentemente las repulsiones entre las moléculas individuales [40]. Igualmente

**Figura 5.** Evolución del contenido de humedad en las muestras de carne de cabra.



la adición de NaCl en la solución marinadora difunde a hasta alcanzar los sarcómeros y se une a las miofibrillas, ya que NaCl posee un catión kosmotrópico y un anión caotrópico, se acumulan en la interface proteína-agua, haciéndolos más hidrófilo [41].

## CONCLUSIONES

La utilización de NaCl y polifosfatos sódico en el proceso de marinado de la carne de cabra aumenta la capacidad de retención de agua y disminuye así la pérdida de jugos del producto manteniendo la riqueza proteica y peso escurrido en el producto, mejorando el rendimiento y potenciando a la carne de cabra marinada como una excelente alternativa tecnológica de industrialización.

Se concluye que, la aplicación de marinado por maceración afecta de forma importante las características bromatológicas de las piezas comerciales de carne de cabra de raza santandereana empacada al vacío, mejorando su condición y convirtiéndolo en una importante alternativa de desarrollo tecnológico.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue realizada en el marco del trabajo de tesis de grado de maestría en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, denominado "Efecto del marinado por maceración sobre las propiedades bromatológicas de la carne de cabra de raza santandereana empacada al vacío y almacenada en refrigeración" desarrollado durante los años 2011 y 2012 en el Grupo de Investigación en Ingeniería y Tecnología de Alimentos (GIN-TAL) de la Universidad de Pamplona, a cuyos docentes y trabajadores, las más infinitas gracias.

## REFERENCIAS

[1] SALAZAR, P.A. La Cabra en Colombia. Bucaramanga (Colombia): Editorial SENA, 1985, 46 p.  
[2] ESPINAL, C.F., MARTÍNEZ, H. y AMÉZQUITA, V.E. La Cadena Ovinos Y Caprinos en Colombia. Bogotá (Colombia): Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Observatorio Agrocadenas, Documento de trabajo no. 125, 2006, 5 p.  
[3] LAWRIE, R.A. Lawrie's Meat Science. 6 ed. Cambridge (England): Woodhead Publ. Ltd., 1998, 336 p.

[4] MADRUGA, M.S., LACERDA-DE MEDEIROS, E.J., DE SOUSA, W.H., CUNHA, M.G., PEREIRA-FILHO, J.M. e DO EGYPTO-QUEIROGA, R.C. Composição química e perfil lipídico da carne caprina de grupos genéticos terminados em confinamento. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 38(3), 2009, p. 547–552.  
[5] FÉLIX-URIETA, L., FÉLIX-URIETA, D., RUBIO-LOZANO, M.S, MÉNDEZ-MEDINA, M.D. y TRUJILLO-GARCÍA, A.M. Análisis comparativo de la carne y productos cárnicos de cabrito alpino francés (3/4) con Boer (1/4). Investigación en producción y salud animal, 39 (3), 2001, p. 237–244.  
[6] SANTOS, V.A., SILVA, S.R. and AZEVEDO, J.M. Carcass composition and meat quality of equally mature kids and lambs. Journal of Animal Science, 86, 2008, p. 1943–1950.  
[7] STANISZ, M., SŁÓSZARZ, P. and ADAM, G. Slaughter value and meat quality of goat kids with various share of Boer blood. Animal Science Papers and Reports, 27, 2009, p. 189–197.  
[8] Mc MILLIN, K.W., and BROCK, A.P. Production practices and processing for value-added goat meat. Journal of Animal Science, 2005, 83 (E. Suppl.), p. E57- E68.  
[9] MADRUGA, M.S and BRESSAN, M.C. Goat meats: Description, rational use, certification, processing and technological developments. Small Ruminant Research, 98(1-3), 2011, p. 39–45.  
[10] METRI, J.C., ANDRADE, S.A., MACHADO, E.C., SHINOHARA, N.K. e BISCONTINI, T.M. Controle bacteriológico de carne caprina para elaboração de hambúrguer caprino de fumado. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 58, 2006, p. 427–431.  
[11] MADRUGA, M.S., SANTOS, N.M., COSTA, R.G., MEDEIROS, A.N., QUEIROGA, R.C., SCHÜLLER, A.R., ALBUQUERQUE, C.L., GALVÃO, M.S., CAVALCANTI, R.N. and CAMPOS, R.J. Fat components from precooked —buchadall: an edible goat meat by product. Ciencia y Tecnología Alimentaria, 5(4), 2007, p. 265–270.  
[12] DÁLMAS, P.S., COUTINHO, E.P., MORREIRA, R.T., FÉLEX, S.S. e MADRUGA, M.S. Avaliação sensorial de um embutido tipo chouriço elaborado a partir desubprodutos do abate de caprinos. Arcajú (Brasil): Anais do II Simpósio de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2010.  
[13] IBARRA, P.I. Qualitative aspects of goat meat including processing, storage, and organoleptic

- factors. In: Devendra, C. (Ed.), Proceedings of International Workshop on Goat Meat Production in Asia. Tando Jam (Pakistan): 1988, p. 100–108.
- [14] PAWAR, V.D., VEER, D.G and MACHEWAD, G.M. Effect of sodium chloride and sodium tripolyphosphate on the quality attributes of goat meat patties. *Journal of Food Science and Technology*, 42, 2005, p. 331–336.
- [15] ALPER-ÖNENC, M.S., and KIYALBEK, A. Effect of various additives to marinating baths on some properties of cattle meat. *European Food Research and Technology*, 218, 2004, p. 114–117.
- [16] BOWLING, R.A., SMITH, G.C., CARPENTER, Z.L., MARSHALL, W.H. and SHELTON, M. Blade tenderization of wholesale cuts from ram lambs and kid goats. *Journal of Animal Science*, 1976, 43, p. 122–130.
- [17] BABJI, Y., MURTHY, T.R and ANJANEYULU, A.S. Microbial and sensory quality changes in refrigerated minced goat meat stored under vacuum and in air. *Small Ruminant Research*, 36, 2000, p. 75–84.
- [18] MORALES-DE LA NUEZ, A., MORENO-INDIAS, I., FALCÓN, A., ARGÜELLO, A., SÁNCHEZ-MACIAS, D., CAPOTE, J. and CASTRO, N. Effects of various packaging systems on the quality characteristic of goat meat. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22(3), 2009, p. 428–432.
- [19] ARGOTE, F., VELASCO, R. y PAZ, P. Estudio de métodos y tiempos para obtención de carne de cuy (*Cavia Porcellus*) ampacada al vacaío. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 5(2), 2007, p. 103–111.
- [20] GARRIDO, M.D. y BAÑÓN, S. Determinación instrumental de la calidad de la carne. Medida del pH. En: *Metodología para el estudio de la calidad de la canal y de la carne en rumiantes*. Cañeque, V. y Sañudo, C. New York (USA): Cornell University, INIA, 2009, 255 p.
- [21] PLA, M. Determinación instrumental de la calidad de la carne. Medida de la capacidad de retención de agua. En: *Metodología para el estudio de la calidad de la canal y de la carne en rumiantes*. Cañeque, V. y Sañudo, C. New York (USA): Cornell University, INIA, 2009, 255 p.
- [22] WATTANACHANT, S., SORNPRASITT, T. and POLPARA, Y. Quality characteristics of raw and canned goat meat in water, brine, oil and Thai curry during storage, *Songklanakarin Journal of Food Science and Technology*, 30 (Suppl.1), 2008, p. 41–50.
- [23] WISTREICH, J. Ham curing. *Food Technology*, 11, 1960, p. 549–551.
- [24] GIRARD, J.P. *Tecnología de la carne y de los productos cárnicos*. Zaragoza (España): Editorial Acriba, 1991, 316 p.
- [25] INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS (ICMSF). *Microorganismos de los Alimentos 6. Ecología Microbiana de los productos alimentarios*. Zaragoza (España): Editorial Acriba, 1998.
- [26] GRAU, F.H. Inhibition of the anaerobic growth of *Brochothrix thermosphacta* by lactic acid. *Applied and Environmental Microbiology*, 40(3), 1980, p. 433–436.
- [27] GRAU, F.H. Role of pH, lactate and anaerobiosis in controlling the growth of some fermentative gram negative bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 42(6), 1981, p. 1043–1050.
- [28] BACHHIL, V.N. Influence of lower storage temperatures of keeping quality of fresh goat meat. *Indian Journal of Veterinary Medicine*, 6, 1982, p. 105–106.
- [29] BRIGHTWELL, G., CLEMENS, R., URLICH, S. and BOEREMA, J. Possible involvement of psychrotolerant Enterobacteriaceae in blown pack spoilage of vacuum-packaged raw meat. *International Journal of Food Microbiology*, 119(3), 2007, p. 334–339.
- [30] BHAT, Z.F., PATHAK, V., BUKHARI, S.A., AHMAD, S.R. and BHAT, H. Quality changes in chevon harrisa (meat based product) during refrigerated storage. *International Journal of Meat Science*, 1(1), 2010, p. 52–61.
- [31] VARNAM, A.H. y SUTHERLAND, J.P. *Carne y productos cárnicos: Tecnología, Química y microbiología*. Zaragoza (España): Editorial Acriba, 1995, 423 p.
- [32] MADRUGA, M.S., RESOSEMITO, F.S., NARAIN, N., SOUSA, W.H, CUNHA, M.G y RAMOS, J.L. Efecto de las condiciones de crecimiento de cabras en la calidad fisicoquímica y química de su carne. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5(2), 2006, p. 100–104.
- [33] SHERADIN, R., HOFFMAN, L.C and FERREIRA, A.V. Meat quality of Boer kids and Mutton Merino lambs 1 commercial yields and chemical composition. *Animal Science*, 76, 2003, p. 63–71.
- [34] PARK, Y.W. and WASHINGTON, A.C. Fatty acid composition of goat organ and muscle meat of Alpine and Nubian breeds. *Journal of Food Science*, 58, 1993, p. 245–253.

- [35] CARBALLO, B. y LÓPEZ-DE TORRE, G. Manual de bioquímica y tecnología de la carne. Madrid (España): Editorial Iragra, S.A., 1991, 171 p.
- [36] HAMM, R. Uber das Wasserbindungs vermögen des Fleisches. Fleischerei, 33, 1982, p. 590–599.
- [37] GONZÁLEZ, F.A., OWEN, J.E. and CERECERES, M.T. Studies on the criollo goat of northern Mexico: part 2- physical and chemical characteristics of the musculature. Meat Science, 1983, 9(4), p. 305–314.
- [38] MATASSINO, D., CONGIU, F., GIROLAMI, A. and COSENTINO, E. Myorheological, chemical and colour characteristics of meat in lambs and kids slaughtered at 28, 35 and 42 days. Nantes (France): 32 Annual Meeting of EAAP. SV-14, 1981.
- [39] ARGÜELLO, A., GINÉS, R., CAPOTE, J. y LÓPEZ, J.L. Aproximación al estudio de las características físicas de la carne de cabrito de la agrupación caprina canaria. Producción Ovina y Caprina, XXIII 1998, p. 141-144.
- [40] PUOLANNE, E. and HALONEN, M. Theoretical aspects of water-holding in meat. Meat Science, 2010, 86, p. 151–165.
- [41] DÉR, A., KELEMEN, L., FÁBIÁN, L., TANEVA, S.G., FODOR, E., PÁLI, T., CUPANE, A., CACACE, M.G. and RAMSDEN, J.J.. Interfacial water structure controls protein conformation. The Journal of Physical Chemistry, 111, 2007, p. 5344–5350.

# EVALUACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS UTILIZANDO COMO INDICADORES PLANTAS DE LECHUGA Y REPOLLO EN POPAYAN, CAUCA

## EVALUATION OF ORGANIC MANURES IN LETTUCE AND CABBAGE PLANTS AT POPAYÁN, CAUCA

## AVALIAÇÃO UTILIZANDO PLANTAS ADUBO ORGÂNICO COMO INDICADORES DE ALFACE E REPOLHO EM POPAYÁN, CAUCA

JUAN MANUEL MUÑOZ C.<sup>1</sup>; JAVIER ANDRÉS MUÑOZ P.<sup>2</sup> Y CONSUELO MONTES R.<sup>2</sup>

### RESUMEN

*Este estudio tuvo por objeto de evaluar abonos orgánicos provenientes de residuos de cosecha y plazas de mercado de Popayán, utilizando plantas de repollo y lechuga. Se recolectaron residuos de fincas de café y plazas de mercados de Popayán, se elaboraron pilas de compost separadamente y se analizó cada compost para determinar contenido de nutrientes. Se aplicó compost en dos etapas de cultivo como fertilizante. Se utilizó un diseño completamente al azar con tres tratamientos y tres repeticiones,  $T_0$ : Testigo, sin abono;  $T_1$ : compost elaborado de pulpa de café, troncho de plátano y gallinaza y  $T_2$ : compost elaborado con residuos de plazas de mercado. Las pruebas físico-químicas del compost cumplieron la norma NTC 5167 y la diferencia radicó en que  $T_1$  es fuente de K y P y  $T_2$  de N; la aplicación del compost al suelo mejoró pH, M.O y CIC; la ganancia promedio en peso para los cultivos superó el 300%; los análisis microbiológicos cumplieron los parámetros de INVIMA de control y vigilancia de calidad de productos alimenticios. Se concluyó que los materiales utilizados para producción de compost*

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

- 1 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias, TULL, Grupo de Investigación para el Desarrollo Rural. Ingenieros Agropecuarios. Popayán, Colombia.
- 2 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.

**Correspondencia:** cmontesr@unicauca.edu.co

*influyen en las propiedades físico-químicas del abono orgánico y los compostajes cumplieron con 15 parámetros de la norma NTC 5167.*

## ABSTRACT

*This study was realized to evaluate organic manures from residues of crop and markets at Popayán's city, using cabbage and lettuce plants. There were gathered residues of productive units of coffee and principal markets of the city, batteries of compost were elaborated for separated and every compost was analyzed to determine the content of nutrients. The Compost was applied in two stages of culture as alternative to chemical fertilization. Statistical experimental design was completely at random with three treatments and three repetitions, T0: Witness, without any credit; T1: elaborated compost of flesh of coffee, stem of banana and poultry droppings and T2: compost obtained from residues of market. The physicochemical tests met compost NTC 5167 boundaries and the difference was that T1 is a source of K and P, while T2 is N source; compost application in improved soil pH, content of MO and CIC, the average weight gain for cabbage and lettuce exceeded 300%, it not was necessary to provide pest control measures; microbiological test INVIMA met the parameters for quality control and monitoring of foodstuffs. It was concluded that the materials used for compost production influence the physicochemical properties of organic manures and composting met analyzed 15 parameters of the NTC 5167.*

## RESUMO

*Este estudo foi realizado para avaliar fertilizantes orgânicos a partir de resíduos de culturas e mercados da cidade de Popayan, utilizando como indicadores das plantas de repolho e alface. Resíduos foram coletados unidades de produção de café e praças principais nos mercados da cidade, pilhas de compostagem foram preparadas separadamente e analisados a cada composto para determinar o teor de nutrientes. Composto foi aplicado em duas fases da cultura como uma alternativa aos fertilizantes químicos. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos e três repetições, T0: controle, sem adubação; T1: composto feito a partir de polpa de café, banana e talo de frango e T2: compostagem de resíduos mercados. Os testes físico-met limites composto NTC 5167 e a diferença era que T1 é uma fonte de K e P, enquanto que T2 é a fonte de azoto; aplicação do composto do pH do solo melhorado, teor de MO e CIC, o ganho de peso médio de repolho e alface ultrapassou 300%, foi necessário prever medidas de controle de pragas; análises microbiológicas INVIMA conheceu os parâmetros de controle de qualidade e controle dos géneros. Concluiu-se que os materiais utilizados para a produção de composto influenciam as propriedades físico-químicas dos fertilizantes orgânicos e compostagem met analisados 15 parâmetros do 5167 NTC.*

## PALABRAS CLAVE:

Compost, Resíduos de cosecha, Infestación, Fertilización, *Lactuca sativa*, *Brassica oleracea*

## KEY WORDS:

Compost, Crop residues, Infestación, Fertilización, *Lactuca sativa*, *Brassica oleracea*

## PALAVRAS CHAVE:

Compostagem, Resíduos de colheitas, Infestação, Fertilização, *Lactuca sativa*, *Brassica oleracea*

## INTRODUCCIÓN

Hacia los años 50, como una solución al aumento de la población mundial se presentó la revolución verde [1], que tenía como fin incrementar la producción de alimentos por planta con el uso de alta tecnología; se crearon nuevos cultivares genéticamente superiores, los cuales producían más que aquellos cultivos tradicionales, con el inconveniente de ser dependientes del hombre y del uso de productos químicos para mantener dichos rendimientos [2].

La ampliación de la frontera urbana, sin planificación y sin ordenamiento territorial, sumado al crecimiento industrial y la modificación de patrones de consumo, han originado un incremento en la generación de residuos sólidos [3]. Sumado a esto el establecimiento de grandes áreas de monocultivos y el uso de agroquímicos para la producción con materiales mejorados, como solución a los problemas de pobreza y hambre del mundo, han causado cambios en los cultivos tradicionales pasando a cultivos mejorados, con el objetivo de obtener alta productividad. Dichos cultivos se hicieron cada vez más vulnerables al ataque de plagas, debido a que éstas desarrollaron resistencia al uso de determinados agroquímicos. [2], haciendo que los agricultores utilicen productos cada vez más tóxicos, los cuales han deteriorado el medio ambiente (contaminación de aguas, pérdida de la biodiversidad de la fauna y flora del ecosistema, de la fertilidad y estructura del suelo, entre otros).

Además bien sea por desconocimiento o por falta de orientación, los agricultores no utilizan los medios que la misma finca les brinda para producir; hoy en día se busca tener una agricultura limpia, la cual se logra mediante la utilización de productos naturales y biodegradables que no alteran el medio ambiente.

El aprovechamiento de los residuos o el denominado reciclaje, ha ganado importancia a nivel mundial [3], una forma de obtenerlos es mediante el aprovechamiento de los restos de cosecha y aquellos residuos sólidos provenientes del sector urbano, como residuos de plazas de mercado. Por esta razón **éste** estudio se propuso evaluar abonos orgánicos provenientes de residuos de cosecha y plazas de mercado de la ciudad de Popayán, utilizando como indicadores plantas de repollo y lechuga.

## MÉTODO

El trabajo se realizó en el lote experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca, sede Las Guacas, al nororiente del municipio de Popayán, Vereda Lame. La zona se ubica a una altura de 1900 msnm; temperatura ambiente promedio 19°C, precipitación 2000 mm/año, humedad relativa 80%.

Los compostajes se elaboraron en dos sitios diferentes: el compost de residuos de finca cafetera se elaboró en el área de compostaje de la Facultad de Ciencias Agrarias y el compost de plazas de mercado se preparó en la planta de compostaje de la Unidad municipal de asistencia técnica agropecuaria (UMATA) Popayán.

### Recolección de residuos de unidades productivas de café y de plazas de mercado

Para el compost de residuos de cosecha, se realizó recolección de pulpa de café en la Hacienda El Troje, municipio de Timbío (Cauca), el troncho de plátano y de banano fue recolectado en la finca La Sultana de la Universidad del Cauca y la gallinaza se obtuvo en la vereda Julumito del municipio de Popayán.

Para el compost de residuos de plazas de mercado, se acudió a los principales centros de abasto de alimentos de Popayán y en coordinación con la UMATA (entidad encargada de manejar los residuos sólidos de la ciudad), se realizó una caracterización del mejor material disponible y se desechó aquel que tenía un alto grado de pudrición, vidrios, plásticos o el que presentaba algún tipo de problemas (hongos, enfermedades, etc.).

### Preparación del compost

Una vez seleccionados los materiales se elaboraron las pilas de compostaje de la siguiente manera:

#### Compost proveniente de residuos de finca cafetera

Se utilizaron 400 kg de pulpa de café, 200 kg de troncho de plátano y 200 kg de gallinaza.

Para la preparación de 800 kg de compost se utilizó una compostera de guadua de 1m<sup>3</sup>, de la siguiente manera: se colocaron 250 g de cal agrícola en la base; luego una capa de 3 cm de pasto seco para separar las capas; luego una capa de 10 cm de pulpa de café; una

capa de 10 cm de gallinaza y se humedeció el material con una mezcla de 1 kg de miel de purga con 1 litro de microorganismos efectivos obtenidos en los bosques de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, con el fin de acelerar el proceso de descomposición del material; se adicionó una capa de 10 cm de troncho de plátano picado y se cerró la primera secuencia con una capa de pasto de 10 cm; este procedimiento se repitió hasta completar el metro del altura.

Durante los 15 días iniciales no se realizaron volteos en la pila de compost, con el fin de favorecer la actividad microbiológica para acelerar y mejorar la descomposición de la materia orgánica, luego se realizaron volteos dos veces a la semana para airear el compost durante dos meses, hasta lograr la madurez del compost.

### **Compost proveniente de los residuos de plazas de mercado**

Se preparó en las instalaciones de la UMATA. Inicialmente se hizo una clasificación de una muestra significativa del material para compostar (100 kg), de los cuales el 20% era plátano (hojas, troncho y cáscaras), 24% frutas (maracuyá, naranja, piña, limón y mora), 17% de hortalizas (pimentón, repollo, lechuga, cebolla, coliflor, brócoli, acelga, ají, habichuela, frijol, zanahoria y tomate), 16% maíz (tuzas, hojas y enteros), 12% aguacate (pepas, cáscara y enteros), 8% materiales pequeños que no se pudieron identificar y 3% de materiales no orgánicos (pilas, vidrios, plásticos, etc.).

Para la elaboración del compost, la UMATA recibe los residuos de plazas de mercado tres veces a la semana; éstos se seleccionan, pesan, dividen en partículas más pequeñas y posteriormente se hacen pilas de 2 m de altura y 2 m de diámetro, aplicándoles miel de purga y cal. Luego de tres meses se muelen y se empaquetan en bultos de 50 kg.

### **Análisis del compost**

Se tomó una muestra de 500g de cada tipo de compost para el análisis en el laboratorio, con el fin de determinar el contenido de nutrientes.

### **Análisis inicial de suelos**

Se tomaron cinco sub muestras de suelo en la parcela del ensayo, luego se homogenizaron para obtener una muestra significativa del lote y se enviaron al laboratorio de suelos.

### **Montaje de los tratamientos**

El experimento consistió en aplicar dos dosis de compost en dos etapas del cultivo de repollo y lechuga, como alternativa a la fertilización química.

Para evaluar el efecto de los tratamientos, se utilizó un diseño completamente al azar conformado por tres tratamientos ( $T_0$ ,  $T_1$  y  $T_2$ ), con tres repeticiones, donde cada tratamiento consistió en:  $T_0$  testigo, sin abono ni fertilización;  $T_1$ , aplicación de compost obtenido a partir de pulpa de café, troncho de plátano y gallinaza;  $T_2$ , aplicación de compost obtenido a partir de residuos de plazas de mercado.

Cada parcela experimental fue de 5m de largo x 0,8 m de ancho, con calles de 1 metro.

Se sembraron 32 plantas por cada parcela experimental, de las cuales se evaluaron 25. La aplicación de los abonos orgánicos se realizó en dos momentos: el primero en el trasplante cuando las plantas tuvieron el segundo par de hojas verdaderas (30 días), colocando 500 gramos del compost maduro en cada sitio de siembra en parcelas de repollo y de lechuga; la segunda a la mitad del ciclo del cultivo (45 días para la lechuga y 60 para el repollo), colocando 500 g por planta.

### **Variables a evaluar**

Utilizando plantas de repollo y lechuga como indicadores para evaluar la calidad del compost, se consideraron las siguientes variables: peso de cabeza de lechuga y repollo y calidad sanitaria para lo cual se evaluó la incidencia y severidad de las plagas que se presentaron en el cultivo, utilizando una escala de 1 a 5 propuesta por [4], donde: 1. Menos de 5% de daño; 2. del 5% al 10% de daño; 3. Del 10 al 20% de daño; 4. 20 a 30% de daño y 5. Más de 30% de daño.

### **Análisis microbiológico**

Con el fin de determinar si las plantas eran óptimas o no para el consumo, se realizaron pruebas para recuento de aerobios mesófilos (NTC 4519), de mohos (INVIMA) y levaduras (INVIMA), NMP de coliformes totales (NTC 4516) y fecales (INVIMA), e investigación de *Escherichia coli* (ISO 7251), salmonella (NTC 4574) y Shiguella NTC 4574.

## RESULTADOS

### Recolección de residuos de unidades productivas de café y producción del compost (CFC)

Al Finalizar el proceso de compostaje se obtuvo 450 kg de compost maduro, es decir que hubo una pérdida del 44%, lo cual concuerda con [5], quien afirma que el peso final está entre el 40 y 50% del inicial; estas diferencias ocurren por volatilización de materia orgánica y pérdidas de agua. El compost se almacenó en un lugar fresco y seco en bultos de 50 kg.

### Recolección de residuos de plazas de mercado (CPM)

El compost estuvo maduro a los tres meses y se obtuvieron 1.5 toneladas las cuales se empacaron en bultos de 50 kg y se almacenaron en un lugar seco y fresco con poca luz.

### Análisis del compost

Los resultados de las pruebas físico-químicas realizadas cumplieron con los límites establecidos por la norma NTC 5167, segunda actualización, que establece los requisitos que deben cumplir los compuestos orgánicos usados como abonos o fertilizantes. (Cuadro 1)

La diferencia entre el compost de finca cafetera (CFC) y el compost de plazas de mercado (CPM), radica principalmente en que el primero es fuente de potasio y fósforo, mientras que el segundo es fuente de nitrógeno, lo cual se debe a los componentes utilizados en su preparación.

El troncho de plátano y la pulpa de café son importantes fuentes de potasio; en el caso de la pulpa de café, Suarez de Castro citado por [6], encontró que 100 libras de pulpa de café seco equivalen, con base en su composición química, a 10 libras de fertilizante inorgánico 14-3-37 (N-P-K) reflejando su alto contenido de potasio y su valor como abono orgánico; el troncho de plátano aporta potasio, debido a las altas cantidades que en forma natural absorbe y transloca desde el suelo y que permanecen en los desechos, como lo afirma [7], quien trabajó con cinco sustratos orgánicos (desechos domésticos, estiércol de vacuno, residuos de banano, follaje de ornamentales y broza de café), en los cuales el mayor contenido de potasio lo encontró en los residuos de banano. El mayor con-

tenido de fósforo se debe a la gallinaza, tal y como lo afirma [8], quien encontró que cuando se incluye galli-

Cuadro 1. Análisis físico - químico de compost.

| Resultados análisis de compostajes                      |        |        |            |
|---|--------|--------|------------|
| Parámetros  | CFC    | CPM    | NTC 5167   |
| Humedad (%)   | 10,64  | 10,8   | Máximo 20  |
| Densidad (g/cm <sup>3</sup> )                           | 0,67   | 0,66   | Máximo 0.6 |
| Conductividad eléctrica (msm)                           | 8,86   | 14,75  | N.A        |
| CRA (g/100 g abono)                                     | 136,28 | 136,76 | Mínimo 100 |
| Ceniza (%)  | 57,01  | 38,57  | N.A.       |
| Pérdidas por calcinación (%)                            | 42,99  | 38,57  | N.A.       |
| pH  | 7,47   | 7,12   | >4>9       |
| Carbonatos  | 2,07   | 4,45   | N.A.       |
| Carbono orgánico (C%)                                   | 14,31  | 15,79  | Mínimo 15  |
| Materia orgánica (%M.O)                                 | 24,68  | 27,22  | Mínimo 25  |
| C/N   | 15,59  | 13,92  | N.A        |
| CIC (meq/100g)  | 53,97  | 52,77  | Mínimo 30  |
| Nitrógeno total (%N)                                    | 0,92   | 1,13   | N.A        |
| Fosforo total (% P <sup>2</sup> O <sup>5</sup> )        | 1,29   | 1,07   | N.A        |
| Potasio Total (% K <sup>2</sup> O)                      | 2,31   | 1,92   | Si >1      |
| Calcio total (% CaO)                                    | 1,88   | 5,09   | N.A        |
| Magnesio total (% MgO)                                  | 1,5    | 1,47   | N.A        |
| Sodio total (% Na)                                      | 0,767  | 1,167  | N.A        |
| Datos complementarios no exigidos por la norma NTC 5167 |        |        |            |
| Extracto húmico total (%C)                              | 1,01   | 1,94   | .          |
| Ácidos fúlvicos (%C)                                    | 0,32   | 1,9    | .          |
| Ácidos húmicos (%C)                                     | 0,05   | 0,04   | .          |
| C no extraíble (%C)                                     | 11,23  | 9,4    | .          |
| Fósforo orgánico (%P <sup>2</sup> O <sup>5</sup> )      | 0,37   | 0,24   | .          |
| Fósforo inorgánico (%P <sup>2</sup> O <sup>5</sup> )    | 0,92   | 0,83   | .          |
| Material superior 2 mm (%)                              | 36,38  | 38,3   | .          |

\*N.A. = no aplica

naza en la elaboración del abono orgánico, se aumenta el contenido de fósforo.

El CPM resulta ser una fuente de N, lo cual coincide con [7], quienes determinaron que los compostajes producidos con desechos domésticos y material de podas, son los que muestran los mayores valores de N, siendo el doméstico el de contenidos mayores. Además, los dos compostajes se consideran fuentes de calcio. Lo anterior demuestra que los materiales utilizados en la elaboración de compost influyen en las propiedades físico-químicas finales del abono orgánico.

### Efecto de la aplicación de compost en el suelo

Se observó efecto positivo sobre las propiedades químicas del suelo, al comparar los análisis realizados antes y después de la aplicación de los abonos orgánicos en los dos tratamientos (Cuadro 2). Se mejoró notablemente el pH, el contenido de M.O y la CIC, que son propiedades del suelo que mejoran la disponibilidad de nutrientes para los cultivos.

El análisis final de suelos muestra que la aplicación del compost afectó positivamente el pH, pasando de 5,5 a 6,15 para las parcelas con CFC y a 6,11 para parcelas con aplicación de CPM, indicando que la aplicación de abonos tiene efecto directo sobre el pH del suelo; lo cual mejora la disponibilidad de nutrientes y disminuye la necesidad de encalar; estos resultados concuerdan con los obtenidos por [9], quienes encontraron un incremento en el pH del suelo con la aplicación de abonos orgánicos en dos zonas y lo atribuyeron al contenido de cationes básicos (Ca, Mg y K) presentes en estos abonos, lo que provocó una reducción en las concentraciones de iones intercambiables (Al y H).

En los dos tratamientos se evidenció un incremento en la capacidad de intercambio catiónico, pasando de 7,47 meq/100g a 34,7 meq/100g en CFC y a 10,36 meq/100g en CPM, resultados que coinciden con [10], quienes obtuvieron una gran variación en CIC entre 25 muestras de compost, la cual cambió desde 36 a 228,6 meq/100g. [10], aseguran que el compost tiene una alta capacidad de adsorción físico química de cationes que se incrementa durante el proceso de humificación; [9], muestran el efecto de la aplicación de dos compostajes que favorecen la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE); además, los ácidos húmicos y fúlvicos incrementan la capacidad de intercambio catiónico del suelo y la

**Cuadro 2.** Análisis de suelos y análisis de los abonos.

| <b>Análisis de suelos antes y después de tratamiento</b> |                |                                    |  |
|--|----------------|------------------------------------|--|
| <b>Parámetros</b>  | <b>Inicial</b> | <b>Suelo con aplicación de CFC</b> | <b>Suelo con aplicación de CPM después</b> |
| pH   | 5,5            | 6,15                               | 6,11                                       |
| N total  | 0,34           | 0,55                               | 0,65                                       |
| M.O. (%)   | 6,82           | 11                                 | 13   |
| P (ppm)  | 12             | 12,3                               | 17,7                                       |
| Ca (meq/100 g)   | 4,9            | 7                                  | 6,47                                       |
| Mg (meq/100 g)   | 1,2            | 1,5                                | 1,3  |
| K (meq/100 g)  | 0,9            | 2,02                               | 1,84                                       |
| Na (meq/100 g)   | 0,47           | 24,18                              | 0,75                                       |
| CICe (meq/100 g)   | 7,47           | 34,7                               | 10,36                                      |

CFC: Compost de finca cafetera; CPM: compost de plazas de mercado.

retención de humedad [11], tal y como lo muestra el cuadro 2.

El efecto que los abonos orgánicos ejercen sobre el contenido de nitrógeno en el suelo es variable; esto puede deberse a que la disponibilidad de este elemento desde los residuos es compleja y está influenciada por diversas transformaciones químicas, físicas y biológicas. Estos procesos y transformaciones están afectados principalmente por factores como la relación carbono/nitrógeno y el contenido de nitrógeno del residuo, la humedad, temperatura y características del suelo, así como por la forma de aplicación y la cantidad de abono empleada [12]. En este caso, el nitrógeno total del suelo mejoró, pasando de 0,34% a 0,55% para el CFC y a 0,65% en CPM.

### Comparación de los dos tipos de compost utilizando como indicador plantas de repollo y lechuga

La aplicación de los abonos orgánicos tuvo efecto positivo sobre la producción de plantas de lechuga y repollo (Cuadro 3). La ganancia promedio en peso para lechuga fue del 420% y para repollo de 334% con respecto al testigo en el tratamiento CFC. Para el tratamiento CPM, la ganancia en peso para lechuga fue de 379,5% y para repollo de 364% con respecto al testigo.

En el cuadro 3 se presentan los resultados obtenidos al evaluar el peso de 25 cabezas de lechuga y 25 de repollo para los tres tratamientos. Se observa que el mayor peso para el repollo fue con el tratamiento CPM y para lechuga con el tratamiento CFC.

**Cuadro 3.** Peso promedio para lechuga y repollo.

| Peso promedio (g) |       |       |       |          |
|-------------------|-------|-------|-------|----------|
| Lechuga           |       |       |       |          |
| Tratamiento       | 1     | 2     | 3     | Promedio |
| Testigo           | 65,6  | 67,8  | 37,2  | 56,87    |
| CFC               | 271,6 | 226,8 | 219,2 | 239,2    |
| CPM               | 208,8 | 217   | 221,8 | 215,87   |
| Repollo           |       |       |       |          |
| Tratamiento       | 1     | 2     | 3     | Promedio |
| Testigo           | 364,2 | 800   | 400   | 521,4    |
| CFC               | 1.952 | 1.874 | 1.402 | 1.742,67 |
| CPM               | 1.828 | 2.236 | 1.632 | 1.898,67 |

Los análisis de varianza para lechuga y repollo permiten detectar diferencias significativas entre tratamientos (Cuadros 4 y 5) y la prueba de Duncan (Cuadro 6 y 7), muestra diferencias altamente significativas entre el testigo y los dos tratamientos en lechuga y entre los 3 tratamientos en repollo.

En los cuadros anteriores se muestra el efecto de la aplicación de los dos tipos de compostaje sobre el peso de plantas de lechuga y repollo; la lechuga responde mejor a la aplicación de CFC y el repollo a la aplicación de CPM, lo cual se debe a que cada compostaje aporta nutrientes diferentes y las especies tienen requerimientos nutricionales distintos.

Los requerimientos nutricionales de lechuga y repollo son diferentes en cuanto a potasio y nitrógeno; las plantas de lechuga exigen 15% más potasio que el repollo, mientras el repollo exige 50% más de ni-

**Cuadro 4.** Análisis de varianza para peso de lechuga.

| Fuentes de variación | GI | SC          | CM         | FC   | FT (5%) |
|----------------------|----|-------------|------------|------|---------|
| Tratamiento          | 2  | 59.070,89   | 29.535,44  | 0,18 | 5,1433* |
| Error                | 6  | 965.712,41  | 160.952,07 |      |         |
| Total                | 8  | 1.024.783,3 |            |      |         |

**Cuadro 5.** Análisis de varianza para peso del repollo.

| Fuentes de variación | GI | SC          | CM          | FC   | FT (5%) |
|----------------------|----|-------------|-------------|------|---------|
| Tratamiento          | 2  | 3.275.525,5 | 1.637.762,8 | 0,16 | 5,1433* |
| Error                | 6  | 62.948.725  | 10.491.454  |      |         |
| Total                | 8  | 66.224.251  |             |      |         |

**Cuadro 6.** Prueba de Duncan para el peso de la lechuga (5%).

| Característica           | Tratamiento | Peso g/planta |   |
|--------------------------|-------------|---------------|---|
| Peso promedio de lechuga | Testigo     | 56,87         | a |
|                          | CFC         | 239,2         | b |
|                          | CPM         | 215,87        | b |

**Cuadro 7.** Prueba de Duncan para el peso del repollo (5%).

| Característica           | Tratamiento | Peso g/planta |   |
|--------------------------|-------------|---------------|---|
| Peso promedio de repollo | Testigo     | 548,07        | a |
|                          | CFC         | 1.742,67      | b |
|                          | CPM         | 1.898,67      | c |

trógeno que la lechuga por cada tonelada producida [13] y sus necesidades de nutrientes se ordenan así: N>Ca>K>Mg>P>S [14]. Además, el repollo tiene un alto contenido de calcio, lo cual hace que el cultivo sea exigente en este elemento; el CPM es fuente de nitrógeno y calcio, por lo que el repollo se desarrolló y tuvo mejor producción con este tratamiento.

La mayor CIC se obtuvo con el tratamiento CFC, lo cual mejoró la disponibilidad de nutrientes; así mismo, se mejoró el contenido de cationes básicos (Ca, Mg y K) y los hizo más accequibles a la planta; como la lechuga demanda mayor cantidad de K que el repollo, se puede inferir que por esta razón respondió mejor a este tratamiento que al CPM.

Los abonos orgánicos empleados presentaron ácidos húmicos que favorecen la actividad de la flora microbiana del suelo, con lo que aumenta la mine-

ralización, la materia orgánica y la consecuente liberación de nutrimentos a formas disponibles para las raíces de las plantas. Igualmente, estimulan el desarrollo de la raíz y a nivel foliar aumentan la permeabilidad de la membrana celular, facilitando la absorción de nutrimentos [11].

Como se observa, una de las ventajas del uso de abonos orgánicos es el aporte gradual y constante de todos los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, reponiendo la extracción por las cosechas; lo que no sucede con los fertilizantes minerales que aceleran el agotamiento de aquellos nutrientes que no son aplicados al suelo [15].

### Calidad sanitaria

Las plagas que afectaron el cultivo de lechuga fueron cochinilla (*Pseudococcus* spp), babosa (*Arion subfuscus* D.) y diabrotica (*Diabrotica* sp), mientras que la chiza (*Phyllophaga* spp) y mariposa blanca (*Pieris brassicae*) afectaron el cultivo de repollo. Tanto en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L) como en repollo (*Brassica oleracea*. Var. *Capitata*), las parcelas que se vieron más afectadas por las plagas fueron las testigo.

De 288 plantas de lechuga, la cochinilla afectó diez plantas, la babosa cinco y la diabrotica ocho; de 288 plantas de repollo, la chiza afectó cinco plantas y la mariposa blanca 14; teniendo en cuenta que el % de infestación fue menor al 5%, no fue necesario establecer medidas de control diferentes al control cultural.

La baja infestación de plagas se explica por la aplicación de abonos orgánicos al suelo, coincidiendo con [16], quienes afirman que la aplicación de compost al suelo tiene el potencial de promover el control biológico de enfermedades de plantas. Igualmente, [16], afirman que estos abonos pueden introducir agentes de biocontrol al suelo y proporcionar alimento para su establecimiento y actividad. [16], afirma que pueden mejorar la condición de la raíz y aportar nutrientes a la planta, lo que favorece un crecimiento adecuado del cultivo que le permite tolerar las enfermedades o escapar de la infección.

Otra práctica que favoreció la ausencia de enfermedades fue la aplicación de productos de biocontrol, en este caso se hizo aplicación preventiva de caldo sulfocálcico, con las primeras lluvias que podían favorecer el desarrollo de hongos.

Este bajo índice de daño por plagas en los cultivos de repollo y lechuga, se puede atribuir también a la reducción de las condiciones que favorecen el desarrollo de los enemigos naturales que ya están presentes en el suelo, debido a la adición de materia orgánica, la cual incrementa sustancialmente la actividad microbiana de los suelos porque provee una fuente de carbono, energía y nutrientes para favorecer el crecimiento, actividad y número de microorganismos [17].

Además del efecto supresor sobre las plagas, los microorganismos del suelo son de gran importancia en el reciclaje de materia orgánica ya que sus componentes nutritivos son fácilmente absorbidos por las raíces de las plantas. Un suelo pobre, a menudo tiene un bajo contenido de materia orgánica y, consecuentemente, una baja población de microorganismos del suelo [17].

### Análisis microbiológico.

En el cuadro 8 se observan los resultados del análisis microbiológico del repollo, los resultados cumplen con los parámetros establecidos por el INVIMA para el control y vigilancia de la calidad de productos alimenticios, lo cual indica que es un producto libre de mi-

**Cuadro 8.** Análisis microbiológico del repollo.

| ANÁLISIS                            | RESULTADO MICROBIOLÓGICO |        |         |        |          |
|-------------------------------------|--------------------------|--------|---------|--------|----------|
|                                     | Método                   | Espec. | Testigo | CFC    | CPM      |
| NPM de coliforme totales/g          | NTC 4516                 | <150   | <3      | <3     | <3       |
| NPM de coliforme fecales 45 oC/g    | INVIMA                   | <3     | <3      | <3     | <3       |
| Salmonella en 25 g                  | NTC 4574                 | Ausen. | Ausen.  | Ausen. | Ausen.   |
| Recuento de aerobios mesofilos      | NTC 4519                 |        | 104000  | 320000 | 1600     |
| Recuento de Mohos                   | INVIMA                   |        | <10     | <100   | <10      |
| Recuento de levaduras               | INVIMA                   |        | <10     | <10    | <10      |
| Invest. de <i>Escherichiae coli</i> | ISO 7251                 |        | Ausen.  | Ausen. | Ausen.   |
| Listeria monocytogenes              | INVIMA                   |        | Ausen.  | Ausen. | Ausen.   |
| Shiguella                           | NTC 4574                 |        | Ausen.  | Ausen. | Ausencia |

croorganismos que puedan afectar la salud humana, es decir es un producto inocuo.

La disminución de la carga microbiana patógena del compost ocurre en dos fases: fase mesófila y fase termófila [18]. La fase mesófila tiene efecto cuando el compost es calentado a una temperatura de 38°C durante 15 días, donde hay una gran disminución del número de microorganismos patógenos; y la etapa termófila ocurre cuando la temperatura del compost supera los 53°C se pasteuriza el material y se eliminan en un 99,9% las bacterias patógenas, virus, huevos de áscaris, Shigella, Salmonella y coliformes totales, tal como lo afirman [18].

## CONCLUSIONES

Si se aplican 11520 kg/ha de abono orgánico al cultivo de lechuga se obtienen rendimientos de 5511 kg/ha con el CFC y 4797 kg/ha con el CPM; y si se aplican 23040 kg/ha de abono orgánico al cultivo de repollo se obtienen rendimientos de 40151 con CFC y 43745 kg/ha con el CPM.

La aplicación de abonos orgánicos generó un efecto positivo sobre las propiedades químicas del suelo, mejorando notablemente el pH, la CIC, que son propiedades del suelo que mejoran la disponibilidad de nutrientes en el suelo para los cultivos.

La aplicación de compost al suelo favorece el control biológico de plagas.

Los materiales utilizados en la elaboración del compost influyen en las propiedades físico-químicas finales del abono orgánico.

El CFC cumple con 15 de los 18 parámetros de la norma NTC 5167, mientras que el CPM cumple con 16 requisitos que deben cumplir los compuestos orgánicos usados como abonos o fertilizantes.

La aplicación de los compostajes evaluados no afectó la calidad microbiológica del repollo cumpliendo con los parámetros establecidos por el INVIMA para el control y vigilancia de la calidad de productos alimenticios, lo cual indica que es un producto libre de microorganismos.

Los resultados del análisis microbiológico demuestran que los productos obtenidos en la presente investiga-

ción, poseen la inocuidad que se exige para el consumo de hortalizas y la aplicación de abonos orgánicos maduros aumenta los rendimientos, disminuye la incidencia de plagas y mejora las características, físicas, químicas y biológicas del suelo.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad del Cauca por el apoyo en la realización de la investigación y al trabajo de grado de Juan Manuel Muñoz y Javier Andrés Muñoz, del cual se derivó el presente documento.

## REFERENCIAS

- [1] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. La revolución verde. 2011. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/kids/es/revolution.html> [Citado 20 Junio de 2011].
- [2] LEÓN, S. T. y RODRÍGUEZ, S.L. Ciencia, Tecnología y Ambiente en la Agricultura Colombiana. 2002. [En línea]. Disponible en: [http://www.kus.uu.se/CF/Cuaderno\\_04.pdf](http://www.kus.uu.se/CF/Cuaderno_04.pdf) [Citado 20 Junio de 2011].
- [3] CRUZ, C. E., CAN-CHULIM, A., BUGARÍN, M., PINEDA, P.J., FLORES, C.R., JUÁREZ, L.P., ALEJO, S.G. Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(3), 2014, p. 289-295.
- [4] GANUZA, L. E. Disponibilidad de nutrientes en fertilizantes orgánicos e inorgánicos a corto plazo en cultivo de lechuga y espinaca [Tesis Ingeniero Agrónomo]. Navarra (España): Universidad pública de Navarra. 2014, 80 p.
- [5] GORDILLO, F., PERALTA, E., CHÁVEZ, E., CONTRERAS, V., CAMPUZANO, A. y RUIZ, O. Producción y evaluación del proceso de compostaje a partir de desechos agroindustriales de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar). *RIA*, 37(2), 2011, P. 140-149. 2011, p. 140-149.
- [6] CERVANTES, R., CASTRO, L. C.I., Cabrera, A., J. R., FERNÁNDEZ, V. D. Efecto de la pulpa de cafeto (*Coffea arabica* L.) variedad arábica sobre propiedades químicas de tres suelos del macizo montañoso Guamuhaya. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3), 2014, P. 17-21.
- [7] CONTRERAS, J.L., ROJAS, J., ACEVEDO, I. y ADAMS, M. Caracterización de las propiedades

- físicas y bioquímicas del vermicompost de pergamino de café y estiércol de bovino. Revista Facultad de Agronomía, 1(1), 2014, p. 489-501.
- [8] VALERY, A., REYES, I. Eficiencia agronómica relativa de tres abonos orgánicos (vermicompost, compost, y gallinaza) en plantas de maíz (*Zea mays* L). Nota Técnica, Trujillo (Venezuela). Laboratorio de Investigación de Suelos. Departamento de Ciencias Agrarias. 2007, 36 p.
- [9] OROZCO, R. y MUÑOZ, R. Efecto de abonos orgánicos en las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de la mora (*Rubus adenotrichus*) en dos zonas agroecológicas de Costa Rica. *Tecnología en marcha*, 25(1), 2012, p. 16-31.
- [10] RAMOS, D., TERRY ALFONSO, C. E. SOTO, G. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos tropicales*, 35(4), 2014, p. 52-59.
- [11] ROMERO, F.J.C. Relación carbono nitrógeno en el proceso de lombricompostaje y su potencial nutrimental en jitomate menta. Proyecto de grado para optar por al título de maestro en ciencias. Texcoco (México): Colegio de posgraduados, Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas, 2013, 160 p.
- [12] PÉREZ, M.V, CABALLERO, R., ÁLVAREZ, P. Ch., CHÁVEZ, D., RODRÍGUEZ A., ALIOSKY. C. B. Determinación de niveles críticos externos de fósforo y potasio en huertos intensivos. *Centro Agrícola*, 39(2), 2012, p.13-17.
- [13] CIAMPITTI, I. y GARCIA, F. Requerimientos nutricionales absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. *Boletín Técnico*, Buenos Aires (Argentina): International Plant Nutrition Institute (IPNI), 2007, 120 p.
- [14] HERRERA, C., JARAMILLO, J., PINZON, H. y SANCHEZ, G. Taller de hortalizas, productividad y mercadeo. *Revista ventana al campo*, Bogotá (Colombia): Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA- Tibaitata), 2012, 25 p.
- [15] VALVERDE, F., ALVARADO, S., TORRES, C., QUISHPE, J., y PARRA, R. Los abonos orgánicos en la productividad de papa (*Solanum tuberosum* L.). IV Congreso Ecuatoriano de la papa, Guaranda, 28 - 30 de junio del 2011. Quito (Ecuador): Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, 2011, 11 p.
- [16] ARTAVIA, S., URIBE, L., SABORÍO, F., ARAUZ, L.F. y CASTRO, L. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos en la supresión de *Pythium myriotylum* en plantas de tiquizque (*Xanthosoma sagittifolium*). San José de Costa Rica (Costa Rica): Instituto Tecnológico de Costa Rica, Agronomía Costarricense, 2010, 34(1): p. 17-29.
- [17] MORENO, A., GARCÍA, G.L., GUTIÉRREZ, P., CANO, R. V., MARTÍNEZ, C. C., MÁRQUEZ, H. N, y RODRÍGUEZ, D. Desarrollo del cultivo de melón (*Cucumis melo*) con vermicompost bajo condiciones de invernadero. *Ecosistemas y recursos*, 1(2), 2014, p.163-173.
- [18] ARAYA, M., TAPIA, A., MATA, R., SERRANO, E. y ACUÑA, O. Efecto de la aplicación de compost y nematocida sobre la dinámica de las poblaciones de microorganismos, nematodos fitoparásitos del suelo y la salud del sistema radical en el cultivo del banano (*Musa aaa*) sembrado en domos. *Agronomía Costarricense*, 38(2), 2014, p. 93-105

# FACTIBILIDAD DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLAS DE AJONJOLÍ (*Sesamum indicum* L.) EN BOLSAS SILOBAG

## STORAGE FEASIBILITY OF SESAME SEEDS (*Sesamum indicum* L.) IN SILOBAG BAGS

## VIABILIDADE DE SESAME ARMAZENAMENTO DAS SEMENTES (*Sesamum indicum* L.) EM SACOS SILOBAG

YESID ALEJANDRO MARRUGO-LIGARDO<sup>1</sup>, LORENZO FUENTES-BERRIO<sup>2</sup>,  
PIEDAD MARGARITA MONTERO-CASTILLO<sup>3</sup>, DIOFANOR ACEVEDO-CORREA<sup>4</sup>

### RESUMEN

*El objetivo de esta investigación fue empacar semillas de ajonjolí (*Sesamum indicum*) en bolsas de silobag, evaluando sus características bromatológicas iniciales y después de los treinta y sesenta días de almacenadas a condiciones ambientales y en bodega a 30°C. Las pruebas se hicieron por triplicado, siguiendo los métodos oficiales de análisis; se reportaron los valores promedios. El análisis estadístico indicó que no hubo diferencias significativas respecto a los valores iniciales y los evaluados después de treinta días de almacenado en condiciones ambientales, en cuanto al contenido de fibra ( $3,98 \pm 0,06$  vs  $4,16 \pm 0,13$ ), proteínas ( $18,86 \pm 0,07$  vs  $19,71 \pm 0,89$ ), humedad ( $5,96 \pm 0,06$  vs  $6,11 \pm 0,11$ ), grasa ( $38,58 \pm 0,58$  vs  $37,49 \pm 0,27$ ) y carbohidratos ( $31,6 \pm 0,14$  vs  $30,76 \pm 0,68$ ). Si se observó algunas variaciones a medida que avanzó el tiempo de la prueba. Se concluyó que las bolsas silobag, se pueden recomendar para empacar ajonjolí y almacenarlo en bodega o dejarlo a la intemperie, dado que protegen*

**Recibido para evaluación:** 17 de Noviembre de 2013. **Aprobado para publicación:** 17 de Abril de 2015.

- 1 Universidad de Cartagena. M.Sc. Ciencia y Tecnología de Alimentos, Docente Programa Ingeniería de Alimentos. Cartagena, Colombia.
- 2 Universidad de Cartagena. M.Sc. Ciencia y Tecnología de Alimentos, Ph.D. en Ciencia de los Alimentos, Docente Programa Ingeniería de Alimentos. Cartagena, Colombia.
- 3 Universidad de Cartagena, Grupo de investigación NUSCA. M.Sc. Ciencia y Tecnología de Alimentos, Docente Programa Ingeniería de Alimentos. Cartagena, Colombia.
- 4 Universidad de Cartagena. Ph.D. Ingeniería de Alimentos, Docente Programa Ingeniería de Alimentos. Cartagena, Colombia.

**Correspondencia:** pmargaritamontero@hotmail.com , pmonteroc@unicaratgena.edu.co

*al producto contra agentes externos, conservando sus características básicas iniciales, lo cual representa una solución con posibles beneficios económicos para la conservación de este alimento.*

## ABSTRACT

*The objective of this research was to pack sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) in Silobag bags, assessing their initial qualitative characteristics and after thirty to sixty days of storage at ambient conditions and hold at 30°C. The tests were done in triplicate, following the official methods of analysis, the average values were reported. Statistical analysis indicated no significant differences from the initial values and those evaluated after thirty days of storage at ambient conditions, in terms of fiber content ( $3,98 \pm 0,06$  vs  $4,16 \pm 0,13$ ), protein ( $18,86 \pm 0,07$  vs  $19,71 \pm 0,89$ ), moisture ( $5,96 \pm 0,06$  vs  $6,11 \pm 0,11$ ), fat ( $38,58 \pm 0,58$  vs  $37,49 \pm 0,27$ ) and carbohydrates ( $31,6 \pm 0,14$  vs  $30,76 \pm 0,68$ ). If there was some variation as time progressed the test. It was concluded that Silobag bags may be recommended to pack and store in warehouse sesame or leave it in the open, because they protect the product against external agents keeping its initial basic features, which represents a solution with potential economic benefits for conservation this food.*

## RESUMO

*O objetivo desta pesquisa foi o de embalar as sementes de gergelim (*Sesamum indicum* L.), em Silobag sacos, avaliando suas características qualitativas iniciais e depois de trinta a sessenta dias de armazenamento em condições ambiente e manter a 30°C. Os testes foram realizados em triplicata, seguindo os métodos oficiais de análise, os valores médios foram relatados. A análise estatística não revelou diferenças significativas entre os valores iniciais e aqueles avaliados após 30 dias de armazenamento em condições ambientais, em termos de teor de fibras ( $3,98 \pm 0,06$  vs  $4,16 \pm 0,13$ ), proteína ( $18,86 \pm 0,07$  vs  $19,71 \pm 0,89$ ), umidade ( $5,96 \pm 0,06$  vs  $6,11 \pm 0,11$ ), gordura ( $38,58 \pm 0,58$  vs  $37,49 \pm 0,27$ ) e carboidratos ( $31,6 \pm 0,14$  vs  $30,76 \pm 0,68$ ). Se houvesse alguma variação quanto tempo passou no teste. Concluiu-se que Silobag sacos pode ser recomendado para embalar e armazenar em gergelim armazém ou deixá-lo em campo aberto, porque eles protegem o produto contra agentes externos, mantendo suas características básicas iniciais, o que representa uma solução com potenciais benefícios econômicos para a conservação este alimento.*

## PALABRAS CLAVE:

Poscosecha, Atmósfera, Bromatológico, Conservación.

## KEYWORDS:

Postharvest, Atmosphere, Bromatological Conservation.

## PALAVRAS-CHAVE :

Pós-Colheita, Atmosfera, Bromatológicas, Conservação.

## INTRODUCCIÓN

Colombia es el tercer país productor de ajonjolí en Latinoamérica, con 2.668 hectáreas cultivadas y una producción anual de 1.949 toneladas, superado únicamente por México y Venezuela [1]. El 75% de la producción nacional corresponden al departamento del Tolima y el 25% restante es aportado por Cundinamarca, Huila, Antioquia, Boyacá y la Costa norte [2]. Sin embargo actualmente en el país no se cuenta con las técnicas pos cosecha apropiadas para prolongar la vida útil que permita, mayor tiempo de conservación [2]. Así mismo muchos cultivadores no disponen de las tecnologías de transformación que brinde la posibilidad de obtener nuevos productos para comercializar [3].

El cultivo de ajonjolí es anual, y prospera en regiones cálidas con temperaturas entre 24 y 30°C, radiación solar alta, precipitaciones entre 300 y 400 mm, suelos franco arenoso y con drenaje eficiente [4]. El ajonjolí tiene un alto valor nutritivo por la gran cantidad de proteínas, lípidos e importantes minerales y vitaminas [5,6]. Es de resaltar que su contenido de proteína oscila entre 12 a 23% y el contenido de aceite entre 40 y 60%; la calidad de su aceite esencialmente con alto contenido de ácido linoleo (35 a 41% del aceite total) y su contenido de fibra 8 a 11% [6]. Tradicionalmente, los pobladores de los municipios productores de ajonjolí en los Montes de María (Bolívar- Colombia), que no cuentan con las técnicas pos cosecha apropiadas que permitan un mayor tiempo de conservación; para aprovechar la abundancia en épocas específicas, elaboran una pasta untable de manera artesanal, que hacen parte de su dieta básica; esta pasta de ajonjolí es un tipo de suspensión coloidal compuesta principalmente de sólidos hidrófilos suspendidos en aceite, al ser un residuo de la extracción del mismo, por ello presenta una gran cantidad de proteína (45-50%), de 5-7% de fibra cruda, comúnmente es usada como ingrediente para postres cremosos y salsas [7,8]. Durante la producción de la pasta las semillas seleccionadas son descascaradas mecánicamente, tostadas y molidas [9,10].

Las tendencias alimentarias actuales, han incrementado la necesidad de conservar los granos y semillas, lo que hace imprescindible la aplicación de tecnologías pos cosecha que permitan el mantenimiento de la calidad a lo largo de periodos de tiempo cada vez más prolongados [11]. Una alternativa para la conservación de granos es la utilización de bolsas plásticas herméticas de silobag, que comparadas con el

tradicional sistema de conservación (silos metálicos, celdas, silos de mallas) representa las ventajas de ser un sistema económico y de baja inversión [11]. Esta técnica consiste en el almacenamiento de granos en bolsas plásticas herméticas, donde el proceso respiratorio de los integrantes bióticos del granel (granos, hongos, insectos, etc.) consume el oxígeno (O<sub>2</sub>) generando dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) [12, 13]. La constitución de esta nueva atmósfera, rica en CO<sub>2</sub> y pobre en O<sub>2</sub>, suprime, inactiva o reduce la capacidad de reproducción y/o desarrollo de insectos y hongos, así como también la propia actividad del grano, facilitando su conservación [14].

Algunos estudios establecen que la diferencia entre enviar el grano al acopio o embolsarlo por un período de tres-cuatro meses genera un ahorro a los productores del 20-25% en trigo y soja y del 30-35% en maíz, dependiendo de la distancia a puerto en el sistema de comercialización; Además de estas ventajas económicas, las bolsas plásticas de silobag permiten almacenar granos de manera diferenciada, separándolos por su calidad y variedad de semillas [14]. Por otra parte, las bolsas plásticas permiten el almacenaje de los granos en el mismo lote de producción, haciendo más ágil la cosecha [14]. Pozzolo [15], ensayó la conservación de arroz a diferentes humedades en bolsas de silobag, e indicó que el grano almacenado con humedades del 17,5% no altera la calidad industrial en un período mínimo de 70 días; mientras que con humedades superiores de hasta 20,5% la conservación, medida como disminuciones en los parámetros de comercialización, se comportó por periodos de hasta 60 días sin alteraciones. De igual forma, Arias *et al.*, [11] ensayaron las condiciones de almacenamiento de un trigo en silo bolsas para diferentes condiciones climáticas (Sub-tropical, intermedio y templado), a humedades iniciales de 12, 14 y 16% w.b y temperaturas de ensacado de 25 y 40°C, encontrando que las condiciones climáticas producen cambios significativos, especialmente para grano seco y ligeramente húmedo; la pérdida de materia seca para las condiciones de almacenamiento no excedió los límites que resultarían en la reducción de la calidad comercial del grano, aunque la calidad de la semilla podría verse afectada por las condiciones húmedas de almacenamiento.

El almacenamiento de granos en ambientes controlados es un tema que ha sido muy estudiado y durante mucho tiempo, pero recién se puso extensivamente en práctica en los últimos años por la aparición en el

mercado de las bolsas plásticas. El principio básico de las bolsas plásticas, es similar a un almacenamiento hermético, donde se crea una atmósfera auto-modificada ya que se disminuye la concentración de oxígeno y aumenta la concentración de Anhídrido Carbónico [16]. Esto es el resultado principalmente de la respiración inicial de los microorganismos (hongos) y de la propia respiración de los granos. Al aumentar la concentración de anhídrido carbónico se produce un control, en general, sobre los insectos y sobre los hongos, disminuyendo el riesgo de deterioro de los granos. El riesgo de deterioro aumenta cuando se almacenan los granos, en silo-bolsas, con contenidos de humedad altos (17–20%), ya que crece la probabilidad que se desarrollen microorganismos anaeróbicos o anaeróbicos facultativos como las bacterias y las levaduras [16].

La calidad inicial influye en gran proporción en el comportamiento de los granos durante el almacenamiento; no se recomienda almacenar en este sistema granos húmedos y además que tengan mucho daño climático y/o mecánico [17]. La temperatura exterior del ambiente, también tiene gran influencia en el comportamiento de los granos en el interior de los silos bolsas [17]. En la forma práctica, esto se puede interpretar que durante el invierno los granos húmedos almacenados en silo bolsa tienen mejor comportamiento que en verano. Igualmente cuando se cosecha y almacenan granos con baja temperatura ambiente.

El objetivo de esta investigación fue determinar la factibilidad de almacenar semillas de ajonjolí en bolsas de silobag, evaluando sus características bromatológicas tanto en condiciones ambientales como en bodega, y así presentar una alternativa a los pequeños productores de esta semilla, para minimizar las pérdidas postcosecha.

## MÉTODO

### Obtención de la materia prima

Las semillas de ajonjolí fueron adquiridas en el municipio de Córdoba Tetón, Departamento de Bolívar. Las bolsas silobag se compraron a la empresa Luanfer S.A® de Montevideo-Uruguay. La bolsa plástica (Silo-bolsa), es un envase de polietileno de baja densidad, aproximadamente de 235 micrones de espesor, conformada por tres capas y fabricada por el proceso

de extrusado. La capa exterior, es blanca y tiene aditivos, filtros de UV y Dióxido de Titanio, para reflejar los rayos solares. La capa media, es neutra y la del interior tiene un aditivo (negro humo), que es protector de los rayos ultravioletas y evita la penetración de la luz. La bolsa es un envase, cuya capacidad puede ser de hasta 400 ton de grano.

### Empacado de semillas en bolsas Silobag

Se acondicionaron y limpiaron las semillas, posteriormente fueron empacadas en las bolsas silobag con cinco kg de ajonjolí para cada repetición. Durante 30 y 60 días se almacenaron tanto a condiciones ambientales a 28°C (T1) con humedad relativa 37%, como en bodega a 30°C (T2) con humedad relativa de 32% aproximadamente.

### Análisis bromatológicos

Se realizaron los análisis bromatológicos antes del almacenamiento y después de treinta y sesenta días, tanto en condiciones ambientales como de bodega; siguiendo la metodología empleada por la Association of Official Analytical Chemists AOAC (1990), realizando las siguientes determinaciones: humedad, tomando la diferencia de peso de la muestra y secando hasta peso constante (N°938.08); grasa cruda, utilizando la técnica de extracción Soxhlet (N° 920.39); La fibra dietética se determinó con el método N° 985.29; proteína cruda, por el método de Kjeldahl donde se utilizó un factor 6.25 para determinar el porcentaje total (N° 976.05), y una vez obtenidos estos valores se sumaron y se restaron de 100, y la diferencia se tomó como de carbohidratos.

### Diseño experimental

**Totalmente aleatorio.** Las determinaciones fueron realizadas por triplicado y los resultados expresados como la media y la desviación estándar. Para el análisis de los datos se aplicó un análisis de varianza (ANOVA), cuando se detectó significancia de los efectos principales, se realizó un análisis de separación de medias, mediante un test de Tukey-Kramer; y se fijó el nivel de significancia a  $p < 0,05$ .

## RESULTADOS

El Cuadro1 muestra los resultados de los análisis bromatológicos de *S. indicum* antes de iniciar el

**Cuadro 1.** Valores promedios de fibra, proteína, humedad, grasa, y carbohidatos en semillas de ajonjolí antes de realizar el empacado en los dispositivo silobag, a los 30 días y 60 días después de empacado.

| Parámetro           | <i>S. indicum</i> antes de empacado en dispositivo Silobag | Empacado en silobag. Condiciones ambientales (T1) 30 días | Empacado en silobag. Almacenado en bodega (T2) 30 días | Empacado en Silobag Condiciones Ambientales (T1) 60 días | Empacado en silobag. Almacenado en bodega 60 días |
|---------------------|--|---|--|--|---|
| Fibra (%)           | 3,98 ± 0,06 <sup>a</sup>                                   | 4,16 ± 0,13 <sup>a</sup>                                  | 4,17 ± 0,52 <sup>a</sup>                               | 4,42 ± 0,04 <sup>b</sup>                                 | 4,17 ± 0,52 <sup>b</sup>                          |
| Proteínas (%)       | 18,86 ± 0,07 <sup>a</sup>                                  | 19,71 ± 0,89 <sup>a</sup>                                 | 19,98 ± 0,55 <sup>a</sup>                              | 22,12 ± 0,27 <sup>b</sup>                                | 22,14 ± 0,21 <sup>b</sup>                         |
| Humedad (%)         | 5,96 ± 0,06 <sup>a</sup>                                   | 6,11 ± 0,11 <sup>a</sup>                                  | 5,60 ± 0,19 <sup>b</sup>                               | 6,23 ± 0,08 <sup>a</sup>                                 | 5,77 ± 0,11 <sup>a</sup>                          |
| Grasa (%)           | 38,58 ± 0,58 <sup>a</sup>                                  | 37,49 ± 0,27 <sup>a</sup>                                 | 40,88 ± 0,87 <sup>b</sup>                              | 37,45 ± 0,91 <sup>a</sup>                                | 39,75 ± 0,88 <sup>a</sup>                         |
| Carbohidratos (%)** | 31,6 <sup>a</sup>  | 30,76 ± 0,676 <sup>a</sup>                                | 28,34 ± 1,74 <sup>b</sup>                              | 29,16 ± 0,80 <sup>a</sup>                                | 27,43 ± 0,58 <sup>b</sup>                         |

Pruebas realizadas por triplicado (se reporta valor promedio). \*\*Determinación obtenida por diferencia. Medias con diferentes superíndices dentro de una misma fila difieren significativamente ( $p < 0,05$ ).

estudio con las bolsas Silobag y después de 30 y 60 días en condiciones ambientales (T1) y almacenado en bodega (T2). Se puede observar que la proteína de *S. indicum* en T1 y T2 a treinta días fue de 19,71% y 19,98%, no se observa diferencia significativa  $p < 0,05$  con el valor inicial 18,86%. Mientras que si existe diferencia significativa con los resultados para este atributo a sesenta días tanto en T1 (22,12%) como en T2 (22,14%). La grasa en *S. indicum* en T1 fue de 37,49% y 37,45% a treinta y sesenta días de iniciado el ensayo respectivamente, mientras que en T2 estos valores fueron de 40,88% y 39,75% a treinta y sesenta días respectivamente; estos valores no presentaron diferencias significativas  $p < 0,05$  al compararse con el valor obtenido antes de iniciarse el ensayo (38,58%). La Fibra de *S. indicum* a treinta días en T1 fue de 4,16%, mientras que en T2 fue de 4,17% no mostrando diferencia significativa frente al valor antes de iniciada la prueba (3,99%). Los valores a sesenta días en T1 y T2 fueron de 4,42%, mostrando diferencias significativas respecto al valor inicial. No se evidenció diferencias significativas en la humedad de *S. indicum* en los valores de T1 a treinta y sesenta días respectivamente (6,11% y 6,23%), ni en el valor de T2 a sesenta días (5,77%) al compararse con el valor inicial de este atributo (5,96%); por su parte se observa que el valor de T2 a treinta días (5,66%) mostro diferencia significativa  $p < 0,05$ . Los valores de carbohidratos de *S. indicum* en T1 a los treinta y sesenta días fueron de 30,76% y 29,16% respectivamente, no hubo diferencias significativas  $p < 0,05$ , respecto al valor antes del tratamiento con bolsas Silobag (31,6%). Por su parte los valores del almacenamiento en bodega a los treinta y sesenta días (28,34% y 27,43%), si

indicaron diferencias significativas al compararse con el valor inicial. Las pequeñas variaciones de los componentes después del almacenamiento pueden ser atribuidas a la evaporación de humedad del producto, o desviación en los promedios calculados.

El sistema de almacenaje de granos en bolsas plásticas (silo-bag) se basa en la restricción del libre intercambio gaseoso con el medio ambiente. Esto se logra por la acción de una barrera (membrana de polietileno con aditivos) que genera una atmósfera auto-modificada cuyos efectos son una disminución de la tasa respiratoria de los granos, control natural de los insectos e inhibición del desarrollo fúngico [11,12]. Durante el período de almacenamiento de granos en bolsas plásticas, con humedad superior a la de recibo, los problemas de deterioro comienzan a manifestarse a partir de la primavera cuando comienza el aumento de temperatura ambiente [13].

En ensayos realizados por el INTA-Manfredi se pudo observar pérdidas en cantidad y calidad de los granos con mermas de hasta en 15 puntos en el Peso Hectolítrico en la zona afectada [14]. Los mismos trabajos también revelaron retrocesos en otros parámetros de calidad y Poder Germinativo. Los cambios de temperatura en la masa de granos húmedos adquieren importancia si se tiene en cuenta que trae aparejado la evaporación de grandes volúmenes de agua [16]. También es necesario tener en cuenta el concepto de humedad de equilibrio de los granos. Si la humedad relativa del aire entre los granos es lo suficientemente baja, los granos se mantienen también con baja humedad y los microorganismos no

se desarrollan [17]. Los granos almacenados en los silos pueden sufrir procesos de deterioro generados por la influencia de factores externos tales como la temperatura ambiente, relacionada con las estaciones del año. En las bolsas plásticas, los procesos migratorios de humedad se ven agudizados ya que la lámina de polietileno impide un libre intercambio del vapor de agua con la atmósfera. Por otra parte, los procesos respiratorios están minimizados ya que la disponibilidad de Oxígeno es limitada, por lo tanto, los niveles de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> dependen en gran medida del contenido de humedad inicial y la temperatura de granos almacenados en bolsas plásticas para una buena conservación [18, 19].

## CONCLUSIONES

Las bolsas Silobag, pueden ser utilizadas en el almacenamiento y por lo tanto en la conservación de semillas de ajonjolí, en condiciones ambientales normales y en bodega a una temperatura promedio de 30°C. Ya que no altera su composición, a la vez que lo protegen de agentes externos como, luz, humedad, en un periodo mínimo de 60 días.

El almacenamiento en bolsas de Silobag, representa una solución de emergencia con posibles beneficios económicos frente a la falta de estructuras de acondicionamiento y almacenaje de estructuras fijas. Especialmente en aquellas zonas y poblaciones que no disponen de mecanismos eficientes de aprovechamiento, transporte y comercialización del ajonjolí.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al grupo de Investigación Nutrición, Salud y Calidad Alimentaria **NUSCA** y **PROAL** de la Universidad de Cartagena, Colombia.

## REFERENCIAS

- [1] COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Anuario estadístico en Colombia 2012 [online]. 2012. Disponible:[http://www.minagricultura.gov.co/archivos/memorias\\_congreso\\_2011-2012.pdf](http://www.minagricultura.gov.co/archivos/memorias_congreso_2011-2012.pdf). [Citado 22 marzo 2013].
- [2] COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Anuario estadístico en Colombia 2010 [online]. 2010. Disponible:<http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/public/Anuario/anuarioEstadistico,2010.pdf>. [Citado 13 agosto 2012].
- [3] MARRUGO, Y., FUENTES, B., MONTERO, P. y ACEVEDO, D. Evaluación bromatológica de semillas de ajonjolí (*Sesamun indicum*) empacadas en bolsas de silobag. *Vitae*, 19(1), 2012, p. S156-S158.
- [4] RUÍZ, A. y PABÓN, J. Efecto de los fenómenos de El Niño y La Niña en la precipitación y su impacto en la producción agrícola del Departamento del Atlántico (Colombia). *Cuadernos De Geografía, Revista Colombiana De Geografía*, 22(2), 2013, p. 35-54.
- [5] BENGUO, L., XIAONA, G., KEXUE, Z. and YANG, L. Nutritional evaluation and antioxidant activity of sesame sprouts. *Food Chemistry*, 129, 2011, p. 799–803.
- [6] VILLANUEVA, E., CASTILLO, D. y RODRÍGUEZ, G. Influencia de los parámetros Rancimat sobre la determinación del índice de estabilidad oxidativa del aceite de *Sesamum indicum* L. *Scientia Agropecuaria*, 4(3), 2013, p. 173 – 180.
- [7] AHMAD, K. Effect of centrifugation on temperature of sesame paste. *Agricultural Engineering International*, 14(3), 2012, p. 179-182.
- [8] BORCHANI, C., BESBES, S., BLECKER, Ch. and ATTIA, H. Chemical characteristics and oxidative stability of sesame seed, sesame paste, and olive oils. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 82, 2010, p. 600-607.
- [9] BORCHANI, A. and BESBES, C. Chemical Characteristics and Oxidative Stability of Sesame Seed, Sesame Paste, and Olive Oils'. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 12, 2010, p. 585-596.
- [10] ACEVEDO, D., MARRUGO, Y. y MONTERO, P. Evaluación de las propiedades reológicas de pastas de ajonjolí artesanal y tecnificada. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 2013, p. 245-251.
- [11] ARIAS, A., ABALONEA, R., GASTÓNA, A. and BARTOSIKC, R. Analysis of storage conditions of a wheat silo-bag for different weather conditions by computer simulation. *Biosystems Engineering*, 116(4), 2013, p. 497–508.
- [12] ARIAS, A., ABALONEA, R. y GASTÓNA, A. Simulación computacional de la difusión de

- gases en sistemas de almacenamiento hermético. *Asociación Argentina de Mecánica Computacional*, 30, 2011, p. 1575-1589.
- [13] RECENDIZ, F., GÓNGORA, F., MENA, S. y SÁNCHEZ, J. Conservación de grano de maíz en el sistema de almacenamiento silo- bolsa en Guadalajara, Jalisco, México. *Scientia-CUCBA*, 13(1-2), 2011, p. 45-51.
- [14] CASINI, C. y ACCIETTO, R. Estudio del efecto de la media sombra sobre la calidad de los granos de soja y maíz, con alta humedad, almacenados en bolsas plásticas. Córdoba (Argentina): Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), 2009, p. 116–125.
- [15] POZZOLO, O. Conservación de arroz a diferentes humedades en silo-bag. Efecto de la media sombra. Concepción (Uruguay): Facultad de Ciencias Agrarias, UNEE, EEA-INTA, 2008, p. 5-10.
- [16] CASINI, C. y RODRÍGUEZ, C. Atmósfera modificada. Cit in SOJA. Eficiencia de Cosecha y Postcosecha. Córdoba (Argentina): Manual Técnico No. 3, 2005, p. 219-229.
- [17] ABALONE, R., GASTÓN, A., BARTOSIK, R., CARDOSO, L. y RODRÍGUEZ, J. Gas concentration in the interstitial atmosphere of a wheat silo-bag. Part I: Model development and validation. *Journal of Stored Products Research*, 2011, 47(4), p. 268–275.
- [18] BRAGACHINI, M. y CASINI, C. Almacenaje de Trigo en “Silo Bag”. Ensayo Exploratorio. Córdoba (Argentina): Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), 2007, p. 7-16.
- [19] GREGORI, R., MERIGGI, P., PIETRI, A., FORMENTI, S., BACCARINI, G. and BATTILANI, P. Dynamics of fungi and related mycotoxins during cereal storage in silo bags. *Food Control*, 30(1), 2013, p. 280–287.

# OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA A BASE DE ALMIDÓN HIDROXIPROPILADO PRODUCIDA POR EXTRUSIÓN SOPLADO

## OBTAINING OF FILM BASED ON HYDROXYPROPYLATED STARCH PRODUCED BY BLOWN EXTRUSION

## OBTENÇÃO DE UM FILME A BASE DE AMIDO HIDROXIPROPILADO PRODUZIDOS POR EXTRUSÃO BLOWN

VICENTE ORTIZ<sup>1</sup>, REINALDO VELASCO<sup>2</sup>, ALEJANDRO FERNANDEZ<sup>3</sup>, MARIO ENRIQUEZ<sup>4</sup>, DIEGO ROA<sup>5</sup>.

### RESUMEN

*El problema de la difícil degradación de los plásticos convencionales y su acumulación en el medio ambiente, ha conducido a investigadores a buscar materiales alternos, en el presente trabajo se buscó la obtención de películas elaboradas a base de almidón de yuca hidroxipropilado de la variedad CM 7137, el cual fue sometido a un proceso de plastificación con glicerina para posteriormente unirse con una mezcla binaria de ácido poliláctico (PLA) y policaprolactona (PCL) para obtener la película o mezcla ternaria de TPS, PLA y PCL a través de la técnica de extrusión. Para determinar las condiciones óptimas para la obtención de las películas se empleó un diseño experimental factorial 2<sup>3</sup>, con 3 réplicas. Los resultados obtenidos se sometieron a la metodología de superficie de respuesta donde las variables de entrada fueron perfil de temperatura de la extrusión soplado, porcentaje de capsicina y porcentaje de mezcla binaria, la variable de respuesta fue*

**Recibido para evaluación:** 9 de julio de 2014. **Aprobado para publicación:** 26 de Febrero de 2015.

- 1 Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingenierías, Grupo de Investigación GTC. M.Sc. Popayán, Colombia.
- 2 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación ASUBAGROIN. M.Sc. Popayán, Colombia.
- 3 Universidad del Valle, Facultad de Ingenierías, Grupo de Investigación GIPAB. Ph.D. Cali, Colombia.
- 4 Universidad Cooperativa de Colombia, Coordinador de Investigaciones, Grupo de Investigación GTC. M.Sc. Popayán, Colombia.
- 5 Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias exactas y Naturales, Departamento de Industrias, Grupo de Investigación de Postcosecha. Ph.D(c). Buenos Aires, Argentina.

**Correspondencia:** Vicente Ortiz Gomes: vortiz@unicauca.edu.co

la elongación, en porcentaje. Las condiciones óptimas encontradas fueron 25% de mezcla binaria, perfil de temperatura de 140/145/155/150°C, y 0,5% de capsaicina, la cual de manera preliminar mostró un efecto antimicrobiano. Se observó que el material obtenido presentó mejores propiedades que las encontradas para películas a base de almidón nativo.

## ABSTRACT

*The problem of degradation of conventional plastics and therefore its accumulation in the environment, this has led to search for alternative materials, In this work the production of films prepared from cassava starch modified, variety CM 7137 is sought, which was subjected to a process of plasticization with glycerol to later join a binary mixture of polylactic acid (PLA) and polycaprolactone (PCL) to obtain film or ternary mixture of TPS (Termo-Plastic Starch), PLA and PCL through extrusion technique. The optimal conditions for obtaining films were determined with factorial experimental design 2<sup>3</sup>, with three replicates. The results obtained were subjected to the response surface methodology, where the input variables were temperature profile of the extrusion blown, and percentage of capsaicin and binary mixture, and the response variable was the elongation in percentage. The optimal conditions were 25% of a binary mixture, temperature profile 140/145/155/150°C, and 0,5% of capsaicin, which preliminarily showed an antimicrobial effect. It was observed that the material obtained had better properties than those found for films based on native starch.*

## RESUMO

*O problema de degradação de materiais plásticos convencionais e por conseguinte, a sua acumulação no ambiente, o que levou a procurar materiais alternativos, neste trabalho foi procurado a obtenção de filmes preparados a partir de amido de mandioca modificado variedade CM 7137, que foi submetido a um processo de plastificação com glicerol para se juntar depois uma mistura binária de ácido polilático (PLA) e policaprolactona (PCL) para produzir filmes ou mistura ternária de TPS, PLA e PCL através da técnica de extrusão. Para determinar as condições ideais para a obtenção dos filmes foi usado um planejamento fatorial 2<sup>3</sup> com três repetições. Os resultados obtidos foram submetidos à metodologia de superfície de resposta, em que as variáveis de entrada foram perfil de temperatura de extrusão blown, percentagem de mistura binária e capsaicina, ea variável resposta foi o alongamento em percentagem. As condições óptimas foram de 25% de mistura binária, o perfil de temperatura 140/145/155/150°C, e 0,5% de capsaicina, que mostraram um efeito antimicrobiano preliminarmente. Observou-se que o material obtido tinha propriedades melhores do que as encontradas para os filmes baseados em amido nativo.*

## INTRODUCCIÓN

Los plásticos sintéticos se caracterizan por su flexibilidad, tenacidad, excelentes propiedades físicas y de barrera y facilidad de fabricación [1]. Una de

## PALABRAS CLAVE:

Almidón hidroxipropilado, Mezcla binaria, Retrogradación, Mezcla ternaria.

## KEYWORDS:

Hydroxypropylated starch, Binary mixture, Retrogradation, Ternary mixture.

## PALAVRAS-CHAVE:

Amido modificado, Mistura binária, Retrogradação, Mistura ternária.

sus características es su durabilidad lo cual constituye una desventaja debido a su persistencia en el medio durante muchos años por lo cual se convierten en una amenaza para el planeta; por ello, la principal estrategia desarrollada ha sido la producción de plásticos biodegradables [2]. Se llama plástico biodegradable a aquellos polímeros que es capaces de descomponerse químicamente por la acción de microorganismos, obteniéndose diversos productos en función de la ausencia o presencia de oxígeno en el medio [2]. El almidón es un material polimérico biodegradable, renovable y disponible a nivel mundial a bajo costo, lo que lo hace muy atractivo como sustituto de los plásticos basados en petróleo [3]. La mayoría de los materiales biodegradables se caracterizan por ser sensibles a la humedad (alta absorción de agua) y presentar bajas propiedades mecánicas, en comparación con diferentes polímeros termoplásticos sintéticos [4]. Otro de los problemas reportados, se relaciona con el fenómeno de la retrogradación, debido al acomodamiento molecular entre las

cadena polimérica (amilosa y amilopectina), que influyen en las propiedades mecánicas y térmicas [5]. Este biopolímero a pesar de ser totalmente biodegradable en condiciones adecuadas, en estado nativo presenta algunas falencias referente a sus propiedades mecánicas y sensibilidad a la humedad. Además de la adición de plastificantes, el almidón nativo se puede modificar químicamente, la modificación química implica la introducción de grupos funcionales al interior de la molécula de almidón. Ésta es una alternativa muy útil que permite modificar la estructura y en consecuencia, las propiedades de los almidones nativos mejorando sus propiedades mecánicas. La modificación se puede hacer por procesos de etificación, esterificación y oxidación. Se ha demostrado que el almidón hidroxipropilado presenta menor temperatura de gelatinización, y su proceso de retrogradación es más lento que el del almidón nativo, por lo cual son modificados para mejorar sus propiedades mecánicas y tener un amplio rango de aplicaciones industriales [6]. En la elaboración de películas se busca con la hidroxipropilación del almidón, introducir grupos hidroxipropilo que impidan que las cadenas de almidón se cierren entre sí durante el proceso de retrogradación y de esta manera mejorar las propiedades mecánicas produciendo así una película más estable y con factibilidad de aplicación en el campo de las películas.

Otra forma de mejorar las propiedades de las películas a base de almidón es la mezcla de TPS con otros polímeros termoplásticos, esto puede ser una vía intere-

sante para compensar éstas limitaciones (sensibilidad a la humedad y bajas propiedades mecánicas) [7, 8, 9, 10] por el método de extrusión, mezclaron el ácido poliláctico (PLA) en matrices a base de almidón nativo y waxy de maíz, encontrando que se redujo la absorción de humedad del material. El empleo del PLA en la mezcla, presenta algunas ventajas competitivas como son: mantener la biodegradabilidad, y aumentar la resistencia mecánica a la tensión y el módulo de elasticidad de las películas [7, 11]. Las mezclas del PLA y almidón han sido producidas con el objetivo de mantener propiedades físicas adecuadas en los poliésteres sintéticos biodegradables reduciendo su costo [12, 13, 14]. Sin embargo, la mezcla anterior tiene un limitante basado en, una baja elongación en el punto de rotura, similar a la presentada por el PLA puro (3,1 a 5,8%) [14, 15]. Para contribuir en el aumento de flexibilidad, Sarazin *et al.*, (2008), incorporaron policaprolactona (PCL) en la mezcla binaria de PLA y almidón, reportando la consecución de valores de elongación en el punto de rotura del orden del 55% [16]. En la presente investigación, a partir de la mezcla de almidón modificado de yuca y poliésteres sintéticos biodegradables, se buscó desarrollar un material termoplástico que presentó unas propiedades mecánicas que tendrían aplicación en la industria de alimentos; para este fin se empleó yuca de la variedad (CM 7138-7) para la obtención del almidón termoplástico modificado y su posterior mezcla con PLA y PCL, adicionando anhídrido maléico como agente acoplante y peróxido de benzoilo como agente iniciador. El proceso se realizó en un equipo de extrusión de tornillo simple. Otra tendencia en las películas es la adición de sustancias activas, la capsaicina es un compuesto químico que se encuentra en el chile picante y dulce, el cual presenta características antimicrobianas [17]. Por lo tanto, las películas elaboradas con este compuesto podrían presentar actividades antimicrobianas. El objetivo de esta investigación fue obtener películas por extrusión de tornillo simple a partir de de almidón de yuca de la variedad CM 7138-7 hidroxipropilado, PLA, PCL glicerol y capsaicina, determinando las condiciones de proceso con las mejores propiedades.

## MÉTODO

### Materiales

**Almidón nativo de yuca.** El almidón nativo de yuca (*Manihot sculenta* crantz) de la variedades CM 7138-7 fue proporcionado por la rallandería La Agustina, en el municipio de Mondomo (Cauca).

**Ácido poliláctico (PLA).** El ácido poli-láctico es un poliéster alifático biodegradable, de color blanco, en forma de pellets, tipo L (-) de alto peso molecular (120.000 g/mol) grado extrusión y/o termo-formado, este biomaterial fue suministrado por la compañía Carguill Dow Polymers LLC (Estados Unidos) bajo la referencia 2002D.

**Policaprolactona (PCL).** La policaprolactona se empleó en forma de pellets de color blanco opaco. Es un poliéster alifático con un alto peso molecular (80.000 g/mol) producida por la empresa Perstorp UK Limited (Inglaterra) bajo la referencia CAPA 6800.

**Glicerol.** Se empleó glicerol de grado comercial, este es un líquido incoloro de viscosidad media. Su pureza fue del 99,7%. El plastificante fue suministrado por DISAN S.A.

**Capsaicina.** La capsaicina, es un pseudoalcaloide, nombrado por la IUPAC como N-[(4-hidroxi-3-metoxifenil) metil]-8- metil-6-nonenamida [17].

**Anhídrido maléico (AM).** Este reactivo suministrado por Merck, cumple la función de agente acoplante, siendo el encargado de la unión entre el almidón termoplástico (TPS) con el ácido poliláctico (PLA) y la policaprolactona (PCL).

**Peróxido de benzoilo.** Se empleó en su grado reactivo (con 25% de agua) para síntesis, su densidad es de 0,53 g/mL a 25°C, fue suministrado por Merck.

## Métodos

**Elaboración de películas.** Se elaboraron películas a base de almidón hidroxipropilado, el proceso se divide en cuatro etapas: hidroxipropilación del almidón, preparación del TPS, preparación de la mezcla binaria (PLA/PCL) y producción de la película compuesta por la mezcla ternaria (TPS + PCL + PLA). Se realizó un diseño experimental factorial 2<sup>3</sup> los factores fueron: el perfil de temperatura de la extrusión final, el porcentaje de capsaicina y el porcentaje de mezcla binaria, y como variable de respuesta la elongación en el punto de rotura.

**Modificación del almidón.** La modificación de almidón se realizó en la variedad CM-7138-7 con una relación agua/almidón 1:1, 20% de sulfato de sodio (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), hidróxido de sodio (NaOH) como agente alcalino al 0,5N, 16% p/p de óxido de propileno durante un tiempo de reacción de 1 hora en un biorreactor

a temperatura de 57°C, agitación constante y HCl al 0,1N como agente neutralizante de la reacción.

**Determinación del grado de sustitución molar.** La cuantificación del grado de sustitución molar se realizó mediante el principio empleado por Jones y Riddick (1954), el cual fue adaptado para la determinación del grupo hidroxipropil en almidón eterificado. Se pesó de 0,05 g a 0,1 g de muestra en un matraz aforado de 100 mL con desprendimiento lateral y se añadió aproximadamente 25 mL de solución 2M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. La concentración de propilenglicol en el almidón se calcula de la curva estándar y se convierte a grupos hidroxipropilo equivalente usando la ecuación (1):

$$\text{Grupos hidroxipropil} = \frac{C * 0,7763 * 10 * f}{w} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde C es la cantidad de propilenglicol en la solución de muestra (μg/mL), f es el factor de dilución (si es necesaria una dilución adicional) y w es el peso de la muestra. La sustitución molar se calcula mediante la ecuación 2:

$$MS = \frac{162W}{100 - (M - 1)W} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde MS es la sustitución molar, W es la cantidad de grupos hidroxipropilo equivalentes en 100 g de almidón y M es el peso molecular del C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O en gramos.

**Preparación de TPS.** El almidón hidroxipropilado de yuca presentó una humedad inicial de 10 a 13%. Antes de iniciar la extrusión, se adicionó agua hasta alcanzar una humedad del 16% para evitar que la mezcla se seque e impida su flujo en el barril del extrusor. Posteriormente se adiciono glicerol y capsaicina. Una vez mezclado, se realizó la termoplastificación mediante el empleo de un extrusor de tornillo sencillo marca Thermo Scientific, modelo Haake PolyLab OS, provisto con un barril de un diámetro de 19 mm, un tornillo con una relación de compresión 4:1 y relación L/D de 25. Se empleó una boquilla con 1 mm de diámetro en su abertura. La velocidad del tornillo se mantuvo a 40 rpm y el perfil de temperatura fue de 120-125-125-100°C (para las tres zonas del barril y el dado respectivamente).

Al extruir la mezcla anteriormente mencionada, se obtuvo un cordón de TPS, que posteriormente se pelletizó y se secó a 45°C durante 2 horas. La

humedad final del cordón obtenido se mantuvo por debajo del 2%, para realizar la posterior extrusión con la mezcla binaria.

**Preparación de la mezcla binaria.** Teniendo en cuenta el procedimiento realizado por Liao y Wu, 2009, se efectuó una segunda extrusión para obtener la mezcla binaria. Luego se secó el cordón de la mezcla binaria (PLA y PCL) a una temperatura de 80°C durante 2 horas.

Las condiciones de procesamiento consistieron en mezclar dichas fibras en una relación 70/30 (PLA/PCL), adición de anhídrido maléico y peróxido de benzoilo (2 y 0,25% con respecto al peso de la mezcla PLA/PCL), con un perfil de temperaturas de 125, 145, 150 y 140°C, una velocidad de tornillo de 40 rpm.

Una vez obtenido el cordón, se peletizó, se empacó al vacío y se almacenó a una temperatura de 23°C, procurando que la tercera extrusión (TPS + PLA + PCL) para la obtención de la película se realice en el menor tiempo posible, dado que el anhídrido maléico se volatiliza por encima de 20°C, reduciéndose su reactividad.

**Elaboración de la película a partir de la mezcla ternaria (TPS + PLA + PCL).** En la tercera extrusión se realizó una mezcla entre el TPS y la mezcla binaria para obtener la película. El proceso de extrusión se realizó en un extrusor compacto, el cual se utilizó en todo el experimento. La extrusión se llevó a cabo en el laboratorio Reología y Empaques de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca. En la extrusión de los pellets de TPS y mezcla binaria se realizó con un perfil de temperatura fijo para todos los tratamientos, previamente establecido en ensayos preliminares a partir de los resultados obtenidos en el trabajo realizado por Enriquez (2012), como se detalla a continuación en el cuadro 1 las condiciones previamente fijadas.

**Cuadro 1.** Condiciones de proceso en obtención de pellets.

| Tratamiento         | Formulación constante           | Perfil de temperatura (°C) | Velocidad de tornillo |
|---------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| TPS                 | 24,5% de Glicerol y 16% Humedad | 120 - 125 -125 -100        | 40 rpm                |
| Mezcla Binaria (MB) | 70% PLA                         | 125 - 145 -150 -140        | 40 rpm                |
|                     | 30% PCL                         |                            |                       |
|                     | 1,96% AM                        |                            |                       |
|                     | 0,25% PB de MB                  |                            |                       |

Para el proceso de soplado se mezcló pellets activos, obtenidos de almidón de yuca hidroxipropilado más capsaicina y mezcla binaria.

**Diseño experimental.** Para la extrusión soplado se empleó un diseño experimental factorial 2<sup>3</sup>, con 3 réplicas. Los resultados obtenidos se sometieron a la metodología de superficie de respuesta donde las variables de entrada fueron perfil de temperatura de la extrusión soplado, porcentaje de capsaicina y porcentaje de mezcla binaria, las cuales tuvieron dos niveles y la variable de respuesta fue la elongación en % los gráficos de superficie fueron obtenidos mediante el uso del programa MATLAB®, versión 7.6.0.3.324 de MathWorks, Inc. En el cuadro 2 se detallan los factores y niveles de tipo composicional y de proceso.

**Pruebas mecánicas.** Las pruebas se realizaron para los diferentes tratamientos del diseño experimental en la máquina universal de ensayos Shimadzu EZ-L. El protocolo seguido fue acorde con la norma ASTM D882. Se midió el porcentaje de elongación al momento de la ruptura.

## RESULTADOS

### Determinación del grado de sustitución molar

Según los resultados que se muestran en el cuadro 3 se puede observar que el grado promedio de sustitución molar (SM) obtenido en la modificación del almidón de yuca fue de 0,1132, lo cual significa que hay un grupo funcional sustituyente (hidroxipropilo) en la estructura del almidón por cada 10 unidades de anhidroglucosa.

Factores tanto intrínsecos (estructura granular) como extrínsecos (reactivo y condiciones de reacción) influyen en la distribución de los grupos hidroxipropilo a lo largo de la cadena de almidón [18, 19]

**Cuadro 2.** Diseño experimental

|             | Factores                   | Niveles         |                 |
|-------------|----------------------------|-----------------|-----------------|
|             |                            |                 |                 |
| Composición | % Capsaicina               | 0,4             | 0,6             |
|             | % Mezcla binaria           | 20              | 30              |
| Proceso     | Temperatura de salida (°C) | 140-145-150-145 | 140-145-160-155 |

La base de cálculo para el porcentaje de capsaicina es el peso del almidón.

La base de cálculo para el porcentaje de mezcla binaria es el peso del TPS.

**Cuadro 3.** Grado de sustitución molar en almidón modificado.

| Muestra   | Absorbancia Promedio (590 nm) | Concentración hidroxipropilo (%) | Sustitución molar |
|-----------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Nativo    | 0,0372                        | -----                            | -----             |
| Réplica 1 | 0,2511                        | 3,9838                           | 0,1158            |
| Réplica 2 | 0,2353                        | 3,7458                           | 0,1086            |
| Réplica 3 | 0,2498                        | 3,9644                           | 0,1152            |
| PROMEDIO  |                               |                                  | 0,1132            |

El valor de SM alcanzado en este trabajo concuerda con los estudios de Kavitha y BeMiller (1998); Vorweg *et al.*, (2004); Jones y Riddick, (1954); Pal *et al.*, (2000) los cuales encontraron valores similares en la hidroxipropilación de almidón de maíz y papa, concluyendo que el almidón nativo es eterificado a un

bajo grado de sustitución con grupos hidroxipropilo (-OCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>), con sustitución de algunos grupos hidroxilo, donde generalmente los almidones hidroxipropilados no tienen más de 0,1 grupos hidroxipropilo por unidad de glucosa [20].

Esta situación se da gracias al medio donde se lleva a cabo la reacción como lo exponen Pal *et al.*, (2000), quienes afirman que valores menores de SM (menor o igual a 0,1) tiene lugar en fase acuosa y a medida que se desee incrementar los valores de SM mayor de 0,1, más sal (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) será requerida, haciendo más difícil la purificación del almidón modificado. A diferencia de la reacción de modificación en medios no acuosos o en condiciones secas permite altos niveles de sustitución en el almidón [20].

### Propiedades mecánicas

Los resultados arrojados por el software TRAPEZIUM2 versión 2.33 de SHIMADZU para el esfuerzo y la elongación de las películas hidroxipropiladas se reportan en el cuadro 4, valores que fueron usados para realizar el análisis de varianza (ANOVA) en el software SPSS Statistics versión 17.0.

**Elongación.** El análisis de varianza ANOVA mostró que los factores que presentan efecto significativo ( $p < 0,05$ ) sobre la elongación son el porcentaje de capsaicina y el porcentaje de mezcla binaria como variables independientes y las interacciones de capsaicina con la temperatura y el porcentaje de mezcla binaria, siendo el porcentaje de capsaicina el factor más influyente en la elongación de la película. En el

**Cuadro 4.** Prueba de esfuerzo y elongación.

| Tratamiento                         | Factores           |              |                  | Elongación (%) |                           |
|-------------------------------------|--------------------|--------------|------------------|----------------|---------------------------|
|                                     | Perfil Temperatura | % Capsaicina | % Mezcla binaria | Promedio       | Coefficiente de variación |
| -1                                  | 140-145-150-145    | 0,4          | 20               | 48,38          | 0,01                      |
| A                                   | 140-145-160-155    | 0,4          | 20               | 49,97          | 0,03                      |
| B                                   | 140-145-150-145    | 0,6          | 20               | 65,47          | 0,02                      |
| <b>AB</b><br>140-145-160-155<br>0,6 |                    |              | 20               | 64,03          | 0,01                      |
| C                                   | 140-145-150-145    | 0,4          | 30               | 45,10          | 0,02                      |
| AC                                  | 140-145-160-155    | 0,4          | 30               | 46,02          | 0,02                      |
| BC                                  | 140-145-150-145    | 0,6          | 30               | 58,12          | 0,01                      |
| ABC                                 | 140-145-160-155    | 0,6          | 30               | 55,20          | 0,02                      |
| 0                                   | 140-145-155-150    | 0,5          | 25               | 67,01          | 0,03                      |

análisis de varianzas entre tratamientos, obteniendo una significancia de  $p < 0,05$ . Por lo anterior se concluye que los valores máximos de elongación dependen del porcentaje de capsaicina, pero también depende de la interacción de ésta con el perfil de temperatura y el porcentaje de mezcla binaria. Lo expuesto anteriormente se explica porque la oleoresina en la cual se encuentra la capsaicina actúa como un plastificante permitiendo mayor movilidad de las moléculas. Así mismo, los tratamientos y las interacciones con valores altos de mezcla binaria presentan mayor elongación, debido a la presencia de PCL, ya que este polímero tiene un valor de elongación mayor a 550 % [21].

La ecuación 3 presentó el modelo que de acuerdo al estudio de superficie de respuesta presentó mejor correlación.

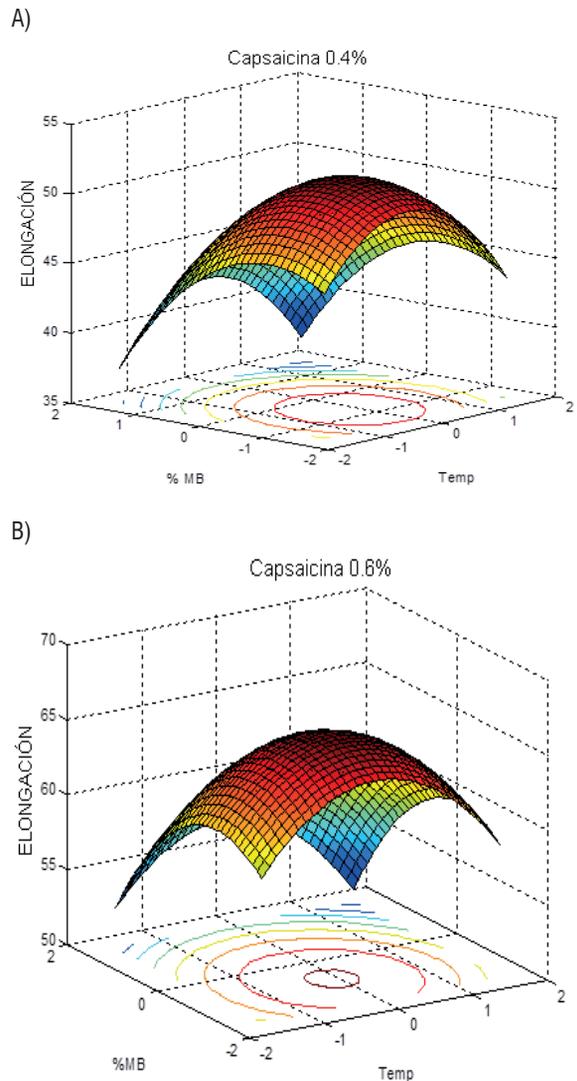
$$Y = 53,5069 - 0,4007 X_1 + 7,3457 X_2 - 2,3409 X_3 - 2,1172 X_1^2 + 4,5541 X_2^2 - 1,7589 X_3^2 - 0,0997 X_1 X_2 X_3 \quad \text{Ec. (3)}$$

donde  $X_1$ ,  $X_2$  y  $X_3$  son factores cuantitativos que corresponden a las variables Temperatura, Porcentaje de Capsaicina y Porcentaje de Mezcla Binaria respectivamente. La correlación ( $R^2$ ) del modelo de segundo orden presentó un valor de 0,97. La figura 1 muestra las gráficas de superficies de respuesta a contenidos de 0,4% y 0,6%, correspondientes a los niveles bajo y alto de capsaicina. Al comparar las gráficas (figura 1A y la figura 1B) se puede observar notoria diferencia en la tendencia de los gráficos entre un nivel y otro, sobre el máximo de la variable de respuesta, ya que a 0,4% se puede observar que los valores de elongación son menores; mientras a 0,6% los valores de elongación aumentan.

Una vez analizados los factores que más influyen en las pruebas mecánicas de la película, se concluye que el tratamiento más adecuado para la obtención del tubular es el tratamiento de los puntos centrales, ya que este presentó un valor promedio para esfuerzo de 4,83 MPa sin disminuir el valor promedio para elongación el cual es de 67,01%.

Las películas a partir de almidón modificado presentan valores mayores en esfuerzo y elongación en comparación con las películas a partir de almidón nativo (cuadro 5), lo cual se puede atribuir a que la hidroxipropilación ocurre principalmente en

**Figura 1.** Superficie de respuesta: elongación vs capsaicina. A) Comportamiento de la elongación en la interacción del porcentaje de mezcla binaria y la temperatura al 0,4% (-1) de capsaicina. B) Comportamiento de la elongación en la interacción del porcentaje de mezcla binaria donde -1 corresponde a 20%, 1 a 30% y la temperatura al 0,6% (1) de capsaicina.



las regiones amorfas compuestas especialmente de amilosa. Por lo tanto, las regiones ramificadas de la amilopectina estarían presentes en mayor cantidad, otorgando mayor rigidez a la película, ya que los TPS con bajo contenido de amilosa tienden a ser más fuertes que los de amilosa alta. Al haber más estructuras ramificadas de la amilopectina, hay mayor grado de entrecruzamiento gracias a su estructura desordenada [21].

**Cuadro 5.** Pruebas mecánicas comparativas

| Películas                    | Esfuerzo (MPa) | Elongación (%) |
|------------------------------|----------------|----------------|
| A base de Almidón nativo     | 2,68           | 13,35          |
| PEBD                         | 8,28           | 83,21          |
| A base de Almidón modificado | 4,83           | 67,01          |

En cuanto a la elongación las películas a partir de almidón hidroxipropilado mostraron mayor valor comparado con las otras películas. Esto gracias a que el grupo hidroxipropilo proporciona a la molécula de almidón mayor flexibilidad gracias al impedimento estérico previniendo la estrecha asociación de la cadena y restringiendo los enlaces de hidrógeno entre cadena, permitiendo que las cadenas de almidón se deslicen con mayor facilidad [3]. Al comparar las propiedades mecánicas de la película a partir de almidón de yuca modificado con las propiedades mecánicas de las películas elaboradas a partir de polietileno de baja densidad (PEBD ó LDPE por sus siglas en inglés *Low Density Polyethylene*), realizadas en el mismo extrusor en que se elaboraron las películas de almidón de yuca. Según los resultados anteriores de las películas de PEBD que se exponen en el cuadro 5, se logró apreciar que estas presentan una elongación en el punto de rotura de 83,21% con una resistencia a la tracción entre 8,28 MPa. Se observó en los ensayos, que hay un aumento notorio en las propiedades mecánicas de las películas a base de almidón modificado respecto a las películas a base de almidón nativo, por otra parte aunque las propiedades de las películas a base de almidón modificado son inferiores a las del PEBD, se aproximan de manera significativa de tal modo que se viabiliza la utilización del almidón modificado como materia prima, para la producción de películas al menos para algunas aplicaciones en alimentos.

## CONCLUSIONES

Es factible la utilización de almidón modificado como materia prima para la producción de películas.

El almidón de la variedad CM 7138 hidroxipropilado incluido en mezclas con PCL y PLA presenta mejores propiedades mecánicas frente al almidón nativo.

Las condiciones más apropiadas para la producción de películas fueron proporción de la mezcla 75/25 de

TPS/biopolímeros (PLA-PCL) fue la más adecuada para la obtención de la película bajo las condiciones de temperatura, porcentaje de capsaicina y porcentaje de mezcla binaria de este estudio perfil de T°: 140/145/155/150; 0,5% de capsaicina, 25% de MB respectivamente, ya que las películas obtenidas de los tratamientos que hacen parte de dicha proporción presentaron mayor grado de gelatinización, mejorando la procesabilidad en el extrusor de modo que se acoplan mejor los componentes de la mezcla y en consecuencia mejores propiedades mecánicas.

## AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por el financiamiento de esta investigación, a la Universidad del Cauca por el apoyo en el desarrollo de la investigación.

## REFERENCIAS

- [1] KAZEMI, N.S. Use of recycled plastics in wood plastic composites. *Waste Management*, 33, 2013, p. 1898-1905.
- [2] GAO, H., HU, S., SU, F., ZHANG, J. and TANG, G. Mechanical, thermal, and biodegradability properties of PLA/modified starch blends. *Polymer composites*, 32, 2011, p. 2093-2100.
- [3] MOAD, G. Chemical modification of starch by reactive extrusion. *Progress in Polymer Science*, 36, 2011, p. 218-237.
- [4] SOUZA, A.C., BENZE, R., FERRÃO, E.S., DITCHFIELD, C., COELHO, A.C.V. and TADINI, C.C. Cassava starch biodegradable films: Influence of glycerol and clay nanoparticles content on tensile and barrier properties and glass transition temperature. *LWT - Food Science and Technology*, 46, 2012, p. 110-117.
- [5] LI, H. and HUNEAULT, M.A. Comparison of sorbitol and glycerol as plasticizers for thermoplastic starch in TPS/PLA blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 119, 2011, p. 2439- 2448.
- [6] SHIN, B.Y., JANG, S.H. and KIM, B.S. Thermal, morphological, and mechanical properties of biobased and biodegradable blends of poly (lactic acid) and chemically modified thermoplastic starch. *Polymer Engineering and Science*, 51, 2011, p. 826-834.
- [7] MINA-HERNANDEZ, J.H. Estudio de la retrogradación en mezclas de almidón termoplástico

- de yuca (TPS) y policaprolac-tona (PCL) [Tesis M.Sc. Ciencias en Materiales Poliméricos]. Mérida (México): Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), 2011, 85 p.
- [8] HERRERA-BRANDELERO, R.P., YAMASHITA, F. and EIRAS-GROSS-MANN, M.V. The effect of surfactant Tween 80 on the hydrophilicity, water vapor permeation, and the mechanical properties of cassava starch and poly (butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT) blend films. *Carbohydrate Polymers*, 82, 2010, p. 1102-1109.
- [9] CHAROENKUL, N., UTTA-PAP, D., PATHIPANAWAT, W. and TAKEDA, Y. Physicochemical characteristics of starches and flours from cassava varieties having different cooked root textures. *LWT, Food Science and Technology*, 44, 2011, p. 1774-1781.
- [10] KOVÁCS, J.G. and TÁBI, T. Examination of starch preprocess drying and water absorption of injection-molded starch-filled poly (lactic acid) products. *Polymer engineering and science*, 51, 2011, p. 843-850.
- [11] CAI, J., LIU, M., WANG, L., LI, S. and XIONG, H. Isothermal crystallization kinetics of thermoplastic starch/poly (lactic acid) composites. *Carbohydrate Polymers*, 86, 2011, p. 941-947.
- [12] YOONG-LEE, S., CHEN, H. and HANNA, M.A. Preparation and characterization of tapioca starch poly (lactic acid) nanocomposites foams by melt intercalation base on clay type. *Industrial crops and products*, 28, 2008, p. 95-106.
- [13] YOKESAHACHART, C. and YOKSAN, R. Effect of amphiphilic molecules on characteristics and tensile properties of thermo-plastic starch and its blends with poly (lactic acid). *Carbohydrate Polymers*, 83, 2011, p. 22-31.
- [14] MOŃCICKI, L., MITRUS, M., WÓJTOWICZ, A., ONISZCZUK T., REJAK A., JANSSEN L. Application of extrusion-cooking for processing of thermoplastic starch (TPS). *Food Research International*, 47, 2012, p. 291-299.
- [15] TANASE, C.E. and SPIRIDON, L. PLA/chitosan/keratin composites for biomedical applications. *Materials Science and Engineering*, 40, 2014, p. 242-247.
- [16] SOROUDI A. and JAKUBOWICZ I. Recycling of bioplastics, their blends and biocomposites. *European Polymer Journal*, 49, 2013, p. 2839-2858.
- [17] SGANZERLA, M., COUTINHO, J., TAVARES-DE MELO, A.M. and TEIXEIRA, H. Fast method for capsaicinoids analysis from *Capsicum chinense* fruits. *Food Research International*, 64, 2014, p. 718-725
- [18] SOUZA, A.C., DITCHFIELD, C. and TADINI, C.C. Cited por Souza et al., 2012. Biodegradable films based on biopolymers for food industries. In M. L. Passos y C. P. Ribeiro (Eds.). *Innovation in food engineering: New techniques and products*, 2010, p. 511-537.
- [19] BERTOLINI, A.C. *Starches: Characterization, Properties and Applications*. United States of America, 2010, p. 1-2.
- [20] RATNAYAKE, W.S. y JACKSON, D.S. Phase transition of cross-linked and hydroxypropylated corn (*Zea mays* L.) starches. *LWT-Food Science and Technology*, 41, 2008, p. 346-358.
- [21] ENRÍQUEZ, M.G. *Obtención y Caracterización de películas activas obtenidas por extrusión de almidón modificado de yuca* [Tesis M.Sc. Ingeniería de Alimentos]. Cali (Colombia): Universidad del Valle, Facultad de Ingenierías, 2012, 153 p.

# RESPUESTA DEL PASTO RAIGRASS AUBADE (*Lolium sp.*) A DOSIS DE SILICIO EN INTERACCION CON DIFERENTES DOSIS DE NPK

## RESPONSE OF THE RAIGRASS AUBADE GRASS (*Lolium sp.*) TO SILICON DOSAGE IN INTERACTION WITH DIFFERENT DOSES OF NPK

## RESPOSTA DO PASTO RAI GRASS AUBADE (*Lolium sp.*) A DOSES DE SILICIO EM INTERAÇÃO COM DIFERENTES DOSES DE NPK

DIANA LEGARDA-LÓPEZ<sup>1</sup>, GALO BENAVIDES-CUESTA<sup>1</sup>, HUGO RUIZ-ERASO<sup>2</sup>

### RESUMEN

*El presente trabajo se realizó en el corregimiento de Catambuco, municipio de Pasto, localizado a 01°06'33" N y 77°19'07.8" WO; con el objeto de conocer el efecto del Si en la absorción de NPK en el pasto Raigrass aubade (*Lolium sp.*), en un suelo Typichumitropepts. Se empleo diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones y 10 tratamientos distribuidos en dosis altas, medias y bajas de NPK (Altas: 529 kg/ha de urea, 72 kg/ha de SFT, 160 kg/ha de KCl. Medias: 397 kg/ha de urea, 54 kg/ha de SFT, 120 kg/ha de KCl. Bajas: 265 kg/ha de urea, 36 kg/ha de SFT, 80 kg/ha de KCl) contrastadas con dosis altas, medias y bajas de Si (Alta 100 kg/ha, media 75 kg/ha, baja 50 kg/ha de SiO<sub>2</sub>) y un testigo sin fertilización con Si. El Si en dosis alta y NPK alto, presentó mejores resultados en altura de planta (101cm), producción de forraje verde (167,2 Ton/ha/año), materia seca (27,44 Ton/ha/año), concentraciones de P (parte aérea 0,53% y raíz 0,42%), de K (parte aérea 3,11% y raíz 2,27%). Al aplicar dosis altas y medias en el suelo, la concentración de P y K disminuyó. El tratamiento dosis alta de NPK y alta de*

**Recibido para evaluación:** 4 de Agosto de 2014. **Aprobado para publicación:** 15 de Abril de 2015

1 Universidad de Nariño, Grupo Cultivos Andinos. Ingeniera (o) Agrónoma (o). Pasto, Colombia.

2 Universidad de Nariño, Grupo Cultivos Andinos. Ph.D. Suelos y Nutrición. Pasto, Colombia.

**Correspondencia:** Hugo Ruiz-Eraso e-mail: hugoruize@yahoo.com

*Si presentó el mayor beneficio económico, seguido del tratamiento dosis media de NPK y alta de Si.*

## ABSTRACT

*The present work was carried out at the township (corregimiento) of Ca-tambuco, municipality of Pasto, located at 01°06'33" N and 77°19'07.8" WO. The effect of silicon on the NPK absorption in the Raigrass aubade grass (Lolium sp.) in a Typichumitropeptssoil was studied. A complete randomized blocks design was used, with three repetitions and 10 treatments distributed in high, medium and low NPK doses (High: 529 kg/ha of urea, 72 kg/ha of SFT, 160 kg/ha of KCl. Medium: 397 kg/ha of urea, 54 kg/ha of SFT, 120 kg/ha of KCl. Low: 265 kg/ha of urea, 36 kg/ha of SFT, 80 kg/ha of KCl), contrasted with high, medium and low Si doses (High 100 kg/ha, medium 75 kg/ha, low 50 kg/ha of SiO<sub>2</sub>), in addition to a control without Si fertilization. High Si and high NPK doses presented better results in plant height (101 cm), production of green forage (167,2 Ton/ha/year), dry matter (27,44 Ton/ha/year), and concentrations of P (leaves 0,53% and root 0,42%) and K (leaves 3,11% and root 2,27%). When applying high and medium doses to the soil, P and K concentrations decreased. The high NPK and high Si treatments presented the highest economic benefit, followed by the NPK half-dose and high Si treatment.*

## PALABRAS CLAVE:

Fertilización, Silicio, Sinergismo.

## KEYWORDS:

Fertilization, Silicon, Synergism.

## PALAVRAS CHAVES:

Fertilização, Silício, Sinergismo.

## RESUMO

*O trabalho foi desenvolvido em um solo Tipyc Humitropepts, objetou-se saber o efeito do silício na absorção de NPK; utilizou-se um arranjo em delineamento de blocos casualizados com três repetições e 10 tratamentos, distribuídos em doses altas, intermediárias e baixas de NPK (alta: 529 kg/ha de uréia, 72 kg/ha de TSP, 160 kg/ha de KCl. Média: 397 kg/ha de uréia, 54 kg/ha de TSP, 120 kg/ha de KCl. Baixas: 265 kg/ha de uréia, 36 kg/ha de TSP, 80 kg/ha KCl), contrastou-se com doses altas, médias e baixas de silício (Alta 100 kg/ha, média 75 kg/ha, baixa 50 kg/ha de SiO<sub>2</sub>) e uma testemunha sem adubação com silício. O silício em doses altas e NPK alto, apresentaram os melhores resultados na altura da planta (101 cm), a produção de forragem (167,2 Ton/ha/ano), matéria seca (27,44 Ton/ha/ano), as concentrações de P (parte aérea 0,53% e 0,42% raiz), K (parte aérea de 3,11% e raiz 2,27%). O tratamento e alto teor de silício de alta dose de NPK teve o maior lucro, seguido pela dose média de tratamento de NPK e alto teor de silício.*

## INTRODUCCIÓN

*El Silicio es el elemento mas abundante en la naturaleza, pero uno de los menos utilizados en términos de potenciar la fertilización y nutrición de las plantas, sobre todo por su amplia y conocida interacción con el fosforo no labil, que finalmente puede ser precipitado por la presencia del Si, permitiendo así una mayor aprovechabilidad del P por los cultivos.*

En ese sentido Borda *et al.*, (2007), manifiestan que el silicio es absorbido en un rango de pH de 2 hasta 9 en forma energéticamente pasiva, siendo tomado por la raíces en la solución como ácido monosilícico  $\text{Si(OH)}_4$  para ser acumulado en las células epidermales que las impregna en una fina y al asociarse con pectinas y polifenoles en la pared celular pueden ser barreras efectivas a la pérdida de agua, transpiración cuticular e infecciones fungosas; sin embargo, a medida que se acumula este ácido en forma de sílice de 87 a 99%, aun cuando el efecto es casi netamente físico, se ha sugerido que la asociación del silicio con los constituyentes de la pared celular los hace menos susceptibles a la degradación enzimática que acompaña la penetración de la pared celular por las hifas de los hongos [1].

Igualmente la SCCS (2001) manifiesta, que se ha probado que el Si suprime muchas enfermedades y ataques de plagas en las plantas; este efecto se debe al reforzamiento de las cutículas, que efectúa el Si al acumularse debajo de la cutícula, después de ser absorbido por la planta. La optimización en la nutrición con Si resulta en mayor masa y volumen de raíces, lo cual representa mayor superficie de absorción de nutrientes y agua, además de un aumento de la respiración de las raíces [2].

El Raigrás aubade (*Lolium sp.*) es uno de los forrajes mas sembrados, debido principalmente a su gran desarrollo, su elevada productividad, su precocidad y su calidad nutritiva. En la actualidad este cultivo representa un renglón importante en la alimentación bovina en varias regiones de Colombia, una de ellas es la zona andina del departamento de Nariño. Este forraje requiere adecuada fertilización la cual debe ser completa y equilibrada, para conseguir buena alimentación para el ganado, y eficiencia económica para el ganadero. Dentro de los elementos necesarios para un adecuado desarrollo del pasto esta el silicio.

Epstein citado por Borda *et al.*, (2007), afirma que el Si es absorbido en forma energéticamente pasiva [3]; a su vez Hernández *et al.*, (2011), refieren que es tomado por las raíces en la solución como ácido monosilícico  $\text{Si(OH)}_4$  [4]. Dentro de la influencia del Si en diferentes cultivos Horna (2012), explica que para lograr que los elementos entren a la solución del suelo, el silicio se intercambia con estos, quedando el silicio adherido a los coloides, liberándolos y permitiendo que queden disponibles para las plantas [5].

El objetivo de esta investigación fue, evaluar el efecto de dosis de silicio, en interacción con diferentes dosis de NPK, en la producción de forraje verde y materia seca; y en la concentración de P y K en el cultivo de pasto Raigrás aubade (*Lolium sp.*).

## MÉTODO

### Localización

El trabajo de investigación se realizó en el corregimiento de Catambuco, Municipio de Pasto, localizado a 01°06'33" N y 77°19'07.8" WO, a 3350 msnm, con temperatura de 11°C. Esta zona está clasificada según Holdridge (1979) como montano (M) [6]; el suelo corresponde a un Typico humitropepts [7].

### Preparación del suelo, encalado y siembra

El suelo se preparó con arado de cincel a 20 cm de profundidad, posteriormente se niveló con rastrillo. Se utilizaron 2,54 Ton/ha de material encalante dolomita aplicada 30 días antes de la siembra. Luego se realizó la delimitación del terreno y división de las parcelas principales y secundarias. Se sembró semilla certificada de pasto Raigrass aubade (*Lolium sp.*) al voleo (35 kg/ha).

### Cosecha

Se realizaron 3 cortes, el primero se hizo a los 60 días después de la siembra y los dos restantes cada 45 días.

### Área y diseño experimental

Se utilizó un lote de 300 m<sup>2</sup>, el cual se distribuyó en 3 bloques de 5 m x 10 m cada uno; cada bloque se dividió en 10 parcelas de 10 m<sup>2</sup> que corresponden a los tratamientos; entre bloques y parcelas se dejaron calles de 0,3 m. Se empleó un diseño de bloques completos al azar con 10 tratamientos (cuadro 1), y 3 repeticiones. Los datos obtenidos en las diferentes variables se procesaron en el paquete estadístico INFOSTAT 2011, la comparación de medias se realizó por medio de contrastes ortogonales.

**Tratamientos.** En los tratamientos las dosis altas están basadas en los requerimientos de Raigrás (*Lolium sp.*): N 432 kg/ha, P 110 kg/ha, K 480 kg/ha; según Fried y Broeshart (1998) [8]. Ajustadas al contenido nutricional según el análisis de suelo. Las dosis de silicio como producto comercial Magnesil (granular), fue-

ron aplicadas con base a la información suministrada por Mejisulfatos, donde la concentraciones fueron de SiO<sub>2</sub> (37%) y el MgO (28%). Para las dosis medias se empleo el 75% de las dosis altas, y para las dosis bajas se empleo el 50% de las dosis altas, siendo la dosis alta 100 kg/ha de producto comercial. El KCl, el SFT y el 50 % de la Urea se aplicaron 20 días después de la siembra; el restante 50% de urea se aplicó 30 días después de la primera aplicación(cuadro 1).

**Cuadro 1.** Listado de Tratamientos.

| Tr. | Dosis  | NPK              | Dosis       | Silicio   |
|-----|--------|------------------|-------------|-----------|
| T0  | Alta   | Urea 529 kg/ha   | Sin silicio | 0 kg/ha   |
| T1  | Alta   | ha SFT 72 kg/ha  | Alta        | 100 kg/ha |
| T2  | Alta   | ha KCl 160       | Media       | 75 kg/ha  |
| T3  | Alta   | kg/ha            | Baja        | 50 kg/ha  |
| T4  | Me-dia | Urea 397 kg/ha   | Alta        | 100 kg/ha |
| T5  | Me-dia | ha SFT 54 kg/ha  | Media       | 75 kg/ha  |
| T6  | Me-dia | ha KCl 120 kg/ha | Baja        | 50 kg/ha  |
| T7  | Baja   | Urea 265 kg/ha   | Alta        | 100 kg/ha |
| T8  | Baja   | ha SFT 36 kg/ha  | Media       | 75 kg/ha  |
| T9  | Baja   | ha KCl 80 kg/ha  | Baja        | 50 kg/ha  |

**Cuadro 2.** Variables evaluadas.

| Variable   | Método de determinación   | Autor                            |
|--|---|----------------------------------|
| Altura de plantas (AP)                                   | Medición en cm desde la base de la planta a la punta de la hoja.  | Cortes y Viveros, (1975) [9]     |
| Producción de forraje verde (PFV)                        | Aforo de 0,25 m <sup>2</sup> lanzado al azar en cada parcela, luego se pesó y transformó a Ton/ha   | Cortes y Viveros, (1975) [9]     |
| Producción de materia (PMS)                              | Aforo de 0,25 m <sup>2</sup> lanzado al azar en cada parcela, luego secar a 65°C por 48 horas, después se pesó y transformó a Ton/ha.   | Cortes y Viveros, (1975) [9]     |
| Concentración de P en la parte aérea y raíz (CPPA)-(CPR) | Digestión con solución 3:1 de HNO <sub>3</sub> /HClO <sub>4</sub> . Se tomó 1 mL del extracto y se adicionó 9 mL de solución coloreadora de fósforo y se realizó la lectura en el espectrofotómetro UV/VIS modelo 7230. | Braga e Defelipo, (1974) [10]    |
| Concentración de P en el suelo (CPS)                     | Cada muestra se llevó al horno a 75°C por 24 horas; luego se tamizo y pesó y después se determinó la concentración de P por el método de extracción con floururo- acido diluidos (Bray y Kurtz II).                     | Unigarro y Carreño, (2005) [11]. |
| Concentración de K en la parte aérea y raíz (CKPA)-(CKR) | Digestión con solución 3:1 de HNO <sub>3</sub> /HClO <sub>4</sub> . Se tomaron 0,5 mL del extracto principal y se aforó a 100 mL. Luego se llevó a leer en el espectrofotómetro Perkim Elmer modelo 2380.               | Braga e Defelipo, (1974) [10]    |
| Concentración de K en el suelo (CKS)                     | Cada muestra se llevó al horno a 75°C, durante 24 horas; luego se tamizo y pesó. Luego se determinó el contenido de K por el método de determinación de bases.  | Unigarro y Carreño, (2005) [11]. |
| Análisis económico                                       | Indicadores de efectividad económica: costo, beneficio y rentabilidad   | Polimeni, (2000) [12]            |

**Variables evaluadas.** La metodología de cada variable evaluada se referencia en el cuadro 2.

## RESULTADOS

En el cuadro 3 se observan diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos para todas las variables.

### Altura de planta (AP)

El cuadro 4 muestra que el T1 presentó diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos. El tratamiento T1 tiene la mayor AP con una media de 101cm seguido por los tratamientos T4 y T2 con 95,67 y 92,56 cm respectivamente (figura 1), los cuales no presentan diferencias estadísticas significativas entre sí (Cuadro 4). El T0 presentó una menor AP en comparación con T1, con una media de 84,67; similar a los promedios encontrados en T3, T5, T8 y T6 (figura 1). En dosis altas y medias de NPK combinadas con dosis altas de Si se presentaron los mejores resultados en AP, esto se debe posiblemente al efecto del Si en la potenciación de la absorción de nutrientes de manera más eficiente, produciendo un mejor balance nutricional, que se vio reflejado en una mayor AP, al respecto Borda *et al.*, (2007) encontraron en avena forrajera respuesta positiva en

**Cuadro 3.** Análisis de varianza para las variables: AP, PFV, PMS, CPPA, CPR, CPS, CKPA, CKR, CKS.

| F de V         | GL | AP       | PFV     | PMS     | CPPA     | CPR      | CPS      | CKPA  | CKR    | CKS                  |
|----------------|----|----------|---------|---------|----------|----------|----------|-------|--------|----------------------|
|                |    | CM       | CM      | CM      | CM       | CM       | CM       | CM    | CM     | CM                   |
| Bloque         | 2  | 201,82** | 12068** | 74,35** | 0,0019*  | 0,002*   | 21,73*   | 0,08* | 0,16*  | 0,0002 <sup>NS</sup> |
| Tratamiento    | 9  | 139,27** | 2685**  | 83,55** | 0,0031** | 0,0049** | 193,96** | 0,09* | 0,36** | 0,0036**             |
| Error          | 18 | 4,93     | 95,42   | 1,58    | 0,0002   | 0,0002   | 3,19     | 0,01  | 0,02   | 0,00013              |
| R <sup>2</sup> |    | 0,95     | 0,97    | 0,97    | 0,91     | 0,93     | 0,97     | 0,82  | 0,91   | 0,93                 |
| CV             |    | 2,52     | 8,75    | 7,01    | 2,95     | 3,86     | 9,77     | 3,81  | 7,76   | 4,46                 |

\*\*Altamente significativo \* Significativo NS No significativa

cuanto a altura de plantas tras la aplicación de Si [1]; igualmente Okuda y Takahashi (1964) en el cultivo de arroz utilizando soluciones nutritivas con aplicación de Si, encontraron respuesta positiva al incrementar el número de tallos y la altura de las plantas [13].

### Producción de forraje verde (PFV)

El T1 presentó diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos (cuadro 5). El T1 presentó la mayor PFV con una media de 167.2 Ton/ha/año, seguido del tratamiento T4 y T2 con 138,87 y 135,47 Ton/ha/año respectivamente (Figura 2). T0 presentó menor producción en comparación con T1, con una

media de 89,09 Ton/ha/año; similar a los promedios encontrados en T5, T6 y T8 (cuadro 5), con el resultado anterior se puede deducir que a medida que se incrementaron las dosis de Si, también se incrementó la PFV; ya que posiblemente este elemento actuó de forma sinérgica con elementos como el P y K en los cuales se evidencia una notable eficiencia de absorción (cuadros 7 y 10); facilitando su absorción por parte de la planta, y por consiguiente se vio reflejado en una mayor producción.

Lo anterior se puede soportar en lo propuesto por Quero (2008) y Matichenkov (2008), cuando afirman

**Cuadro 4.** Contrastes ortogonales AP

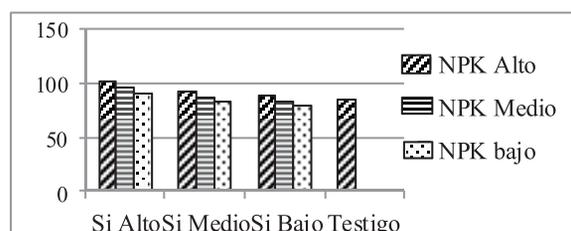
| Contraste | T9 | T8 | T7 | T6 | T5 | T4 | T3 | T2 | T1 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| T0        | *  | sd | *  | sd | sd | ** | sd | *  | ** |
| T1        | ** | ** | ** | ** | ** | *  | ** | *  |    |
| T2        | ** | ** | sd | ** | *  | sd | *  |    |    |
| T3        | ** | *  | sd | *  | sd | *  |    |    |    |
| T4        | ** | ** | *  | ** | *  |    |    |    |    |
| T5        | *  | *  | sd | *  |    |    |    |    |    |
| T6        | *  | sd | *  |    |    |    |    |    |    |
| T7        | ** | *  |    |    |    |    |    |    |    |
| T8        | *  |    |    |    |    |    |    |    |    |

\* Diferencias significativas (p<0,05)

\*\* Diferencias altamente significativas p<0,01)

Sd No hay diferencias

**Figura 1.** Altura de plantas (cm).



**Cuadro 5.** Contrastes ortogonales PFV.

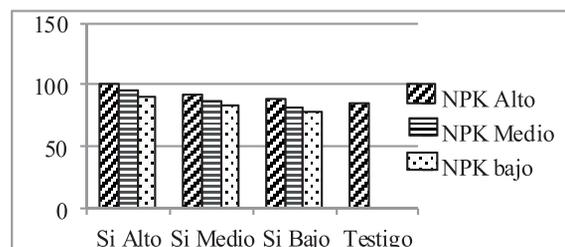
| Contraste | T9 | T8 | T7 | T6 | T5 | T4 | T3 | T2 | T1 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| T0        | *  | sd | *  | sd | sd | ** | *  | ** | ** |
| T1        | ** | ** | ** | ** | ** | *  | ** | *  |    |
| T2        | ** | *  | sd | ** | *  | sd | *  |    |    |
| T3        | ** | sd | sd | *  | sd | *  |    |    |    |
| T4        | ** | *  | *  | ** | *  |    |    |    |    |
| T5        | *  | sd | sd | *  |    |    |    |    |    |
| T6        | sd | *  | ** |    |    |    |    |    |    |
| T7        | ** | *  |    |    |    |    |    |    |    |
| T8        | *  |    |    |    |    |    |    |    |    |

\* Diferencias significativas (p<0,05)

\*\* Diferencias altamente significativas p<0,01)

Sd No hay diferencias

**Figura 2.** Producción forraje verde Ton/ha/año.



que a mayores contenidos de Si en el suelo mejora la absorción de otros nutrimentos y mantiene las hojas erectas lo cual es importante para la tasa de fotosíntesis [14,15]. Evidenciándose esto, en la presente investigación cuando las dosis altas y medias de Si, en interacción con dosis altas y medias de NPK, obtuvieron respuesta positiva en la PFV (Figura 2).

**Producción de materia seca (PMS)**

El T1 presentó diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos (cuadro 6). El T1 presentó la mayor PMS, con un valor promedio de 27,44 Ton/ha/año de materia seca, seguido por T2 y T4 con producciones de 23,14 y 21,90 Ton/ha/año respectivamente (figura 3).

El T0 presentó diferencias estadísticas significativas con todos los tratamientos excepto con T6 y T8 (cuadro 6) y menor PMS con media de 14,09 Ton/ha/año; similar a los promedios en T6 y T8 (figura 3). Los resultados encontrados muestran una clara relación entre las dosis altas y medias de Si con la dosis altas de NPK, en el incremento de la PMS (figura 3), en este sentido Loaiza (2003), expresa que el Si en condiciones de campo, puede estimular el crecimiento (entendido como la acumulación irreversible de materia seca, que se asocia a procesos de elongación y crecimiento celular) que se refleja en incremento de los contenidos de materia seca [16].

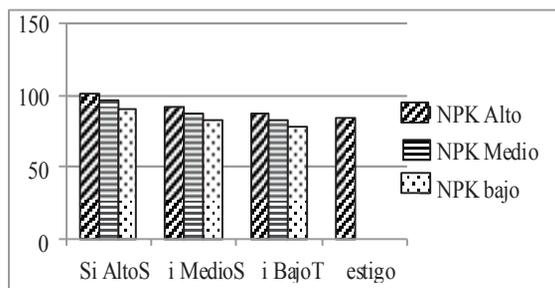
**Cuadro 6.** Contrastes ortogonales PMS.

| Contraste | T9 | T8 | T7 | T6 | T5 | T4 | T3 | T2 | T1 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| T0        | *  | sd | *  | sd | *  | ** | ** | ** | ** |
| T1        | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | *  |    |
| T2        | ** | ** | *  | ** | ** | sd | *  |    |    |
| T3        | ** | *  | sd | ** | *  | *  |    |    |    |
| T4        | ** | ** | *  | ** | ** |    |    |    |    |
| T5        | ** | sd | sd | *  |    |    |    |    |    |
| T6        | sd | *  | ** |    |    |    |    |    |    |
| T7        | ** | *  |    |    |    |    |    |    |    |
| T8        | *  |    |    |    |    |    |    |    |    |

\* Diferencias significativas (p<0,05)  
\*\* Diferencias altamente significativas p<0,01)  
Sd No hay diferencias

Respuestas similares fueron encontradas por Parra *et al.*, (2009), cuando al aumentar la concentración de Si en la solución nutritiva, se incrementó en forma significativa la materia seca de los frutos de

**Figura 3.** Producción de materia seca Ton/ha/año.



pepino [17], por su parte Álvarez y Andrade (2006), observaron que la absorción del Si es paralela al aumento de materia seca, comprobando así que este elemento genera cosechas de mejores rendimientos y calidad [18]; igualmente con los resultados del presente trabajo se ratifica lo propuesto por Caicedo y Chavarriaga (2008), quienes mostraron la influencia del silicio en complemento con el DAP mostrando un efecto significativo sobre la nutrición de las plantas, que se ven reflejados en una mayor acumulación de materia seca [19].

**Concentración de P en el material vegetal**

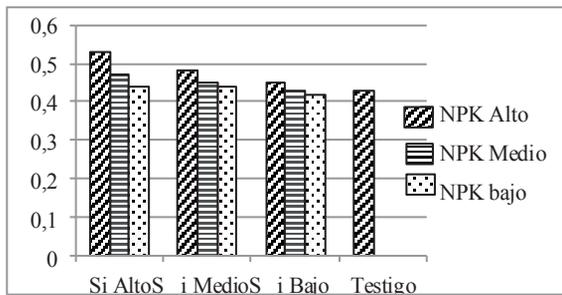
En la parte aérea, el T1 presentó diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos (cuadro 7) y tiene la mayor concentración de P en la parte aérea con una media de 0,53 % de P, seguido de T2 y T4 con un valor promedio de 0,48 y 0,47 % respectivamente (Figura 4). El T0 presentó una menor concentración de P en comparación con T1, con una media de 0,43%; similar a los promedios encontrados en T3, T5, T6, T7, T8 y T9 (Figura 4).

**Cuadro 7.** Contrastes ortogonales P parte aérea.

| Contraste | T9 | T8 | T7 | T6 | T5 | T4 | T3 | T2 | T1 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| T0        | sd | sd | sd | sd | sd | *  | sd | *  | ** |
| T1        | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | *  |    |
| T2        | ** | *  | *  | ** | *  | sd | *  |    |    |
| T3        | sd | sd | sd | sd | sd | *  |    |    |    |
| T4        | *  | *  | *  | *  | *  |    |    |    |    |
| T5        | *  | sd | sd | sd |    |    |    |    |    |
| T6        | sd | sd | *  |    |    |    |    |    |    |
| T7        | *  | sd |    |    |    |    |    |    |    |
| T8        | sd |    |    |    |    |    |    |    |    |

\* Diferencias significativas (p<0,05)  
\*\* Diferencias altamente significativas (p<0,01)  
Sd No hay diferencias

**Figura 4.** Concentración de P parte aérea (%).



En la raíz, el T1 tiene diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos (cuadro 8) y la mayor concentración de P en la raíz con una media de 0,42 %, seguido de T2 y T4 con valores promedio de 0,38 y 0,38 % respectivamente (Figura 5). El T0 presentó menor concentración de P en la raíz en comparación con T1, con una media de 0,32%; similar a los promedios encontrados en T3, T5, T6, T7 y T8 siendo este grupo los promedios inferiores (figura 5). Se observa una respuesta positiva del Si en la concentración de P en la parte aérea y raíz en los tratamientos con dosis altas y medias de Si, combinadas con dosis altas y medias de NPK (figura 4 y 5). Esto se debió posiblemente a que el Si favorece la asimilación del P por parte de la planta, expresado en la concentración de este elemento en el tejido foliar y raíz.

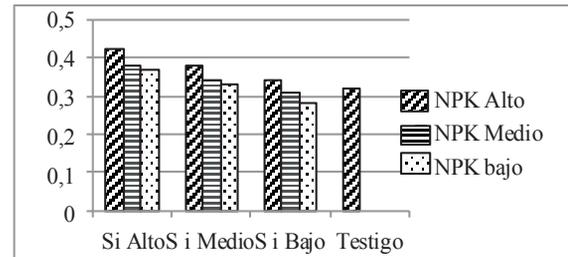
En estudios similares realizados por Caicedo y Chavarriaga (2008), encontraron que la aplicación de DAP por sí sola presenta bajas respuestas, pero evidencia el beneficio de la aplicación conjunta de P y Si [19]. En trabajos realizados por Quero (2006), se encontró que el Si aumenta la nutrición del P en las plantas de un 40

**Cuadro 8.** Contrastes ortogonales P raíz.

| Contraste | T9 | T8 | T7 | T6 | T5 | T4 | T3 | T2 | T1 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| T0        | *  | sd | *  | sd | sd | ** | sd | ** | ** |
| T1        | ** | ** | ** | ** | ** | *  | ** | *  |    |
| T2        | ** | *  | sd | ** | *  | sd | *  |    |    |
| T3        | ** | sd | *  | *  | sd | *  |    |    |    |
| T4        | ** | *  | sd | ** | *  |    |    |    |    |
| T5        | ** | sd | sd | *  |    |    |    |    |    |
| T6        | *  | sd | ** |    |    |    |    |    |    |
| T7        | ** | *  |    |    |    |    |    |    |    |
| T8        | *  |    |    |    |    |    |    |    |    |

\* Diferencias significativas (p<0,05)  
\*\* Diferencias altamente significativas p<0,01)  
Sd No hay diferencias

**Figura 5.** Concentración de P raíz %.



a 60% [20]. Por su parte Name y Villareal (2004), manifiestan que el aplicar niveles crecientes de Si influye en la absorción de P [21], igualmente Epstein y Bloom (2007), aseguran que el Si tiene un efecto indirecto sobre la absorción natural de otros elementos como el P necesarios para el crecimiento radical [22]. Todo lo anterior ratifica lo encontrado en la presente investigación.

### Concentración de P en el suelo (CPS)

El T0 presentó diferencias estadísticas significativas con todos los demás tratamientos (cuadro 9), obtuvo la mayor CPS con un valor promedio de 33,18 mg/kg seguido de T3 y T6 con una media de 28,39 y 24,84 mg/kg respectivamente (figura 6). T7 y T4 tienen los valores más bajos de CPS con un valor promedio de 8,76 y 11,3 mg/kg respectivamente (figura 6).

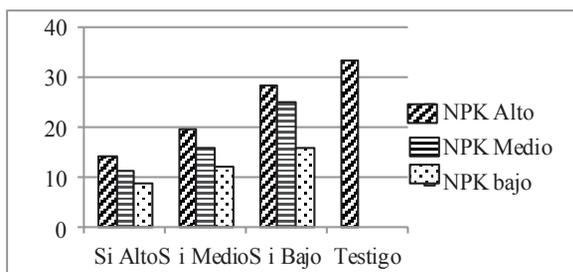
Al aplicar dosis altas y medias de Si, en todas las dosis de NPK se presentaron menores CPS. Esto se explica por los conceptos de Guerrero *et al.*, (1972), que afirman que en suelos volcánicos, como el que se realizó esta investigación, existe la probabilidad de una precipitación de los fosfatos, lo cual hace que el P

**Cuadro 9.** Contrastes ortogonales CPS.

| Contraste | T9 | T8 | T7 | T6 | T5 | T4 | T3 | T2 | T1 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| T0        | ** | ** | ** | ** | ** | ** | *  | ** | ** |
| T1        | sd | sd | *  | ** | sd | sd | ** | *  |    |
| T2        | *  | ** | ** | *  | *  | ** | ** |    |    |
| T3        | ** | ** | ** | *  | ** | ** |    |    |    |
| T4        | *  | sd | sd | ** | *  |    |    |    |    |
| T5        | sd | *  | *  | ** |    |    |    |    |    |
| T6        | ** | ** | ** |    |    |    |    |    |    |
| T7        | *  | sd |    |    |    |    |    |    |    |
| T8        | *  |    |    |    |    |    |    |    |    |

\* Diferencias significativas (p<0,05)  
\*\* Diferencias altamente significativas p<0,01)  
Sd No hay diferencias

**Figura 6.** Concentración de P en el suelo mg/kg.



se encuentre en una forma no asimilable por la planta; el Si induce una disminución la precipitación de los fosfatos especialmente la precipitación a los fosfatos de hierro provocando así un incremento significativo del P aprovechable [23].

Esto también concuerda con lo referido por Caicedo y Chavarriaga (2008), el Si en su forma de ión silicato aumenta disponibilidad de P al liberarlo a partir de los coloides del suelo y de los fosfatos de hierro, calcio, manganeso y aluminio, en suelos con reacción ácida, ya que hace una sustitución de los fosfatos por los silicatos, permitiendo a su vez contrarrestar el efecto tóxico de los microelementos metálicos, liberando ácido fosfórico, que es la forma asimilable para la planta [19].

**Concentración de K en el material vegetal**

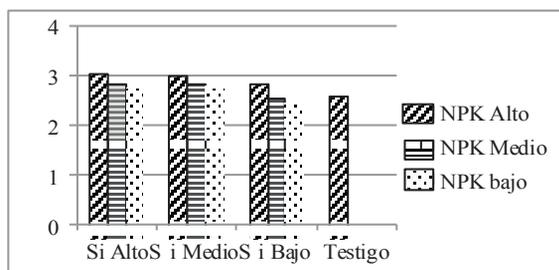
El cuadro 10 presenta diferencias estadísticas significativas entre T1 y los demás tratamientos; a acepción de T2, T3, T4 y T5. El T1 tiene la mayor concentración de K en la parte aérea, con un valor promedio de 3,11% (figura 7). El T0 presentó una menor concentración de K en comparación con T1,

**Cuadro 10.** Contrastes ortogonales concentración de K parte aérea.

| Contraste | T9 | T8 | T7 | T6 | T5 | T4 | T3 | T2 | T1 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| T0        | Sd | *  | *  | sd | *  | *  | *  | *  | *  |
| T1        | ** | *  | *  | ** | sd | sd | sd | sd |    |
| T2        | ** | *  | *  | *  | sd | sd | sd |    |    |
| T3        | *  | sd | sd | *  | sd | sd |    |    |    |
| T4        | *  | sd | sd | *  | sd |    |    |    |    |
| T5        | *  | sd | sd | *  |    |    |    |    |    |
| T6        | Sd | *  | *  |    |    |    |    |    |    |
| T7        | *  | sd |    |    |    |    |    |    |    |
| T8        | *  |    |    |    |    |    |    |    |    |

\* Diferencias significativas (p<0,05)  
\*\* Diferencias altamente significativas p<0,01)  
Sd No hay diferencias

**Figura 7.** Concentración de K parte aérea %.



con una media de 2,70%, similar a los promedios encontrados en T6 y T9 (figura 7).

En la raíz el T1, presenta diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos, exceptuando T2 y T4 (cuadro 11), y tiene el valor más alto en concentración de K con una media de 2,27% seguido de T2 y T4 con valores promedio de 2,23% y 2,14% respectivamente (figura 8). El T0 presentó una menor concentración de K en raíz en comparación con T1, con una media de 1,51%; similar al promedio encontrado en T6, siendo estos los valores más bajos respecto a concentración de K en la raíz (figura 8). Es un indicio que la aplicación de dosis altas de NPK sin Si, y dosis bajas de Si con dosis altas y medias de NPK no presentaron un efecto significativo en la concentración de K en la parte aérea (figura 7).

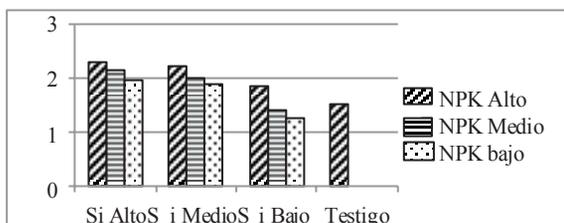
De acuerdo a los resultados encontrados, se establece que tanto las dosis medias y altas de Si, incrementan la concentración de K en la parte aérea y la raíz; esto posiblemente se deba a que la aplicación de Si tuvo un efecto sinérgico con el K. Lo anterior se corrobora por Quero (2011), al afirmar que la aplicación de Si estable-

**Cuadro 11.** Contrastes ortogonales concentración de K en Raíz.

| Contraste | T9 | T8 | T7 | T6 | T5 | T4 | T3 | T2 | T1 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| T0        | *  | *  | *  | sd | *  | ** | *  | ** | ** |
| T1        | ** | *  | *  | ** | *  | sd | *  | sd |    |
| T2        | ** | *  | *  | ** | sd | sd | *  |    |    |
| T3        | ** | sd | sd | *  | sd | *  |    |    |    |
| T4        | ** | *  | sd | ** | sd |    |    |    |    |
| T5        | ** | sd | sd | ** |    |    |    |    |    |
| T6        | sd | *  | *  |    |    |    |    |    |    |
| T7        | ** | sd |    |    |    |    |    |    |    |
| T8        | ** |    |    |    |    |    |    |    |    |

\* Diferencias significativas (p<0,05)  
\*\* Diferencias altamente significativas p<0,01)  
Sd No hay diferencias

**Figura 8:** Concentración de K en Raíz %.



ce un efecto sobre los otros nutrientes presentes en el suelo como el K [24]. Igualmente en estudios realizados por Parra *et al.*, (2009), encontraron que las concentraciones de K de las hojas superiores y del fruto en el cultivo de pepino, fueron significativamente influenciados por las concentración de Si; obteniéndose diferencias significativas del contenido de K, obtenido por efecto de las concentraciones media y alta de Si [17].

### Concentración de K en el suelo (CKS)

Se observa diferencias estadísticas significativas entre T0 y los tratamientos, excepto T3 (cuadro 12). El T0 tiene la mayor CKS con media de 0,31 cmol/carga, seguido de T3 y T6 con medias de 0,30 y 0,28 cmol/carga respectivamente. Cabe resaltar que T4 y T7 con medias de 0,22 y 0,20 cmol/carga respectivamente, son considerados como los promedios más bajos de CKS (figura 9).

De lo anterior se deduce que las mayores CKS se presentaron en el T0 sin aplicación de Si y en los tratamientos T3 y T6 con dosis bajas de Si (figura 9). Contrario a esto se observa que en dosis altas y medias de Si se presentaron menores CKS; así

**Cuadro 12.** Contrastes ortogonales CKS.

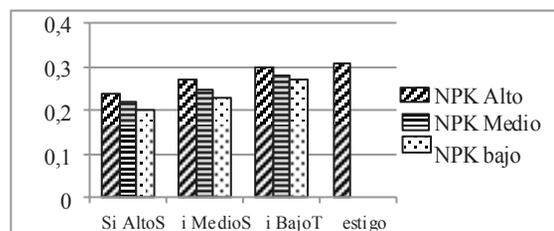
| Contraste | T9 | T8 | T7 | T6 | T5 | T4 | T3 | T2 | T1 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| T0        | *  | ** | ** | *  | ** | ** | sd | *  | ** |
| T1        | *  | sd | *  | *  | sd | sd | ** | *  |    |
| T2        | sd | *  | ** | sd | *  | ** | *  |    |    |
| T3        | *  | ** | ** | sd | ** | ** |    |    |    |
| T4        | ** | sd | *  | ** | *  |    |    |    |    |
| T5        | sd | *  | ** | *  |    |    |    |    |    |
| T6        | sd | ** | ** |    |    |    |    |    |    |
| T7        | ** | *  |    |    |    |    |    |    |    |
| T8        | *  |    |    |    |    |    |    |    |    |

\* Diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

\*\* Diferencias altamente significativas  $p < 0,01$

Sd No hay diferencias

**Figura 9.** Concentración K en el suelo cmol/carga.



pues en T1 con fertilización de una dosis alta de K, está relacionado con las más bajas CKS. Esto debido posiblemente a que el Si tiende a potencializar la asimilación de K por parte de la planta; lo cual conlleva a disminuir las CKS. Al respecto Quero (2007), afirma que en la fase soluble del suelo se encuentra el Si en la forma de ácido ortosilícico, el cual forma sales con los cationes presentes, dando lugar a silicatos que promueven la creación de gradientes de concentración de nutrientes minerales como el K desde el suelo hasta la planta [25]. De la misma forma Hernández *et al.*, (2011), encontraron que emplear materiales ricos en Si se mejora la nutrición con P, Fe, K y Zn; ya que el Si activa el intercambio catiónico y la movilización de nutrientes [4], ratificando lo encontrado en la presente investigación.

### Análisis económico

Se puede ver en el cuadro 13 el diferencial de rentabilidad y los respectivos costos donde se corrobora que una alternativa de manejo para el productor a partir de los resultados obtenidos es la utilización de NPK en dosis media con la combinación de Si alto, siendo esta una de las combinaciones rentables obtenidas con el presente ensayo.

## CONCLUSIONES

La interacción de dosis altas Si (100 kg/ha de producto comercial), con dosis altas de NPK (Urea 529 kg/ha, SFT 72 kg/ha, KCl 160 kg/ha) y dosis medias de NPK (Urea 397 kg/ha SFT 54 kg/ha KCl 120 kg/ha), incrementaron la AP, la PFV y la PMS en el pasto Raigrass aubade (*Lolium sp.*). Las concentraciones de P y K, en la parte aérea y raíz del cultivo de pasto Raigrass aubade (*Lolium sp.*), fueron influenciados por la interacción de la fertilización con dosis altas de NPK (Urea 529 kg/ha, SFT 72 kg/ha, KCl 160 kg/ha) y dosis altas y medias de Si (100 y 50 kg/ha SiO<sub>2</sub>). La

**Cuadro 13.** Análisis Económico.

| ACTIVIDAD                   | TRATAMIENTOS |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                             | T0           | T1        | T2        | T3        | T4        | T5        | T6        | T7        | T8        | T9        |
| <b>COSTOS VARIABLES</b>     |              |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Mano de obra total (\$)     | 182.000      | 182.000   | 182.000   | 182.000   | 182.000   | 182.000   | 182.000   | 182.000   | 182.000   | 182.000   |
| Insumos total               | 1.734.400    | 1.854.400 | 1.824.400 | 1.794.400 | 1.580.000 | 1.550.000 | 1.520.000 | 1.305.600 | 1.275.600 | 1.245.600 |
| Otros (1%)                  | 19.164       | 20.364    | 20.064    | 19.764    | 17.620    | 17.320    | 17.020    | 14.876    | 14.576    | 14.276    |
| Subtotal                    | 1.935.564    | 2.056.764 | 2.026.464 | 1.996.164 | 1.779.620 | 1.749.320 | 1.719.020 | 1.502.476 | 1.472.176 | 1.441.876 |
| <b>COSTOS FIJOS</b>         |              |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Administración (3%)         | 58.067       | 61.703    | 60.794    | 59.885    | 53.389    | 52.480    | 51.571    | 45.074    | 44.165    | 43.256    |
| Imprevistos (5%)            | 96.778       | 102.838   | 101.323   | 99.808    | 88.981    | 87.466    | 85.951    | 75.124    | 73.609    | 72.094    |
| Subtotal                    | 154.845      | 164.541   | 162.117   | 159.693   | 142.370   | 139.946   | 137.522   | 120.198   | 117.774   | 115.350   |
| <b>PRODUCCION</b>           |              |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| PFV (Ton/ha/año)            | 89,09        | 167,2     | 135,47    | 113,07    | 138,87    | 104,33    | 78,89     | 119,49    | 102,07    | 68,4      |
| <b>Costos Totales (\$)</b>  |              |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Costos Totales (\$)         | 2.090.409    | 2.221.305 | 2.188.581 | 2.155.857 | 1.921.990 | 1.889.266 | 1.856.542 | 1.622.674 | 1.589.950 | 1.557.226 |
| <b>Beneficio Bruto (\$)</b> |              |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Beneficio Bruto (\$)        | 2.227.250    | 4.180.000 | 3.386.750 | 2.826.750 | 3.471.750 | 2.608.250 | 1.972.250 | 2.987.250 | 2.551.750 | 1.710.000 |
| <b>Beneficio Neto (\$)</b>  |              |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Beneficio Neto (\$)         | 136.841      | 1.958.695 | 1.198.169 | 670.893   | 1.549.760 | 718.984   | 115.708   | 1.364.576 | 961.800   | 152.774   |
| <b>Rentabilidad (%)</b>     |              |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Rentabilidad (%)            | 7            | 88        | 55        | 31        | 81        | 38        | 6         | 84        | 60        | 10        |

mayor rentabilidad se obtuvo cuando se aplicó dosis altas de NPK (Urea 529 kg/ha, SFT 72 kg/ha, KCl 160 kg/ha), combinadas con dosis altas de Si (100 kg/ha).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración del I.A. Mauricio Castillo, en el suministro del producto comercial de Si, utilizado en la presente investigación. De igual manera la prestancia y colaboración de la I. Agrónoma Inés Fajardo, en cuya propiedad se realizó con todo suceso la presente investigación.

## REFERENCIAS

- [1] BORDA, O., BARÓN, F. y GÓMEZ, I. El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa* L): respuestas fisiológicas de crecimiento y manejo. *Agronomía Colombiana*, 25 (2), 2007, p. 273-279.
- [2] SOCIEDAD COLOMBIANA DE CIENCIAS DEL SUELO (SCCS). Los elementos secundarios

- (Ca, Mg, S) y el Silicio en la agricultura. Bogotá (Colombia): Prolabo Ltda, 2001, p. 50.
- [3] EPSTEIN, E. citado por BORDA *et al.* El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa*): respuesta fisiológica y manejo. *Agronomía Colombiana*, 25 (2), 2007, p. 277.
  - [4] HERNÁNDEZ, R., CABRERA, E., DÍAZ, G., ARÉVALO, J. y RAMÍREZ, Y. Residual industrial como complemento en la fertilización sustentable. *El hombre y la máquina*, (37), 2011, p. 66-71.
  - [5] HORNA, Z. citado por PALACIOS, N. Uso de tres mejoradores de retención de nutrientes en el suelo [Tesis Ingeniero Agrónomo]. Cevallos (Ecuador): Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Agronómica, 2012, p. 8.
  - [6] HOLDRIDGE, L. *Ecología*. San José (Costa Rica): IICA, 1979, p. 216.
  - [7] COLOMBIA. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC). Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Nariño. Nariño (Colombia): IGAC, Tomo III, 2004, p. 73.
  - [8] FRIED, H. y BROESHART, H. citados por BERNAL, J. Fertilización de cultivos de clima frío: pastos

- mejorados. Bogotá (Colombia): 2 ed., Monómeros Cojumbo Venezolanos, 1998, p. 299.
- [9] CORTÉS, F. y VIVEROS, M. Guías de laboratorio para análisis bromatológico. Pasto (Colombia): Universidad de Nariño, 1975, p. 26.
- [10] BRAGA, J.M. e DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *Revista Ceres*, 21, 1974, p. 73-85.
- [11] UNIGARRO, A. y CARREÑO, M. Métodos químicos para el análisis de suelos. Pasto (Colombia): Universidad de Nariño, 2005, p. 20-31.
- [12] POLIMENI, R. Contabilidad de costos, concepto y aplicación para la toma de decisiones generales. Bogotá (Colombia): Tomo I, 2 ed., Mc Graw-Hill, 2000, p. 896.
- [13] OKUDA, A. y TAKAHASHI, E. Citados por NAVARRO, S. y NAVARRO, G. Química agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Madrid (España): Mundi Prensa, 2 ed., 2003, p. 426.
- [14] QUERO, E. La biosilicificación proceso biológico fundamental en la productividad vegetal. México D.F. (México): Instituto Tecnológico Superior de Uruapan, 2008, p. 3.
- [15] MATICHENKOV, V. citado por CAICEDO, L. y CHAVARRIAGA, W. Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. *Agronomía Colombiana*, 2008, p. 4.
- [16] LOAIZA, C. Fisiología vegetal. Manizales (Colombia): Universidad de Caldas, 2003, p. 8-15.
- [17] PARRA, S., BACA, G.A., TIRADO, J.L., VILLARRREAL, R., SÁNCHEZ, P. y HERNÁNDEZ, S. Calidad del fruto, composición y distribución de elementos minerales en pepino en respuesta a Si y al potencial osmótico de la solución nutritiva. *Terra Latinoamericana*, 27(2), 2009, p. 129-131.
- [18] ALVAREZ, A. y ANDRADE, L. Evaluación de cinco dosis de aplicación de ceniza de cascarrilla de arroz como fuente de Si y complemento a la fertilización con P y K en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). Guayaquil (Ecuador): ESPOL, 2006, p. 3.
- [19] CAICEDO, L. y CHAVARRIAGA, W. Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. *Agronomía Colombiana*, 15(1), 2008, p. 3- 4.
- [20] QUERO, E. Silicio en la producción agrícola. México (México): Instituto Tecnológico Superior de Uruapan, 2006, p. 4.
- [21] NAME, B. y VILLAREAL, J. Estudios de suelos Ultisoles y Alfisoles realizados en las estaciones experimentales de Calabacito, Guarumal y Rio Hato. Panamá (Panamá): IDIAP, 2004, p. 229.
- [22] EPSTEIN, B. y BLOOM, A. citados por BORDA *et al.* El Silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa* L): respuestas fisiológicas de crecimiento y manejo. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 2007, p. 273-279.
- [23] GUERRERO, R., BURBANO, J. y CABRERA, T. Estado y fijación del fosforo en suelos volcánicos del sur de Colombia. Pasto (Colombia): Il panel sobre suelos volcánicos de América, Universidad de Nariño, 1972, p. 59-81.
- [24] QUERO, E. citado por PULGARIN, S. Respuesta de una mezcla forrajera establecida en clima frío, a la aplicación de silicato de magnesio. Quito (Ecuador): Escuela politécnica Nacional del Ecuador, 2011, p. 65.
- [25] QUERO, E. Remineralización de suelos con materiales ricos en silicio. México (México): Instituto Tecnológico Superior de Uruapan, 2007, p. 3.

# UCHUVA MÍNIMAMENTE PROCESADA IMPREGNADA AL VACÍO CON CALCIO Y VITAMINAS B<sub>9</sub>, D Y E

## MINIMALLY PROCESSED CAPE GOOSEBERRY VACUUM IMPREGNATED WITH CALCIUM AND VITAMINS B<sub>9</sub>, D AND E

## UCHUVA MÍNIMAMENTE PROCESSADA IMPREGNADA AO VACUO COM CALCIO E VITAMINAS E B<sub>9</sub> e D

FABIOLA PEÑA<sup>1</sup>, MISAEL CORTÉS-RODRÍGUEZ<sup>2</sup>, JESÚS HUMBERTO GIL-GONZÁLEZ<sup>3</sup>

### RESUMEN

*Se evaluó la respuesta a la impregnación a vacío (IV) de la uchuva ecotipo Colombia con diferentes líquidos, para formular una emulsión fortificante con calcio y vitaminas B<sub>9</sub>, D y E. La fracción volumétrica de impregnación y porosidad efectiva de la uchuva identifican una buena porosidad disponible al proceso. De acuerdo al índice R, la emulsión de impregnación es estable durante 35 días a 4°C. El proceso de IV no afectó significativamente las uchuvas en cuanto a sus propiedades físico-químicas y niveles de vitamina C. Se obtuvieron uchuvas impregnadas que aportan, en una porción de 200g, niveles del 69, 82, 40, 50 y 15% de los valores diarios de referencia para las vitaminas C, B<sub>9</sub>, D, y E y el calcio, respectivamente. Micrografías tomadas por microscopía electrónica de barrido, evidenciaron la incorporación de las partículas oleosas en los poros del pedúnculo de la uchuva.*

**Recibido para evaluación:** 21 de Julio de 2014. **Aprobado para publicación:** 23 de Abril de 2015.

- 1 Universidad Nacional de Colombia, Grupo de investigación GAF. MSc. Ciencia y Tecnología de Alimentos. Medellín, Colombia.
- 2 Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos, Grupo de investigación GAF. Doctor en Ingeniería de Alimentos, Medellín, Colombia.
- 3 Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos, Grupo de investigación SINBIOMENA. Doctor en Ciencias Químicas, Medellín, Colombia.

**Correspondencia:** mcortesro@unal.edu.co

## ABSTRACT

*In this work it was evaluated the gooseberry Colombian ecotype response to vacuum impregnation (VI) with different liquids, to formulate a fortifying emulsion with calcium and vitamins B<sub>9</sub>, D and E. The volumetric fraction of impregnation and the effective porosity in the cape gooseberry identify a good porosity available to the process. According to the R index, the impregnation emulsion is stable for 35 days at 4°C. The VI process did not significantly affect the physicochemical properties and vitamin C levels of cape gooseberry. In a portion of 200 g, the impregnated cape gooseberries obtained provide levels of 69, 82, 40, 50 and 15% of the reference daily values of vitamins C, B<sub>9</sub>, D, E and calcium, respectively. Micrographs obtained by scanning electron microscopy, showed the incorporation of oily particles in the pores of the stem of the cape gooseberry.*

## RESUMO

*Foi avaliada a resposta a impregnação a vácuo (IV) da Uchuva ecótipo Colômbia com diferentes líquidos para formular uma emulsão fortificante com cálcio e vitaminas B<sub>9</sub>, D e E. A fração volumétrica de impregnação e porosidade efetiva da Uchuva identifica uma boa porosidade disponível para processo. De acordo com o índice de R, a emulsão de impregnação é estável durante 35 dias a 4°C. O processo de IV não afetou significativamente as uchuvas no referente às propriedades físico-químicas e vitamina C. Foram obtidas uchuvas impregnadas que aportam numa porção de 200g, níveis de 69, 82, 40, 50 e 15% dos valores diários de referência para vitaminas C, B<sub>9</sub>, D, E e cálcio, respectivamente. Microfotografias realizadas por microscopia eletrônica de varredura, mostrou a incorporação de partículas de óleo nos poros do pedúnculo da uchuva.*

## INTRODUCCIÓN

La uchuva (*Physalis peruviana* L.) es una baya redonda de peso entre 1 y 10 g, cubierta de un cáliz o capacho que la protege del entorno. Este fruto se caracteriza por su alto contenido de vitaminas A y C [1], capaces de suplir, en una porción de 200 g, alrededor del 65 y el 26% de los valores diarios de referencia (VDR), respectivamente. El capacho segrega una sustancia pegajosa, generada por tejidos glandulares ubicados en su base, cubriendo el fruto en su totalidad, y su función es repeler el ataque de insectos [2]. Esta fruta, ha sido identificada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR) como promisoría de exportación; además, se le confieren efectos positivos sobre la salud humana tales como la purificación de la sangre, eliminación de la albúmina en los riñones, reconstitución y fortificación del nervio óptico, [3] calcificación de primer orden, efectos antiparasitarios, [4] y propiedades antidiabéticas [5].

La ingeniería de matrices como metodología de obtención de alimentos funcionales [6], utiliza la impregnación a vacío (IV) como mecanismo de incorporación de soluciones, dispersiones o emulsiones que contienen componentes fisiológicamente activos (CFA), permitiendo el desarrollo de

## PALABRAS CLAVE:

*Physalis peruviana* L., Impregnación al Vacío, Ingeniería de Matrices, Alimentos funcionales, Compuestos Activos.

## KEYWORDS:

*Physalis peruviana* L., Vacuum Impregnation, Matrix Engineering, Functional foods, Active Components.

## PALAVRAS-CHAVE:

*Physalis peruviana* L., Impregnação a Vácuo, Engenharia de Matrices, Alimentos Funcionais, Compostos Activos.

alimentos innovadores como los productos mínimamente procesados, con valor agregado y de alta calidad nutricional [7]. La IV consiste en la inmersión de un producto poroso en una solución, sometiendo el sistema a presión de vacío ( $P_1$ ) por un periodo determinado ( $t_1$ ) en orden a promover la salida del gas interno, seguido de la restauración de la presión atmosférica ( $P_{at}$ ) por un tiempo ( $t_{at}$ ) durante el cual la solución penetra en el espacio intercelular por la acción capilar y por los gradientes de presión que se imponen al sistema. La cantidad de solución externa que penetra en los tejidos ha sido modelada en función de la porosidad efectiva del producto, de la rata de compresión ( $r = P_{atm}/P_1$ ) y de la deformación volumétrica provocada por los cambios de presión [8]. Se ha demostrado que la IV en frutos porosos es un proceso efectivo en la transferencia de masa hacia el tejido [9] promoviendo cambios composicionales en tiempos cortos y sin requerimientos de temperatura [7].

Las emulsiones son sistemas termodinámicamente inestables, con alta energía libre entre fases líquidas inmiscibles, siendo indispensable la presencia de agentes tensoactivos capaces de disminuir la tensión superficial ( $\sigma$ ) y la propia tensión interfacial [10, 11]. La estructura molecular de los tensoactivos, al poseer grupos polares y apolares (carácter anfifílico), no les permite distribuirse uniformemente en el agua, sino que se orientan hacia la superficie de ésta, disminuyendo la  $\sigma$  del sistema. La adición progresiva de tensoactivos llega un punto en el cual se ha cubierto la totalidad de la superficie; por lo tanto, las moléculas del tensoactivo en exceso se dirigen hacia el interior del líquido formando micelas o agregados de alto peso molecular que no van a contribuir a la disminución de la  $\sigma$ . La concentración mínima requerida para lograr la máxima depresión de  $\sigma$  en un sistema es la concentración micelar crítica (CMC) [12].

Existe un interés muy marcado de los consumidores modernos por los alimentos que, además de suplir los nutrientes esenciales, contengan otros CFA que aporten beneficios saludables, lo cual ha permitido que la industria alimentaria ofrezca cada día productos diferenciados de los convencionales con características funcionales. Las vitaminas, en cantidades muy pequeñas, son sustancias orgánicas esenciales para el funcionamiento de las células vivas, Las vitaminas C y E son aditivos frecuentemente utilizados en la industria de alimentos por su poder antioxidante [13]; la vitamina B<sub>9</sub> o ácido fólico, se ha destacado por participación en la síntesis de ADN, ARN y el metabolismo de algu-

nos aminoácidos, lo que la hace necesaria en la etapa de gestación [14]; además, ayuda a disminuir el riesgo de cáncer del seno [15] y a controlar el envejecimiento cerebral [16]; la Vitamina D es una prohormona esteroidea sintetizada en la piel, u obtenida en la dieta alimenticia, cuya función más importante es estimular la absorción, fijación y eliminación de calcio, lo que resulta vital en el crecimiento y desarrollo normal de los huesos y dientes, acompañado de una adecuada ingesta de dicho mineral [17].

El objetivo de la investigación fue evaluar la respuesta a la IV de la uchuva ecotipo Colombia con una emulsión de impregnación (EI) adicionada con CFA de características liposolubles e hidrosolubles, que permita obtener un producto mínimamente procesado, identificado con el descriptor “excelente fuente de vitaminas E, B<sub>9</sub>, D y calcio”; y que aporte, en una porción de 200 g, el 50% del VDR de vitamina E y el 20% del VDR de calcio y vitaminas D y B<sub>9</sub>, de acuerdo a la Resolución 288 de 2008 [18].

## MÉTODO

### Materiales

Se utilizaron uchuvas frescas (UF) (*Physalis peruviana* L.) ecotipo Colombia procedentes del municipio de La Unión (Antioquia-Colombia), de peso sin cáliz entre 6 y 8 g, con un grado de madurez entre 4 y 6, según la escala de la Norma Técnica Colombiana NTC 4580 [19], desinfectadas por inmersión en solución de cloro de 50 ppm. Además, se utilizaron las siguientes materias primas: ácido ascórbico, colecalciferol (vitamina D<sub>3</sub>), DL- $\alpha$ -tocoferol acetato, ácido fólico (Vitamina B<sub>9</sub>), cloruro de calcio, fumarato de calcio, sacarosa, Tween 80, Span 60, sorbato de potasio, pectina de bajo metoxilo y proteína aislada de soya.

### Propiedades físico-químicas

Se evaluaron las siguientes características: sólidos solubles, en un refractómetro manual (Leica Auto ABBE) a 20°C (AOAC 932.12) [20]; acidez titulable, expresada como ácido cítrico (%) (AOAC 939.05) [20]; índice de maduración, a partir de la relación °Brix/acidez (%); pH (AOAC 981.12) [20]; actividad de agua ( $a_w$ ), utilizando un higrómetro de punto de rocío a 25°C (Aqualab serie 3TE, Decagon, Devices, Pullman, WA, USA); densidad de UF ( $\rho_{UF}$ ), por el método de volumen desplazado a 20°C ( $\pm 0,5^\circ\text{C}$ ); y humedad, mediante secado a 105°C durante 6 horas (AOAC 966.02) [20].

## Metodología experimental de impregnación

En un homogenizador Ultraturrax (UTL 50 INLINE, Janke & Kunkel IKA- Labortechnik, Alemania) a 10.000 rpm durante 10 minutos, se preparó una solución de impregnación preliminar ( $SI_p$ ) de carácter isotónico ( $a_w$  UF =  $a_w SI_p$ ), con sacarosa, proteína de soya, sorbato de potasio, pectina de bajo metoxilo (16,3%) y calcio, en una relación de 105 mg  $Ca^{+2}$ /g pectina para inducir a la formación lenta de geles débiles [21].

La respuesta a la impregnación al vacío de la uchuva, se caracterizó inicialmente con la  $SI_p$  en una unidad piloto que consta de una cámara en acero inoxidable, una bomba de vacío con registro de presiones en un vacuómetro y un sistema electromecánico acoplado a una balanza de  $\pm 0,01$  g de precisión, que permite medir las masas de las uchuvas y del líquido de impregnación [8, 22, 23]. Se operó con una  $P_1 = 31,4$  mm Hg,  $P_{at} = 640$  mm Hg y  $t_1 = t_{at} = 5$  min. La metodología permite calcular las fracciones volumétricas de impregnación y la deformación volumétrica tanto en la etapa de vacío ( $X_1$ :  $m^3$  de líquido impregnado/ $m^3$  UF, y  $\gamma_1$ :  $m^3$  de muestra deformada/ $m^3$  UF), así como en el proceso global con el restablecimiento de la presión atmosférica ( $X \gamma$ ), y la porosidad eficaz ( $\epsilon_e$ :  $m^3$  de gas/ $m^3$  UF). La relación de los parámetros de IV se presentan en la ecuación 1 [24].

$$\epsilon_e (\gamma - 1) = (X - \gamma) r + \gamma_1 \quad [\text{Ec.1}]$$

La fracción másica para cada CFA en la EI [ $Y_{CFA}$ ], se determinó aplicando el balance de materia en el sistema de impregnación, a partir de la metodología propuesta por Cortés (2004) [23], utilizando el X calculado con la  $SI_p$ .

La composición de los tensoactivos, Tween 80 y Span 60, se determinó en la  $SI_p$  (excluyendo el cloruro de calcio y la pectina) a partir del cálculo de la CMC (tensión superficial ( $\sigma$ ) vs. % mezcla de tensoactivos (MT)) para un balance hidrofílico-lipofílico total (BHL<sub>T</sub>) de 10, y %MT entre 0 y 0,5. Se midió la  $\sigma$  en tensiómetro (KRÜSS K9, Alemania) por el método de anillo. La EI se ajustó a pH = 5,5 con ácido ascórbico para favorecer la estabilidad de la vitamina B<sub>9</sub> [25] y evitar la desnaturalización de la proteína de soya (punto isoeléctrico 4,2–4,6) [26]. Con la EI elaborada, se determinaron nuevamente los parámetros de impregnación anteriormente mencionados, y se realizó el estudio de estabilidad durante 15 días, a partir del cálculo del índice de estabilidad R (relación de absorbancias a

800 y 400 nm), por el método de absorción espectral [27,28], en un espectrofotómetro (Evolution 60, Thermo Scientific). Con la X calculada en la EI, se formuló y elaboró la emulsión de impregnación final ( $EI_p$ ), con la cual obtuvieron uchuvas impregnadas (UI), destinadas para los análisis.

## Extracción y cuantificación de CFA

Para la elaboración de los diferentes extractos, se obtuvo una pasta homogénea de muestra a partir de la maceración de 100 g de producto en un Ultraturrax (UTL 50 INLINE) a 10.000 rpm durante 5 minutos. La extracción y cuantificación de la vitamina C se realizó por modificación de la metodología de Gutiérrez *et al.*, (2007) [1]. Se tomaron 7 g de pasta homogénea, se agregaron 20 mL de agua tipo III y se llevaron a agitación magnética durante 15 min a 900 rpm. Se filtró en membranas de 0,45  $\mu$ m y la fase acuosa (FA) se llevó a un volumen 50 mL. La extracción y cuantificación de vitamina B<sub>9</sub> se realizó con base en la metodología de Arcot (2005) [29]; se mezclaron 7 g del homogenizado con 20 mL de agua tipo III y se hidrolizó (pH = 12) con NaOH 2 M en agitación magnética por 20 min. La mezcla se neutralizó con buffer fosfato 1 M, se filtró en membranas de 0,45  $\mu$ m y se aforó a 50 mL. Para la extracción y cuantificación de vitaminas liposolubles (D y E) se adaptó el método descrito por Kmostak, (1993) [30], modificado por Cortés (2004) [23], donde el solvente se evaporó en un rotaevaporador (Heidolph Laborta 4001) a 40°C.

La cuantificación de las vitaminas se llevó a cabo en un equipo de cromatografía líquida de alta resolución (Prominence 20A, Shimadzu Corp, Japón), provisto de una columna de fase reversa (Premier C-18, 250 mm x 4,6 mm x 5  $\mu$ m), detector UV-vis con arreglo de diodos. Se construyeron curvas de calibración con estándares primarios Supelco: DL-alfa tocoferol acetato, colecalciferol, ácido ascórbico y ácido fólico. Se trabajó a temperaturas del horno de 35°C, en vitaminas C y B<sub>9</sub>, y 45°C para vitaminas D y E. Para la vitamina C se utilizó una fase móvil de buffer  $KH_2PO_4$  (0,02 M, ajustado a pH = 3,0 con ácido ortofosfórico) y se detectó el compuesto a 244 nm. En vitamina B<sub>9</sub> se utilizó una fase móvil de Buffer  $KH_2PO_4$  0,05 M/ acetoneitrilo (90/10) y se detectó el compuesto a 283 nm. Las vitaminas D y E se detectaron a 264 y 285 nm y se eluyeron con una fase móvil metanol/acetoneitrilo (75/25). En todas las vitaminas se trabajó a un flujo de 1 mL/min.

Para la extracción y cuantificación de calcio se siguió el protocolo de la Norma Técnica Colombiana 4807 [31] utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (AAAnalyst 100, Perkin Elmer Inc., Waltham, USA), y un titrisol estándar de calcio marca Merck.

### Microestructura del fruto

Se obtuvieron imágenes en muestras de UF y UI, previamente deshidratadas (60°C x 12h), en un microscopio electrónico de barrido (JEOL JSM 5910 LV), acoplado con detectores EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy), con el cual se hizo un análisis químico cualitativo en diferentes puntos de la muestra.

### Diseño experimental y análisis de datos

Se utilizaron diseños factoriales completamente aleatorizados (TxLxR: tratamientos x lotes x No. Repeticiones) en: estabilidad de la emulsión (8x2x3), tensión superficial (8x1x3), parámetros de impregnación (2x2x25), propiedades fisicoquímicas (2x2x5) y concentración de CFA (2x3x3). Los datos fueron analizados a partir de análisis de varianza ANOVA, aplicando el método LSD (mínimas diferencias significativas) como método de comparaciones múltiples, con un nivel de significancia del 95% ( $\alpha=0,05$ ) y una potencia del 80%, en el paquete estadístico Statgraphics Centurion XV.

## RESULTADOS

### Análisis Físico-químicos

El cuadro 1 presenta los valores medios y la desviación estándar de los parámetros físico-químicos de las UF y las UI. El ANOVA no reportó diferencias significativas ( $p<0,05$ ) con respecto al tratamiento de IV. En la literatura se han reportado valores similares para UF [32, 33, 34, 35, 36].

En las UI se observa una ligera tendencia a incrementar °Brix,  $a_w$ , acidez, densidad y humedad debido a que la EI<sub>F</sub> tiene 18°Brix, acidez <0,01%, pH = 5,5 y densidad = 1,056 g/mL; sin embargo, debido a la poca cantidad de líquido que se incorpora, éste es absorbido por la desviación estándar. Botero (2008) [37] y Restrepo (2008) [38] también encontraron incremento en cuanto a SS, acidez,  $a_w$  y humedad por efecto de la IV en uchuva, pero con diferencias significativas respecto al fruto fresco.

**Cuadro 1.** Características físico-químicas de UF y UI.

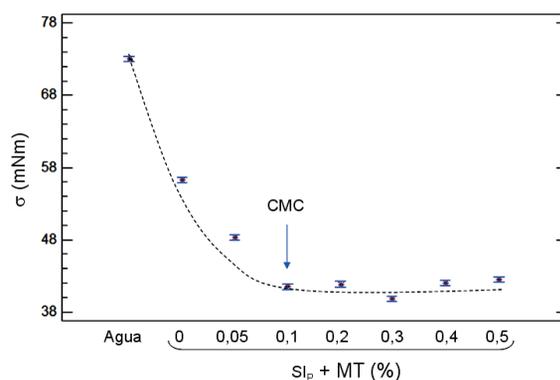
| Parámetros fisicoquímicos | UF            | UI            |
|---------------------------|---------------|---------------|
| °Brix                     | 14,74 ± 0,6   | 15,10 ± 0,5   |
| Acidez [%]                | 1,65 ± 0,31   | 1,67 ± 0,34   |
| IM                        | 9,17 ± 1,5    | 8,98 ± 1,9    |
| pH                        | 3,58 ± 0,09   | 3,53 ± 0,14   |
| aw                        | 0,980 ± 0,001 | 0,981 ± 0,002 |
| Densidad [g/mL]           | 1,070 ± 0,043 | 1,088 ± 0,063 |
| Humedad [%]               | 79,87 ± 0,73  | 79,98 ± 0,72  |

### Formulación y estabilidad de la emulsión

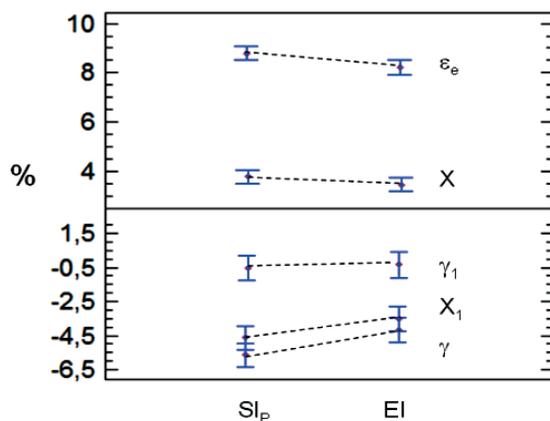
**Concentración micelar crítica.** La figura 1 ilustra la  $\sigma_{\text{agua}}$  y la  $\sigma_{\text{SIP}}$  a diferentes concentraciones de MT con BHL<sub>T</sub> de 10. Se obtuvo valores de  $\sigma_{\text{agua}}$  de 73 ± 0,06 mNm, similar al reportado por Chiralt *et al.*, (1998) [39]; y se observó una disminución de  $\sigma$  con la adición de tensoactivos en la SI<sub>p</sub>. Para la SI<sub>p</sub> al 0%MT,  $\sigma$  disminuyó un 23,3% (56 ± 0,06 mNm), lo cual se atribuye a la presencia de proteína de soja de características anfífilas (grupos polares y apolares), confiriéndole características estabilizantes [26]. La adición de la MT no iónicos, disminuyó la  $\sigma$  en un 43,2% hasta alcanzar un valor asintótico ( $\sigma = 41,5 \pm 0,55$  mN/m) en la CMC (0,1 %MT); valores por encima de ésta, no aportarán un efecto estabilizador superior. Cortés (2004) [23], obtuvo un valor similar de CMC en una solución de glucosa de 9 °Brix con un BHL<sub>T</sub> de 8, utilizando el método de volumen de gota.

**Parámetros de impregnación.** La figura 2 presenta los valores medios y los intervalos LSD (95%) de los parámetros de impregnación obtenidos en las UI con la SI<sub>p</sub> y la EI. No hubo diferencias significativas ( $p>0,05$ )

**Figura 1.** Obtención de la CMC con mezcla de tensoactivos de BHL<sub>T</sub> 10.



**Figura 2.** Parámetros de impregnación de uchuva con la SI<sub>p</sub> y la EI.



en los parámetros X,  $X_1$ ,  $\gamma_1$  y  $\epsilon_e$ , con respecto al tipo de líquido de impregnación, pero sí en  $\gamma$  ( $p < 0,05$ ). En la SI<sub>p</sub> y en la EI, se alcanzaron valores de X del orden de  $3,79 \pm 0,43\%$  y  $3,47 \pm 0,67\%$ , y de  $\epsilon_e$  de  $8,79 \pm 0,19$  y  $8,23 \pm 0,21\%$ , respectivamente; lo que identifica a la uchuva como una estructura adecuada para la incorporación de los CFA. Para ambas soluciones, los valores de  $X_1$  fueron negativos, denotando una salida de líquido del interior de la estructura en la etapa de vacío, siendo ligeramente mayor con la SI<sub>p</sub>. Estas pérdidas incidieron proporcionalmente en la deformación volumétrica en la etapa de vacío (valores negativos de  $\gamma_1$ ), lo que hace colapsar ligeramente a la matriz (contracción volumétrica), alcanzándose valores de  $-0,53 \pm 0,20\%$  en la SI<sub>p</sub> y  $-0,34 \pm 0,23\%$  en la EI. Las diferencias estadísticas en  $\gamma$  son atribuibles al acople del mecanismo hidrodinámico y al fenómeno de deformación-relajación, lo cual genera una contracción de la matriz al final del proceso ( $\gamma = -5,64 \pm 0,50$  en SI<sub>p</sub> y  $\gamma = -4,18 \pm 0,53\%$  en EI), como consecuencia del estrés mecánico ante el  $\Delta$ Presión del proceso. La mayor deformación se presentó con la SI<sub>p</sub>, lo que se relaciona con la mayor salida de líquido nativo ( $X_1$ ) y una cantidad superior de líquido impregnado (X).

Restrepo (2008) [38] y Botero (2008) [37] impregnaron uchuva ecotipo Colombia con emulsiones de vitamina E, según la metodología de Cortes, (2004) [23], considerando despreciables  $X_1$ ,  $\gamma$  y  $\gamma_1$ , obteniendo valores inferiores de X (2,5 - 3,5%) y  $\epsilon_e$  (3 - 5%); Restrepo (2008) [38], calculó adicionalmente los parámetros de IV en una solución isotónica de sacarosa 20 °Brix, encontrando valores aproximados de X y  $\epsilon_e$  de 3,4 y 4,6%, respectivamente. Por otro lado, Marín, (2009) [40] encontró, en uchuvas impregnadas con soluciones de inoculadas con bacterias ácido lácticas, valores superiores de X (5 - 9%),  $\epsilon_e$  (9-11%) y  $\gamma$  (-1,5 a -4), y valores inferiores de  $\gamma_1$  ( $-12,03 \pm 3,43$ ), y resultados semejantes de  $X_1$ . Estas diferencias responden a diversos factores tales como composición y viscosidad del líquido de impregnación, interacciones líquido-matriz alimentaria, las presiones de trabajo, entre otros [22, 23]; y además, existen otros factores genéticos, climáticos y agro culturales, típicos de cada cultivo y región, que pueden influir [41].

**Formulación y estabilidad de la EI.** El balance de materia permitió obtener la siguiente composición de la EI<sub>F</sub> (% p/p): fuentes de vitaminas y minerales (8,35), solución de tensoactivos iónicos, sacarosa, pectina, sorbato de potasio y fuente de soya (91,65). El índice de estabilidad R no presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el tiempo, obteniéndose un valor promedio de  $0,322 \pm 0,043$ , resultados que son favorables para la estabilidad de la EI por su relación con el menor tamaño de gotas de vitaminas liposolubles en el sistema coloidal [28]. Restrepo (2008) [38] reportó resultados similares en emulsiones con balance BHL<sub>1</sub> de 8 y 0,33% MT.

### Cuantificación de CFA

El cuadro 2 presenta los promedios y desviaciones estándar de los contenidos de CFA por cada 200 g de producto. El ANOVA presentó diferencias significativas

**Cuadro 2.** Concentración y VDR de los CFA.

| CFA                                 | UF           |              | UI            |               |
|-------------------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
|                                     | Cantidad     | %VDR         | Cantidad      | %VDR          |
| Vit C [mg/200g]                     | 39,52 ± 3,95 | 65,86 ± 6,59 | 41,98 ± 1,96  | 69,96 ± 3,26  |
| Vit D [ $\mu$ g /200g]              | 0            | 0            | 4,01 ± 0,83*  | 40,13 ± 8,32* |
| Vit E [mg/200g]                     | 0            | 0            | 15,07 ± 1,56* | 50,24 ± 5,21* |
| Vit B <sub>9</sub> [ $\mu$ g /200g] | 0            | 0            | 326,4 ± 42,0* | 82,43 ± 10,5* |
| Calcio [mg/200g]                    | 23,24 ± 3,65 | 2,32 ± 0,37  | 153,6 ± 21,3* | 15,36 ± 0,21* |

\* Diferencias significativas al 95% de confianza

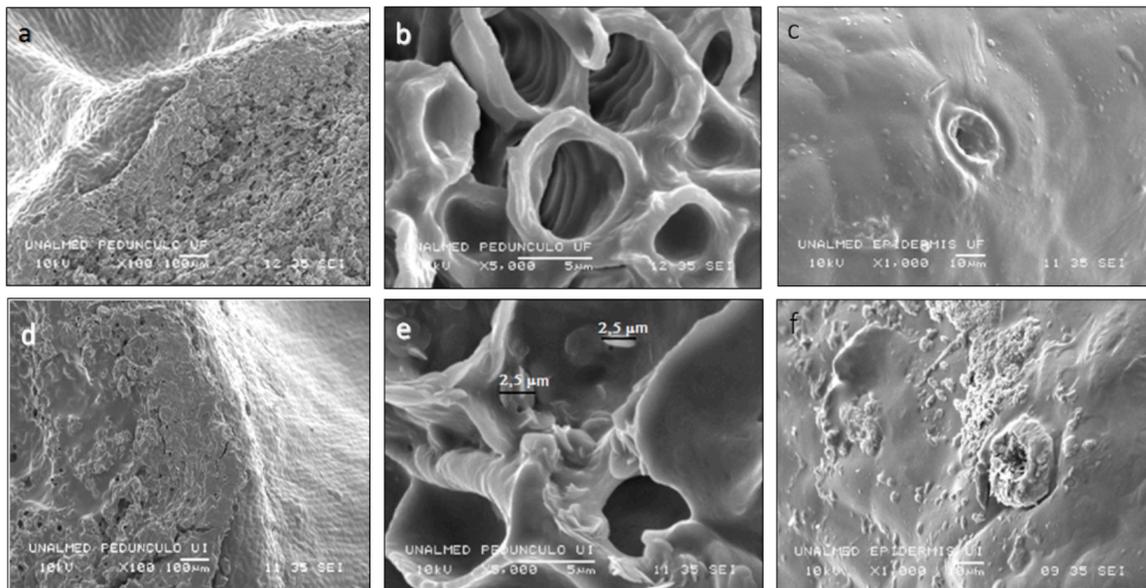
( $p < 0,05$ ) para el calcio y las vitaminas E, D y B<sub>9</sub> con respecto al factor IV, atribuibles a la incorporación de los CFA presentes en la EI<sub>F</sub>. Los resultados de vitamina C en las UF fueron similares a los encontrados por Gutiérrez *et al.*, (2007) [1], representando un aporte importante en el VDR de esta vitamina; por otro lado, se presenta un ligero incremento en las UI debido a la presencia de ácido ascórbico como acidulante de la EI<sub>F</sub>. El contenido de vitaminas B<sub>9</sub> y D en las UI fueron superiores al criterio de fortificación (20% VDR); mientras que en vitamina E, se obtuvo la cantidad esperada (50%). Estos niveles de fortificación permiten que las UI sean catalogadas como "excelente fuente de vitaminas E, D y B<sub>9</sub>", según la normatividad colombiana [18]. Otros autores han fortificado uchuva por la técnica de IV, con emulsiones de base acuosa adicionadas de vitamina E y/o vitamina C y/o calcio [37,38] y bacterias probióticas [40], superando también los valores esperados. El contenido de calcio en las UF fue similar a los obtenidos por otros autores [42, 43,44], representando un nivel bajo del VDR de este nutriente. Debido a la solubilidad limitada de las sales de calcio, sólo fue posible obtener en las UI el 15%VDR, lo que le confiere el descriptor "buena fuente de Calcio". En general, los resultados obtenidos, permiten definir a la uchuva como una matriz con una complejidad microestructural, debido en parte a la epidermis, de características impermeables, que cubre aproximadamente el 95% de su superficie, y al área del pedúnculo ( $\cong 5\%$ ), con una distribución porosa irregular, que permite el ingreso del

líquido de impregnación al interior de la estructura, la cual no tiene una relación directa con el peso de la uchuva. Por otro lado, un fenómeno que puede estar influyendo, puede ser la adhesión de CFA (verificado en las pruebas EDS) en la superficie del fruto, la cual para efectos de los cálculos teóricos, se consideró despreciable, asumiendo que la epidermis de la uchuva era una barrera totalmente impermeable.

### Microscopía

La Figura 3 presenta micrografías con aumentos de 100, 5.000 y 1.000 X en UF [(a), (b), y (c)] y en UI [(d), (e) y (f)]. En las imágenes a y e se aprecia el pedúnculo, el cual se caracteriza por su rugosidad y porosidad; y la epidermis [imagen c], de textura lisa y escasa porosidad, la cual presenta partículas de resina propias del fruto. Por efecto del tratamiento de IV se aprecia un sellamiento parcial de los poros del pedúnculo (imagen d), a causa de los geles de formación lenta presentes en la EI<sub>F</sub> [45], así como la presencia de partículas de forma oval de aproximadamente 2,5  $\mu\text{m}$  de diámetro (imagen e) que probablemente corresponden a pequeñas gotas de vitaminas E y D. Restrepo (2008) [38] también encontró gotículas de vitamina E de 2,81  $\mu\text{m}$ . En la Figura 3f se aprecian partículas adheridas a la epidermis y a sus poros, lo que demuestra que la capa cerosa del fruto presenta propiedades adherentes, lo que puede contribuir con los niveles de fortificación. El análisis cualitativo ele-

**Figura 3.** Imágenes de UF y UI. Límite entre el pedúnculo y la epidermis a 100X en UF (a) y UI (d); pedúnculo a 5000X en UF (b) y UI (e); poros de la epidermis a 1000X en UF (c) y UI (f).



mental por EDS encontró en las imágenes de las UI, y en otras imágenes del interior de la misma, calcio y cloro a diferencia de las UF, lo que indica que parte de los niveles de calcio obtenidos, y probablemente los de los otros CFA, se atribuyan a una adhesión.

## CONCLUSIONES

La adición de la mezcla de tensoactivos, Tween 80 y Span 60 al 0,1% con un  $BHL_T = 10$ , permite disminuir al máximo la  $\sigma$  de la  $SI_p$  y favorece la estabilidad del sistema coloidal de la EI, observada en el comportamiento del índice "R", que correspondió a tamaños de partículas oleosas pequeñas por un período de 15 días, a 4°C.

Los parámetros de impregnación de la uchuva calculados con la EI ( $\gamma = -4,18 \pm 0,53\%$ ,  $\gamma_1 = -0,34 \pm 0,23\%$ ;  $X_1 = -3,51 \pm 0,53\%$ ;  $\epsilon_e = 8,23 \pm 0,21\%$  y  $X = 3,47 \pm 0,67\%$ ) muestran que esta es una matriz que favorece la incorporación de CFA, debido a la baja contracción volumétrica del sistema, la pequeña cantidad de líquido nativo que sale en la etapa de vacío, y la buena porosidad disponible para el proceso.

Se formuló una EI<sub>F</sub> que permitió obtener uchuva fortificada, capaz de aportar en una porción de 200 g VDR aproximados del 40, 50, 82 y 15% en vitaminas B<sub>6</sub>, D y E y calcio, respectivamente, por lo que el proceso de IV genera un valor agregado importante en la uchuva, sin alterar significativamente sus características físico-químicas y la cantidad de vitamina C.

Las micrografías presentaron la morfología superficial compleja de la uchuva, observándose la epidermis de características casi compactas, adherentes y de mínima porosidad; y el área del pedúnculo con un relieve poroso. Se observaron partículas esféricas de vitaminas D y E con un diámetro aproximado de 2,5  $\mu\text{m}$ .

El análisis cualitativo elemental EDS evidenció la presencia de calcio en la epidermis, el pedúnculo, y la pulpa de las UI, lo que indica que la emulsión de impregnación en el proceso de IV, después de ingresar mayoritariamente por el pedúnculo, se desplaza hacia su interior y además puede adherirse a la epidermis.

## REFERENCIAS

[1] GUTIÉRREZ, T., HOYOS, O. y PÁEZ, M. Determinación del contenido de ácido ascórbico en

uchuva (*Physalis peruviana* L.), por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Facultad de Ciencias Agropecuarias, 5(1), 2007, p. 71-79.

- [2] MAZORRA, M., QUINTANA, Á., MIRANDA, D., FISCHER, G. y CHAPARRO, M. Aspectos anatómicos de la formación y crecimiento del fruto de uchuva *Physalis peruviana* (Solanaceae). Acta Biológica Colombiana, 11(1), 2006, p. 69 - 81.
- [3] CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL (CCI). Perfil de producto. Inteligencia de mercados, Bogotá (Colombia): Corporación Colombia Internacional, 13, 2000, p.1-12.
- [4] HERRERA, A. Manejo poscosecha. En: Flórez, V.J., G. Fischer y A.D. Sora. Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). Bogotá (Colombia): 2000.
- [5] RODRÍGUEZ, S., y RODRÍGUEZ, E. Efecto de la ingesta de *Physalis peruviana* [aguaymanto] sobre la glicemia postprandial en adultos jóvenes. Revista Médica Vallejana, 4(1), 2007, p. 43-53.
- [6] FITO, P., CHIRALT, A., BETORET, N., GRAS, M., CHÁFER, M., MARTÍNEZ-MONZÓ, J., ANDRÉS, A. and VIDAL, D. Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering: Application in functional fresh food development. Journal of Food Engineering, 49(2-3), 2001, p. 175-183.
- [7] CHIRALT, A., FITO, P., ANDRÉS, A., BARAT, J.M., MARTÍNEZ-MONZÓ, J. and MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Vacuum impregnation: a tool in minimally processing of foods. En: Processing of Foods: Quality Optimization y Process Assessment. Boca Ratón (USA): CRC Press, 1999.
- [8] FITO, P., ANDRÉS, A., CHIRALT, A. and PARDO, P. Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation-relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems. Journal of Food Engineering, 27(3), 1996, p. 229-240.
- [9] GRAS, M.L, VIDAL, D., BETORET, N., CHIRALT, A. and FITO, P. Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation: Interactions with cellular matrix. Journal of Food Engineering, 56(2-3), 2003, p. 279-284.
- [10] HUNTER, R. Foundations of colloid science. Oxford (USA): Oxford University Press, 2001.
- [11] MOLINA, M. Estudio biofarmacéutico de una emulsión de vitamina a palmitato liofilizada.. Madrid (España): Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Farmacia, Departamento de Farmacia y Tecnología Farmacéutica, 381, 1994.

- [12] LEWIS, M. Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de processado. Zaragoza (España): Acirbia, 1993, 514 p.
- [13] PITA, G. Funciones de la vitamina E en la nutrición humana. Revista Cubana de Alimentación y Nutrición, 11(1), 1997, p. 46-57.
- [14] FOHR, I., PRINZ, R., BRONSTRUP, A., BOHLMANN, A., NAU, H. and BERTHOLD, H. 5, 10-Methylenetetrahydrofolate reductase genotype determines the plasma Homocysteine-lowering effect of supplementation with 5-methyltetrahydrofolate or folic acid in healthy young woman. Journal of Clinical Nutrition 75(2), 2002, p. 275-282.
- [15] ZHANG, S., WILLET, W., SELHUB, J., HUNTER, D., GIOVANNUCCI, E., HOLMES, M., COLDITZ, G. and HANKINSON, S. Plasma Folate, Vitamin B<sub>6</sub> and B<sub>12</sub>, Homocysteine and Risk of Breast Cancer. Journal of National Cancer Institute, 95, 2003, p. 373-380.
- [16] KRUMAN, I., KUMARAVEL, I., LOHANI, A., PEDERSEN, W., CUTLER, W., KRUMAN, Y., HAUGHEY, N., LEE, J. and EVANS, M. Folic Acid Deficiency and Homocysteine Impair DNA Repair Hippocampal Neurons and Sensitize them to Amyloid Toxicity in Experimental Models of Alzheimer Disease. Journal of Neuroscience, 22(5), 2002, p. 1752-1762.
- [17] HOLICK, M. Resurrection of vitamin D deficiency and rickets. Journal of Clinical Investigation, 116(8), 2006, p. 2062-2072.
- [18] COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 288 de 2008. Bogotá (Colombia): 2008.
- [19] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS (ICONTEC). NTC 4580. Frutas frescas: Uchuva, Especificaciones. Bogotá (Colombia): 1999, 15 p.
- [20] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST (AOAC). Official methods of analysis, Maryland (USA): 2000.
- [21] LOOTENS, D., CAPEL, F., DURAND, D., NICOLAI, T., BOULENGUER, P. and LANGENDORFF, V. Influence of pH, Ca concentration, temperature and amidation on the gelation of low methoxyl pectin. Food Hydrocolloids, 17(3), 2003, p.237-244.
- [22] SALVATORI, D., ANDRÉ, S.A., CHIRALT, A. and FITO, P. Characterization of some properties of fruits related to Vacuum Impregnation. Journal of Food Process Engineering, 21, 1998, p. 59-73.
- [23] CORTÉS, M. Desarrollo de productos de manzana deshidratados enriquecidos con vitamina E. [Tesis de PhD]. Valencia (España): Universidad Politécnica de Valencia, 2004.
- [24] MARTÍNEZ, N., ANDRÉS, A., CHIRALT, A. and FITO, P. Termodinámica y Cinética de Sistemas Alimento y Entorno. En mecanismo difusional en Alimentos. Valencia (España): Universidad Politécnica de Valencia, servicio de publicaciones, 1998.
- [25] GREGORY, J. and TOTH, J. Chemical synthesis of deuterated folate monoglutamate and in vivo assessment urinary excretion of deuterated folates in man. Analytical Biochemistry, 170, 1988, p. 94-104.
- [26] DENAVI, G.A., PÉREZ-MATEOS, M., AÑÓN, M.C., MONTERO, P., MAURI, A.N., and GÓMEZ-GUILLEN, M.C. Structural and functional properties of soy protein isolate and cod gelatin blend films. Food Hydrocolloids, 23(8), 2009, p. 2094-2101.
- [27] KAUFMAN, V. and GARTI, N. Spectral Absorption for Determination of ease of Formation and Stability of oil in water emulsions. Journal of Dispersion Science and Technology, 2(4), 1981, p. 475-490.
- [28] KIYOSHI, H., SHOJI, T. and TOSHIYUKI, A. Determination of Emulsion Stability by Spectral Absorption I: Relationship between Surfactant type, Concentration, and Stability index. Cosmetic and Toiletries, 93, 1978, p. 53-62.
- [29] ARCOT, J. and SHRESTHA, A. Folate: methods of analysis. Trends in Food Science & Technology, 16(6-7), 2005, p. 253-266.
- [30] KMOSTAK, S. and KURTZ, D. Rapid Determination of Supplemental Vitamin E acetate in Feed Premixes by Capillary Gas Chromatography. Journal AOAC International, 76(4), 1993, p. 735-741.
- [31] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS (ICONTEC). NTC 4807. Productos de frutas y verduras, determinación del contenido de cobre, método espectrométrico de absorción atómica de llama. Bogotá (Colombia):, 2000, 8 p.
- [32] ÁVILA, J.A, MORENO, P., FISCHER, G. y MIRANDA, D. Influencia de la madurez del fruto y del secado del cáliz en uchuva (*Physalis peruviana* L.) almacenada a 18°C. Acta Agronómica, 55(4), 2008, p. 29-38.
- [33] CASTAÑEDA, G. y PAREDES, R. Estudio del proceso respiratorio, principales ácidos orgánicos,

- azúcares y algunos cambios físico-químicos en el desarrollo del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.) [Tesis]. Bogotá (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, 2003.
- [34] LÓPEZ, E. y PÁEZ, G. Comportamiento fisiológico de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo condiciones de refrigeración y películas plásticas para su conservación y poscosecha. [Tesis] Bogotá (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, 2002.
- [35] NOVOA, R., BOJACA, M. and GALVIS, J. Fruit maturity and calyx drying influence post-harvest behavior of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) stored at 12°C. *Agronomía Colombiana*, 24(1), 2006, p. 77-86.
- [36] RODRÍGUEZ, M. Estudio de la conservación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) utilizando los métodos de atmósfera modificada, refrigeración y encerado.. Bogotá (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Química, 123 p, 2003.
- [37] BOTERO, A. Aplicación de la ingeniería de matrices en el desarrollo de uchuva (*Physalis peruviana* L.) mínimamente procesada fortificada con calcio y vitaminas C y E [Tesis de MSc]. Medellín (Colombia): Universidad de Antioquia, Facultad de Química Farmacéutica y Alimentos, 2008.
- [38] RESTREPO, A. Nuevas perspectivas de consumo de frutas: Uchuva (*Physalis peruviana* L.) mínimamente procesadas fortificadas con vitamina E [Tesis de MSc]. Medellín (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, 2008.
- [39] CHIRALT, A., MARTÍNEZ, N. and CAMACHO, M. Valencia (España): Laboratorio de Coloides en Alimentos, Servicio de Publicaciones de la UPV - SPUPV-98.4012, 1998.
- [40] MARÍN, Z. Viabilidad de desarrollo de productos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) mínimamente procesados con características probióticas a partir de la ingeniería de matrices. Medellín (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Agrícola, 2009.
- [41] MÁRQUEZ, C., TRILLOS, O., CARTAGENA, J. y CÓTES, J. Evaluación físico-química y sensorial de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Vitae*, 16(1), 2009, p. 42-48.
- [42] MORTON J. *Fruits of warm climates*. New York (USA): Creative Resource Systems, Inc., 1987.
- [43] FLOREZ, V., FISCHER, G. y SORA, A. Producción, poscosecha y exportación de la uchuva [Tesis]. Bogotá (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, 2000, 131 p.
- [44] REPO, R. y ENCINA, C. Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Revista Sociedad Química del Perú*, 74(2), 2008, p. 108-124.
- [45] CAPEL, F.N., DURAND, D., BOULENGUER, P. and LANGENDORFF, V. Calcium and acid induced gelation of (amidated) low methoxyl pectin. *Food Hydrocolloids*, 20, 2006, p. 901-907.

## Artículos de revisión de Tema

CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES Y  
ANTIOXIDANTES DE LA FRUTA CURUBA  
LARGA (*Passiflora mollisima Bailey*)NUTRITIONAL AND ANTIOXIDANT  
CHARACTERISTICS OF BANANA PASSION  
FRUIT (*Passiflora mollisima Bailey*)CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS E  
ANTIOXIDANTES DA FRUTA CURUBA LONGA  
(*Passiflora mollisima Bailey*)

DIANA CAROLINA CHAPARRO R.<sup>1</sup>, MARIA ELENA MALDONADO C.<sup>2</sup>,  
MARÍA CAMILA FRANCO L.<sup>3</sup>, LUZ AMPARO URANGO M.<sup>4</sup>

**RESUMEN**

*La presente revisión muestra el valor nutricional y el impacto para la salud humana del consumo de la fruta curuba larga (*Passiflora mollisima Bailey*), con base a las características nutricionales y antioxidantes. Pertenece a la familia de las pasifloráceas, es originaria de la zona andina del continente americano y en Colombia se cultiva principalmente en las cordilleras oriental y occidental. Esta fruta es fuente de vitaminas A, C y riboflavina; contiene potasio, fósforo, magnesio, sodio, cloro, hierro; aporta cantidades moderadas de carbohidratos y calóricas. El contenido de fenoles, flavonoides y carotenoides confiere la capacidad de captar radicales libres causantes del estrés oxidativo, éste relacionado con el origen y desarrollo de enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas y el cáncer.*

**Recibido para evaluación:** 12 de Noviembre de 2013. **Aprobado para publicación:** 17 de Abril de 2015.

- 1 Universidad de Antioquia, Escuela de Nutrición y Dietética. Estudiante de Maestría en Ciencias de la alimentación y la nutrición humana. Medellín, Colombia.
- 2 Universidad de Antioquia, Escuela de Nutrición y Dietética. PhD Sc. Profesora Asociada. Medellín, Colombia.
- 3 Universidad de Antioquia, Escuela de Nutrición y Dietética. Estudiante de Nutrición y Dietética. Medellín, Colombia.
- 4 Universidad de Antioquia, Escuela de Nutrición y Dietética. Mg Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Profesora. Medellín, Colombia.

**Correspondencia:** mariaele@quimbaya.udea.edu.co

## ABSTRACT

*This review shows the nutritional value and the impact to human health of consumption of Banana passion fruit (*Passiflora mollissima* Bailey), based on the nutrient and antioxidant characteristics. It belongs to the family of passifloraceae, is a native plant from the Andean region of Americas. This plant in Colombia is cultivated mainly in eastern and western mountain ranges. The fruit is a source of vitamins A, C and riboflavin, containing potassium, phosphorus, magnesium, sodium, chlorine, iron; provides moderate amounts of carbohydrates and calories. The content of phenols, flavonoids and carotenoids confers the ability to scavenge free radicals that cause oxidative stress which is related to the origin and development of cardiovascular and neurodegenerative diseases, and cancer.*

## RESUMO

*Esta estudo mostra o valor nutricional e impacto sobre a saúde humana no consumo de curuba longa (*Passiflora mollissima* Bailey), com base nas características nutricionais e antioxidante. Pertence à família de passifloraceae, é uma planta nativa da região andina da América. Esta planta na Colômbia é cultivada principalmente no leste e cadeias de montanhas ocidentais. O fruto é uma fonte de vitaminas A, C e riboflavina, contendo potássio, fósforo, magnésio, sódio, cloro, ferro, fornece quantidades moderadas de hidratos de carbono e calorías O conteúdo de fenóis, flavonóides e carotenóides conferem a capacidade de eliminar os radicais livres que provocam o stress oxidativo, que está relacionada com a origem e o desenvolvimento de doenças cardiovasculares e neurodegenerativas e câncer.*

## INTRODUCCIÓN

Colombia es un país tropical megadiverso por su importante variedad de plantas, entre ellas las pasifloráceas; una familia de plantas que comprende 630 especies, incluidas en doce a 18 géneros, distribuidas desde el nivel del mar hasta los 3.800 m.s.n.m. [1]. Son plantas de tipo lianas que trepan mediante zarcillos y son muy llamativas por su potencial económico y ornamental, este último debido a la forma de sus hojas y atractivo de sus flores [1].

Un total de 42 especies de pasifloras en Colombia producen frutos comestibles, nueve son comercializados en mercados locales, nacionales o internacionales [2], De estas, tres han adquirido importancia económica para Colombia, por su exportación: la gulupa (*Passiflora edulis* Sims var. *edulis*), el maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) y la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) apreciadas por tener alto impacto en el sector productivo, siendo apetecidas también para comercialización nacional [3].

Otra pasiflorácea colombiana es la curuba larga (*Passiflora mollissima* Bailey), cuyo fruto clasificado para consumo humano por la Norma Técnica Colombiana (NTC) 1262 ha contribuido a su ingesta principalmente en fresco, jugos, sorbetes en leche y mermeladas caseras [4, 5]. Sin embargo, de acuerdo a la ENSIN 2005 no corresponde a una de las frutas de mayor

## PALABRAS CLAVE:

Vitaminas, Minerales, Polifenoles, Capacidad antioxidante.

## KEY WORDS:

Vitamins, Minerals, Polyphenols, Antioxidant capacity.

## PALAVRAS-CHAVE:

Vitaminas, Minerais, Polifenóis, Capacidade antioxidante.

consumo de la población colombiana de dos a 60 años de edad [6].

Esta revisión presenta evidencia sobre la importancia nutricional y el impacto para la salud humana que puede tener el mayor consumo de esta fruta, con base en la descripción del contenido de nutrientes y no-nutrientes, así como su propiedad antioxidante. Es una fruta que tiene cantidades moderadas de carbohidratos, pero considerables micronutrientes tales como vitaminas C, A y riboflavina; minerales como el potasio, fósforo, magnesio, sodio, cloro, hierro [5–11]; y compuestos fenólicos secundarios como flavonoides, así como también carotenoides [4, 12–14]. Adicionalmente, una importante actividad antioxidante evaluada *in vitro* con base a su capacidad para neutralizar radical peróxido (ORAC – *oxygen radical absorbance capacity*), reducir hierro (FRAP – *ferric reducing antioxidant power*) y neutralizar radicales orgánicos (DPPH - 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil) [4, 15, 16], propiedad que podría contribuir a reducir el daño celular causado por el estrés oxidativo relacionado con enfermedades crónicas no-transmisibles.

### CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO Y DEL FRUTO

El conocimiento de las características edafoclimáticas del cultivo de esta planta contribuye a la comprensión en los cambios en la producción, así como en sus características nutricionales y potenciales beneficios para la salud. Las condiciones del cultivo pueden alterar el contenido de minerales en la fruta y el metabolismo de macronutrientes, también de fito constituyentes, entre ellos los que confieran capacidad antioxidante a la fruta y productos derivados.

La curuba larga es originaria de la zona andina del continente americano (Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia). Es una planta pubescente, tiene tallos cilíndricos, hojas aserradas trilobuladas pubescentes, tanto por el haz como por el envés. Al madurar el fruto es oblongo, de color amarillo pálido, la pulpa está conformada por mucilago color naranja que envuelve las numerosas semillas, corresponde al 60% del peso del fruto. Presenta cáscara medianamente gruesa. [5, 7].

En Colombia el área sembrada de esta planta es 1.824 Hectáreas (Ha), localizándose en las tres cordilleras, principalmente en las cordilleras oriental y central; se destacan por su área sembrada los departamentos de Boyacá con 1.122 Ha y Cundinamarca con 110 Ha.

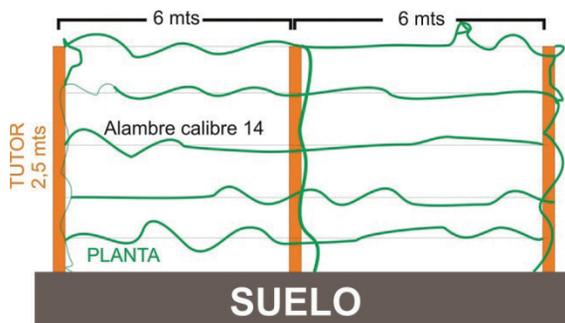
[17]. En estas zonas se han registrado cultivos desde los años cincuenta, para la venta comercial [18].

La planta de la curuba crece a una altitud entre 1.800 y 2.500 msnm, requiere una temperatura entre 13 y 16°C con una humedad relativa de 70 a 75%. La alta radiación solar aumenta el potencial de rendimiento, la coloración y los grados Brix del fruto sin embargo, induce el riesgo de “golpe de sol” [5, 19].

El proceso de cultivo requiere una preparación del terreno con una antelación de dos meses, realizando hoyos de 50x50cm entre hileras de 2,5 m, con una separación entre ellos de 6,5 m, en donde se aplicarán 2 Kg de materia orgánica, 1 Kg cal y nematicidas; iniciando el proceso de meteorización, el cual consiste en lograr que las paredes del hoyo se tarjen, permitiendo que las raíces se desplacen por las fisuras [20]. Las semillas más grandes se obtienen del centro del fruto de plantas sanas y productivas [8, 21]. Estas semillas, se reservan 3 días luego de los cuales se separa del mucilago, para ello hay dos métodos: i) se lava con ceniza o ii) se licua durante 3 segundos (la licuadora debe tener las cuchillas cubiertas con cinta) [20]. Las semillas secas e higienizadas se utilizan en semilleros, para ello se utiliza un metro cuadrado de tierra, con igual proporción de materia orgánica, tierra fértil y arena; se utiliza formol al 10% o agua caliente para desinfectar la mezcla; el semillero se cubre con un plástico durante un día, removiendo al día siguiente toda la tierra y regando las semillas que se cubren nuevamente con el plástico para proteger las semillas del viento y la lluvia [20, 21]. El brote aparece a las 4 semanas de la siembra y al tener 3 hojas se hace un vivero, colocando los brotes en bolsas plásticas con tierra abonada [22]. A la semana 10 o 14 se traslada la planta al campo con un tutor, este tutor mide 2,5 m y se une a otros tutores con alambre de calibre catorce, que se separan uno de otro 50 cm. A medida que crecen las plantas, se deben realizar podas, para garantizar que solo queden 5 tallos secundarios hacia la derecha y a la izquierda, que serán guiados por los alambres [20] (figura 1).

El fruto es catalogado en dos clases de primera y de segunda; ésta clasificación se evalúa según su tamaño así: fruto de primera con un peso de 70 g y de segunda con un peso variable entre 40 y 70 g o según su calidad, se tolera un 10% de inconsistencias para la primera clase y un 20% para la de segunda clase, considerando los siguientes parámetros: i) Debe ser de la misma variedad, de tamaño uniforme, consistente al tacto, fresca y limpia. ii) Debe presentarse entera,

Figura 1. Esquema tutorado de la planta [10].



con el aspecto, forma y color típicos de la variedad. iii) Debe tener el grado de madurez que permita la conservación adecuada del producto en condiciones normales de manipulación, almacenamiento y transporte. iv) Debe encontrarse libre de daños por ataque de insectos, enfermedades, magulladuras, podredumbres, cicatrices y cortaduras [23].

### Características nutricionales

Nuestro grupo de investigación recientemente realizó el análisis de los macronutrientes del fruto de la curuba larga del municipio de Sonsón (Antioquia) obteniendo: humedad 77,93% (método de la Guía Técnica Colombiana 1.14), cenizas 0,55% (método directo - AOAC 923.03), nitrógeno total 0,06% y proteína total (coeficiente 6,25) 0,36% (método Microkjeldhal - AOAC 954.01), carbohidratos totales 21,13% y calorías 86,26 Kcal/100 g; los dos últimos calculados a partir de los componentes. Sin embargo, estos datos varían respecto a los publicados previamente por otros autores [5, 8, 9, 11]: humedad 92%, cenizas 0,7%, nitrógeno total 0,096% proteína total 0,6%, carbohidratos totales 6,3% y calorías 25 cal; estas diferencias pueden ser debido a que proceden de una curuba larga del altiplano cundiboyacense. En reportes del mismo fruto pero procedente de la zona andina del Perú se ha encontrado porcentajes de humedad 93%, proteína 0,85%, fibra bruta 0,30%, cenizas 0,25%, grasas 0,10% y carbohidratos 5,50% [24]; las diferencias climáticas y ambientales así como cambios en el contenido de nutrientes del terreno y la influencia de la luz solar por las diferencias geográficas pueden influir en el contenido de estos componentes.

A pesar de las variaciones en el contenido de macronutrientes en la curuba larga, se destaca una alta cantidad de humedad y moderadas calorías y carbohidratos, lo que la hace una fruta apta para personas que desean

reducir de peso, deben llevar dietas hipoglúcidas o presentan intolerancia a los carbohidratos. Por su parte el contenido de proteínas, grasa y nitrógeno es bajo, lo que es acorde al contenido nutricional de las frutas.

En lo referente al contenido de vitaminas, [5,8,9,11] se reportan: vitamina A 1700 U.I., riboflavina 0,03 mg, niacina 2,5 mg, ácido ascórbico 70,0 VH.C mg; y tomando en cuenta un tamaño de porción de 100 g de parte comestible, la resolución colombiana número 333 [25], cataloga a la curuba larga como fuente de riboflavina, vitamina C y vitamina A, con un aporte del 10%, 33% y 35% de las necesidades de estas vitaminas respectivamente. Con respecto al contenido de ácido ascórbico otros autores han reportado valores de: 40,5 mg/100 g de porción comestible de ácido ascórbico [26], que clasifica a la curuba larga como rica en ácido ascórbico, contribuyendo a la recomendación diaria para hombres en 45% y en 54% para mujeres, por su parte Contreras Calderón [27] reportan 61,5 mg/100 g de peso fresco de ácido ascórbico considerando este valor más bajo que el de otras frutas analizadas.

En cuanto al contenido de minerales, es sabido que las frutas proveen la mayoría de los aportes en la dieta, varios autores [5,8,9,11], reportan un contenido de Ca de 4 mg, P de 2 mg, Fe de 0,4 mg por cada 100 g de porción comestible de curuba larga. Por su parte Letorme [28] reporta en esta fruta Ca de 37 mg, P de 14 mg, K de 337 mg, Mg de 14 mg, Na de 4 mg, Cl de 26 mg y S de 12 mg todos por cada 100 g de porción comestible. Las variaciones en el contenido de minerales puede atribuirse a diferencias en las condiciones del cultivo, así como a la fertilidad del suelo, el pH, la fuente de agua, las variaciones climáticas y estacionales [29, 30, 31].

Las frutas y hortalizas son una rica fuente de carotenoides que proporcionan beneficios para la salud debido a que disminuyen el riesgo de varias enfermedades, en particular, ciertos tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares y oculares, lo cual está reconocido por una extensa observación epidemiológica; los carotenoides que han sido más estudiados en este sentido son  $\beta$ -caroteno, licopeno, luteína y zeaxantina [32]. Los carotenoides son muy importantes ya que representan una fuente de provitamina A (1 equivalente de retinol = 1  $\mu$ g de retinol = 6  $\mu$ g de  $\beta$ -caroteno), no son tóxicos, presentan dentro de la célula actividad antioxidante, participan en la desactivación de radicales libres, producidos en el metabolismo celular [24].

Respecto a la curuba larga (*Passiflora mollissima*) de origen colombiano (Sonsón – Antioquia) estudiada aquí, se encontraron 16,90 mg de  $\beta$ -caroteno/100 g de porción comestible fresca es decir 118,75 mg  $\beta$ -caroteno/100 g de porción comestible seca. Un informe de *Passiflora mollissima* de los valles interandinos del Perú reporta un contenido inferior a la nuestra de  $\beta$ -caroteno de 2,53 mg/100g [24].

### Fitoconstituyentes

Las plantas producen polifenoles como metabolitos secundarios que participan en diversos procesos, como el crecimiento, la lignificación, la pigmentación, la polinización, la resistencia frente a patógenos, depredadores, y las tensiones ambientales [33]. Estos compuestos son en gran medida responsables de las propiedades del color, la astringencia y el flavor (sabor y aroma) de los vegetales [34]. El consumo fresco de curuba larga en Colombia se considera bajo por presentar astringencia, lo cual se deriva del contenido de fenoles oligoméricos (2,45%) [12]. Para corregir la astringencia de esta fruta generalmente se preparan sorbetes con leche [35].

Los compuestos fenólicos presentes en las plantas comparten un camino biosintético común y tienen propiedades fisicoquímicas similares, puesto que tienen en su estructura uno o más anillos aromáticos con al menos un sustituyente hidroxilo; esta estructura química es propicia para secuestrar radicales libres, debido a la facilidad con la que el átomo de hidrógeno desde el grupo hidroxilo aromático puede ser donado a la especie radical, y a la estabilidad de la estructura quinona resultante que soporta un electrón desapareado; produciendo actividades biológicas que difieren mucho entre los diversos tipos de polifenoles [33, 34, 36]. Estos compuestos poseen efectos sobre la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles y neurodegenerativas, como el cáncer, la diabetes, la arteriosclerosis y otras enfermedades cardiovasculares [36].

Para determinar el contenido de fenoles totales se utiliza frecuentemente el método Folin Ciocalteu, en el que los resultados son expresados como mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) por 100 g de peso fresco o seco; en el caso de la curuba larga colombiana aquí estudiada, se halló un valor de  $4.690,10 \pm 28,24$  mg ácido gálico (GAE)/100 g de porción comestible fresca ó  $125,31 \pm 0,70$  ácido gálico (GAE) /100 g de porción comestible seca, valor que es inferior al reportado por Contreras [27]  $635 \pm 2,71$  mg GAE/100 g de peso fres-

co y por Rojano [4] quien reportó un valor de  $5.012,8 \pm 68,2$  mg de ácido gálico (GAE)/100 g de pulpa seca para *Passiflora mollissima* colombiana, aunque estos dos autores no precisan el lugar de producción de la curuba larga analizada. Vasco [15], reportó un valor de  $1010 \pm 198$  mg GAE/100 g de peso fresco de la muestra, de frutos procedentes de Ecuador.

Un grupo de compuestos fenólicos de importancia biológica encontrado en los vegetales son los flavonoides, estas sustancias están asociadas a efectos benéficos para la salud debido a sus propiedades antioxidantes, así como a su actividad biológica como antiinflamatorios, antivirales y antibacteriales [36, 37].

Los principales flavonoides incluyen a las antonocianinas presentes en grandes cantidades en bayas tales como los arándanos, flavonoles presentes en frutos, vegetales y flores, flavonas en perejil y tomillo, flavanonas en citrus, isoflavonas en soya y flavonoles mono y poliméricos tales como las catequinas en té, proantocianidinas de las bayas, el vino y el chocolate [38]. En las pasifloras los flavonoides más frecuentes son los c-glicosil flavonoides, encontrándose con mayor frecuencia orientina, isoorientina, vitexina e isovitexina, concordando con los reportes de Zucolotto [39], quien encontró en las hojas y el pericarpio de la curuba larga gran diversidad de flavonoides; identificándose en las hojas principalmente isovitexina, orientina, vitexina, 4-metoxiluteolina –8 –c6– acetilglucopiranosido, isoorientina, isovitexina, swertisina y vicenina; mientras en el pericarpio se encontró presencia de isoorientina, orientina e isovitexina.

Para determinar los flavonoides totales de la curuba larga se construyó una curva patrón usando como estándar (+)-catequina, los resultados se expresaron como mg de catequina/100 g de pulpa seca, las lecturas se realizaron a una longitud de onda de 510 nanómetros (nm) siguiendo el método propuesto por Debnath [40]. La curuba larga Sonsón presentó un valor de  $1.907,59 \pm 16,88$  mg catequina/100 g de pulpa seca; contenido mayor al reportado por Rojano [4] de  $1.203,4 \pm 24,5$  mg catequina/100 g de pulpa seca, también hallado en fruta de origen colombiano; Rojano también reporta que la fracción fenólica de la curuba larga estudiada está conformada por  $16,1 \pm 0,2$  mg ácido ferúlico,  $9,7 \pm 0,3$  mg de ácido cafeico y  $4,0 \pm 0,1$  mg ácido cumárico todos reportados por cada 100 g de pulpa seca, pudiendo inferirse la presencia de estos fenoles en la curuba estudiada en nuestra investigación.

Las diferencias reportadas en el contenido de fenoles totales, flavonoides totales y nutrientes de la curuba larga analizada en los diferentes estudios presentados aquí, podrían ser el resultado de diferentes características edafoclimáticas según el origen geográfico, el cultivo, la cosecha, tiempo de almacenamiento y secado [41]. Además, Naczk y Shahidi [42] señalan que la recuperación de los polifenoles de material vegetal, está influenciada por la solubilidad de los compuestos fenólicos en el solvente utilizado para el proceso de extracción; de igual manera, la polaridad del solvente juega un papel importante en el aumento de la solubilidad del mismo.

Otros compuestos hallados en la curuba larga, son reportados por autores como Dembitsky [13], quien mostró que la *Passiflora mollissima* tiene 21 compuestos volátiles, el 39,9% de éstos corresponde a ésteres de etilo; en el aroma de esta fruta se pudieron identificar 22 compuestos volátiles correspondiendo los picos más altos a (Z)- $\beta$ -ocimeno (56,6%), hexil butanoato (16,18%), hexil hexanoato (13,9%) y hexanol (3,1%); además, compuestos como el butil acetato, butano-1-ol,  $\beta$ -mirceno, eucaliptol, (E)- $\beta$ -ocimeno, 3-careno, 3-metilhexil butanoato y hexil-2-butanoato son compuestos exclusivos de esta planta y no se han encontrado en otras pasifloras en las mismas condiciones. Por otro lado Dhawan [14] reporta que ésta planta contiene pasiflorina y entre sus compuestos volátiles se encuentran: 30 alcanos, alquenos, aromáticos e hidrocarburos del terpeno, 4 aldehídos, 11 quetonas, 36 alcoholes, 4 lactonas, 5 ácidos grasos y 47 ésteres.

### Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de las frutas está relacionada estrechamente con su contenido de fenoles, polifenoles, flavonoides, carotenoides. Los compuestos fenólicos, especialmente los flavonoides [43], muestran una gran capacidad para captar radicales libres causantes del estrés oxidativo [44-48]. El daño oxidativo se relaciona con el origen y desarrollo de ciertas enfermedades multifactoriales de carácter crónico, como la oxidación de las LDL y la enfermedad cardiovascular, el daño oxidativo al ADN, el cáncer y la oxidación de las proteínas de las lentes oculares y la alteración de la visión [34, 49-54].

Existen diversos métodos para evaluar la actividad antioxidante [55]. Una de las estrategias más aplicadas en las medidas *in vitro* de la capacidad antioxidante total de un alimento, consiste en determinar la activi-

dad del antioxidante frente a sustancias cromógenas de naturaleza radical; la pérdida de color ocurre de forma proporcional con la concentración [56]; estas determinaciones dan tan sólo una idea aproximada de lo que ocurre en situaciones complejas *in vivo* donde el microambiente en que se encuentra el alimento y la interacción de sus compuestos puede producir efectos sinérgicos o inhibitorios [57].

Los métodos utilizados para medir la capacidad antioxidante de la curuba larga aplicadas en este trabajo, fueron DPPH, ORAC y FRAP. Los valores obtenidos fueron: DPPH  $60.843,11 \pm 572 \mu\text{mol trolox equivalente TEAC}/100 \text{ g fruta seca}$ ; FRAP:  $8.520,31 \pm 156,36 \text{ mg de ácido ascórbico equivalente}/100 \text{ g fruta (base seca)}$ ; ORAC-Hidrofílico  $20.754,91 \pm 192,40 \text{ TEAC (umol Trolox)/100 g de pulpa seco}$  y ORAC-Lipofílico  $207,6889 \pm 14,10 \text{ (umol Trolox)/100 g de pulpa seco}$ .

Otros autores reportaron los siguientes valores: FRAP  $114 \pm 3,28 \mu\text{mol de trolox}/100 \text{ g de muestra húmeda (parte comestible) de curuba colombiana}$  [27]; FRAP  $4.127,346 \pm 108,62 \text{ mg ácido ascórbico}/100 \text{ g de muestra (base seca)}$  mayor al de las 15 frutas colombianas medidas [16], valores ORAC hidrofílico y lipofílico de  $108.061,8$  y  $103,1 \text{ mmol de Trolox}/100 \text{ g de pulpa seca}$ , respectivamente [4], un valor DPPH de  $70 \pm 4 \mu\text{mol de trolox}/100 \text{ g de muestra húmeda}$ , encontrándose entre los valores más altos de todas las frutas ecuatorianas estudiadas [15]. Como se observa los valores no son comparables por la sustancia utilizada como referencia o por la base en la que se encuentra la muestra, sin embargo, cada autor reportó que la medición hecha a la curuba larga (*Passiflora mollissima*) en los distintos métodos mencionados fue la más alta en comparación a la de las otras frutas utilizadas en sus ensayos, lo que da cuenta de que la capacidad antioxidante de la curuba larga medida por diferentes métodos es considerablemente importante.

### CONCLUSIÓN

La curuba larga de Colombia es una fruta de la cual hasta el presente se ha descrito el contenido de importantes micronutrientes (vitaminas A, C y riboflavina) y minerales para el consumo humano, así como también su potencial propiedad antioxidante atribuida a la presencia de fenoles y flavonoides. Sin embargo, no se tienen estudios sobre los aportes del consumo regular de esta fruta a la población humana en fresco, jugos, sorbetes en leche y mermeladas caseras, como

tradicionalmente se consume. Por otra parte, aunque aun es un fruto con explotación artesanal por su valor nutricional y antioxidante, tiene gran potencial agroindustrial que podría constituirse en una fuente futura de ingresos para su cadena productiva.

## REFERENCIAS

- [1] HERNÁNDEZ, A. y BERNAL, R. Lista de Especies de Passifloraceae de Colombia. *Biota Colombiana*, 1(3), 2000, p. 320-335.
- [2] OCAMPO, J., D'ECKENBRUGGE, G.C., RESTREPO, M., JARVIS, A., SALAZAR, M. and CAETANO, C. Diversity of Colombian Passifloraceae: biogeography and an updated list for conservation. *Biota Colombiana*, 8(1), 2007, p. 1-45.
- [3] ESPINAL, C.F., MARTÍNEZ, H.J. y PEÑA, Y. La cadena de los frutales de exportación en Colombia: Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005 [En línea] Disponible en: <http://www.asohofrucol.com.co> [Citado 20-10-2013].
- [4] ROJANO, B.A., ZAPATA, K. y CORTES, F.B. Capacidad atraparadora de radicales libres de *Passiflora mollissima* (Kunth) L.H. Bailey (curuba). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 17(4), 2012, p. 408-419.
- [5] OJASILD, E.L. Elaboración de néctares de gulupa (*Passiflora edulis f. edulis*) y curuba (*Passiflora mollissima*) [Tesis especialización en Ciencia y Tecnología de Alimentos]. Bogotá (Colombia): Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, Facultad de Ciencias, 2009, 34 p.
- [6] INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR. Encuesta Nacional de la Situación Nutricional de Colombia (ENSIN) 2005. Bogotá (Colombia): Panamericana Firms e Impresos S.A., 2006, 466 p.
- [7] INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). Manejo integrado del cultivo de la curuba (*Passiflora tripartita var mollissima* Holm Nielsen & Jorgensen). Bogotá (Colombia): Boletín técnico de sanidad vegetal 51, 2006, 65 p.
- [8] REINA, C., BAUTISTA, P. y SÁNCHEZ, R. Manejo postcosecha y evaluación de la calidad de la curuba (*Passiflora mollissima*) que se comercializa en la ciudad de Neiva [Tesis Ingeniería Agrícola]. Neiva (Colombia): Universidad Surcolombiana, Facultad de Ingeniería, 1995, 145 p.
- [9] GONZÁLEZ, E. y BAUTISTA, P. El cultivo de la curuba. *FONAIAP Divulga*, 59(1), 1998.
- [10] OTERO L. El cultivo de la curuba. *Revista Esso Agrícola*, 61, 1988, p. 11-17.
- [11] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO) [En línea]. 2006. Fichas técnicas productos frescos y procesados: *Passiflora mollissima* (Curuba) Disponible en: [http://www.fao.org/inpho\\_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/pfrescos/curuba.htm](http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/pfrescos/curuba.htm) [Citado 12-03-2013].
- [12] MEDINA, C.I., LOBO, M. y CORREA R.D. Caracterización morfológica y química de pasifloras andinas como apoyo al desarrollo de estas especies. *Manizales (Colombia): Memorias 3er Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado*, 2000, p. 13-18.
- [13] DEMBITSKY, V., POOVARODOM, S., LEONTOWICZ, H., LEONTOWICZ, M., VEARASILP, S., TRAKHTENBERG, S. and GORINSTEIN, S. The multiple nutrition properties of some exotic fruits: Biological activity and active metabolites. *Food research international*, 44(3), 2011, p. 1671-1701.
- [14] DHAWAN, K., DHAWAN, S. and SHARMA, A. *Passiflora*: a review update. *Journal of ethnopharmacology*, 94(2), 2004, p. 1-23.
- [15] VASCO, C., RUALES, J. and AFAF, K.E. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chemistry*, 111(4), 2008, p. 816-823.
- [16] BOTERO, M.L., RICAURTE, S.C., MONSALVE, C.E. y ROJANO, B.A. Capacidad reductora de 15 frutas tropicales. *Scientia Et Technica*, 13(33), 2007, p. 295-296.
- [17] TAFUR, R. Propiedades frutícolas para Colombia y su impacto en la actividad económica nacional, regional y departamental. Bogotá (Colombia): Memorias I Congreso Colombiano de Horticultura, 2006, p. 47-66.
- [18] TÉLLEZ, C., FISCHER, G. y QUINTERO, C. Comportamiento fisiológico y fisicoquímico de frutos de curuba (*Passiflora mollissima* Baley) encerrados y almacenados a dos temperaturas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1(1), 2007, p. 67-80.
- [19] MIRANDA, D., FISCHER, G., CARRANZA, C., MAGNITSKIY, S., CASIERRA, F., PIEDRAHITA, W. y FLÓREZ, L.E. Cultivo, pos cosecha y comercialización de las Pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba. Bogotá (Colombia): Sociedad colombiana de ciencias hortícolas, 2009, 345 p.
- [20] MURILLO, J.R. Comunicación personal.

- [21] CAMPOS, T.J. La curuba: su cultivo. Bogotá (Colombia): Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA, Editora Guadalupe Ltda, 2001, 87 p.
- [22] CAMPOS, T.J. El cultivo de la curuba *Passiflora mollissima* (H.B.K) Bailey en Colombia. Acta de Horticultura, 310, 1992, p. 215-229.
- [23] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS (ICONTEC). Norma Técnica Colombiana NTC 1262. Curuba Larga, *Passiflora mollissima* Bailey. Bogotá (Colombia): 2001, 5 p.
- [24] LEON, C.Z. Determinación de vitamina C y carotenoides totales en el tumbo serrano (*Passiflora mollissima*) [Tesis Ingeniería Química]. Callao (Perú): Universidad Nacional del Callao, Facultad de ingeniería química, 2012, 52 p.
- [25] COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL. Resolución 333: reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado nutricional que deben cumplir los alimentos envasados para consumo humano. Bogotá (Colombia): 2011, 56 p.
- [26] VALENTE, A., GONÇALVES, T., SANCHES-SILVA, A. and COSTA, H.S. Ascorbic acid content in exotic fruits: a contribution to produce quality data for food composition databases. Food research international. 44(2), 2011, p. 2237–2242.
- [27] CONTRERAS, J., CALDERÓN, L., GUERRA, E. and GARCÍA, B. Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. Food research international, 44(11), 2011, p. 2047–2053.
- [28] LETERME, P., BULDGEN, A., ESTRADA, F. and LONDOÑO, A.M. Mineral content of tropical fruits and unconventional foods of the Andes and the rain forest of Colombia. Food Chemistry, 95(2), 2006, p. 644–652.
- [29] ALFAIA, S., RIBEIRO, G., NOBRE, A., LUIZÃO, R. and LUIZÃO, F. Evaluation of soil fertility in smallholder agroforestry systems and pastures in western Amazonia. Agriculture, Ecosystems and Environment, 102, 2003, p. 409–414.
- [30] HOFMAN, P., VUTHAPANICH, S., WHILEY, A., KLIEBER, A. and SIMONS, D. Tree yield and fruit mineral concentrations influence Hass avocado fruit quality. Scientia Horticulturae, 92, 2002, p.113–123.
- [31] UNDERWOOD, E. and SCHUTTLE, N. Mineral nutrition of livestock. Wallingford (England): CAB International, 1999.
- [32] VITALE, A.A., BERNATENE, E.A. y POMILIO, A.B. Carotenoides en quimio-prevención: Licopeno. Bioquímica clínica latinoamericana, 44(2), 2010, p. 195-238.
- [33] FRAGA, C.G., GALLEANO, M., VERSTRAETEN, S. and OTEIZA, P. Basic biochemical mechanisms behind the health benefits of polyphenols. Molecular Aspects of Medicine, 31(12), 2010, p. 435–445.
- [34] FERNÁNDEZ, M.S., VILLAÑO, D., TRONCOSO, A.M. y GARCÍA, M.C. Revisión de los métodos de evaluación de la actividad antioxidante in vitro del vino y valoración de sus efectos in vivo. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 56(2), 2006, p.110-122.
- [35] MEDINA C.I. y LOBO M. Conocimiento de la variabilidad morfológica y química de pasifloras andinas (*Passifloraceae*). Bogotá (Colombia): Memorias del VIII Congreso venezolano de fruticultura 2004, II Reunión venezolana sobre investigación y producción de pasifloras, 2004, 5 p.
- [36] GRANADO, A.B. Estudios de los mecanismos de acción molecular de polifenoles de la dieta en cultivos celulares y animales de experimentación [Tesis doctoral Bioquímica y biología molecular]. Madrid (España): Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Biológicas, 2010, 178 p.
- [37] MIDDLETON, E.J.R., KANDASWAMI, C. and THEOHARIDESL, T. The effects of plant flavonoids on mammalian cells: Implications for inflammation, heart disease and cancer. Pharmacological Reviews, 52(4), 2000, p. 651-673.
- [38] KNEKT, P., JARVINEN, R., REUNANEN, A. and MAATELA, J. Flavonoid intake and coronary mortality in Finland: a cohort study. BMJ, 312(7029), 1996, p. 478- 481.
- [39] ZUCOLOTTI, S.M., FAGUNDES, C., REGINATTO, F.H., RAMOS, F.A., CASTELLANOS, L., DUQUE, C. and SCHENKEL, E.P. Analysis of C-glycosyl flavonoids from South American *Passiflora* species by HPLC-DAD and HPLC-MS. Phytochemical Analysis, 23(3), 2012, p. 232-239.
- [40] DEBNATH, T., PARK, P., DEBNATH, N., SAMAD, N.B., PARK, H.W. and LIM, B.O. Antioxidant activity of *Gardenia jasminoides* Ellis fruit extracts. Food Chemistry, 128(3), 2011, p. 697-703.
- [41] BABBAR, N., OBEROI, H.S., UPPAL, D.S. and PATIL, R.T. Total phenolic content and antioxidant capacity of extracts obtained from six important fruit residues. Food research international, 44(1), 2011, p. 391-396.
- [42] NACZK, M. and SHAHIDI, F. Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 41(5), 2006, p. 1523 -1542.

- [43] HEIM, K.E., TAGLIAFERRO, A.R. and, BOBILYA, D.J. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 13(10), 2002, p. 572-584.
- [44] ISHIGE, K., SCHUBERT, D. and SAGARA, Y. Flavonoids protect neuronal cells from oxidative stress by three distinct mechanisms. *Free Radical Biology and Medicine*, 30(4), 2001, p. 433-446.
- [45] KATSUBE, N., KEIKO, I., TSUSHIDA, T., YAMAKI, K. and KOBOR, I.M. Induction of apoptosis in cancer cells by bilberry (*Vaccinium myrtillus*) and the anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(1), 2003, p. 68-75.
- [46] LAPIDOT, T., HAREL, S., AKIRI, B., GRANIT, R. and KANNER, J. pH-Dependent forms of red wine anthocyanins as antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 1999, p. 67-70.
- [47] SCHRAMM, D.D. and GERMAN, J.B. Potential effects of flavonoids on the etiology of vascular disease. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 9(10), 1998, p. 560-566.
- [48] TSUDA, T., WATANABE, M., OHSHIMA, K., INOBU, S., CHOI, S.W., KAWAKISHI, S. and OSAWA, T. Antioxidative activity of the anthocyanin pigments cyanindin 3-O- $\beta$ -D glucoside and cyanidin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 1994, p. 2407-2410.
- [49] QUIÑONES, M., MIGUEL, M. y ALEIXANDRE, A. Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 27(1), 2012, p. 76-89.
- [50] DEL RIO, D., COSTA, L.G, MAGRA, M.E.J. and CROZIER, A. Polyphenols and health: What compounds are involved?. *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases*, 20(1), 2010, p. 1-6.
- [51] STOCLET, J.C., CHATAIGNEAU, T., NDIAYE, M., ROBLE, M.H., EL BEDOUI, J., CHATAIGNEAU, M. and SCHINIKERTH, V.B. Vascular protection by dietary polyphenols. *European Journal of Pharmacology*, 500(1-3), 2004, p. 299– 313.
- [52] MEDINA, A., ZAMORA, R., ROTCHÉS, M., LACUEVA, C., MARTÍNEZ, M.A., COVAS, M.I., CORELLA, D., SALAS, J., GÓMEZ, E., RUIZ, V., GARCÍA, F.J., FIOL, M., PENA, M.A., SAEZ, G.T., ROS, E., SERRA, L., PINTO, X., WARNBERG, J., ESTRUCH, R. and LAMUELA, R.M. Total polyphenol excretion and blood pressure in subjects at high cardiovascular risk. *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases*, 21(5), 2011, p. 323-331.
- [53] MITJAVILA, M.T. and MORENO, J.J. The effects of polyphenols on oxidative stress and the arachidonic acid cascade. Implications for the prevention/treatment of high prevalence diseases. *Biochemical Pharmacology*, 84(9), 2012, p. 1113–1122.
- [54] QUIÑONES, M., MIGUEL, M. and AMAYA A. Beneficial effects of polyphenols on cardiovascular disease. *Pharmacological Research*, 68(1), 2013, p. 125–131.
- [55] ROBARDS, K., PRENZLER, P.D., TUCKER, G., SWATSITANG, P. and GLOVER W. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chemistry*, 66(4), 1999, p. 401-436.
- [56] ARENA, E., FALLICO, B. and MACCARONE, E. Evaluation of antioxidant capacity of blood orange juices as influenced by constituents, concentration process and storage. *Food Chemistry*, 74(4), 2001, p. 423-427.
- [57] KUSKOSKI, M.E., ASUERO, A.G., TRONCOSO, A.M., MANCINI-FILHO, J. and FETT, R. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciência e Tecnologia Alimentaria, Campinas*, 25(4), 2005, p. 726-732.

# AGRICULTURA SOSTENIBLE EN ECOSISTEMAS DE ALTA MONTAÑA

## SUSTAINABLE AGRICULTURE IN HIGH MOUNTAIN ECOSYSTEMS

## AGRICULTURA SUSTENTÁVEL NO ECOSISTEMAS DE ALTA MONTANHA

DIANA MARCELA RUIZ O.<sup>1</sup>, JUAN PABLO MARTINEZ I.<sup>2</sup>, APOLINAR FIGUEROA C.<sup>3</sup>.

### RESUMEN

*La agricultura como principal actividad del desarrollo económico rural en Colombia ha sido implementada con diferentes estrategias desde la época precolombina. Los ecosistemas de la alta montaña no han sido ajenos a esta realidad, y particularmente en las zonas de Páramo del Cauca, el intento por favorecer la prevalencia de un modelo altamente productivo e intensivo en el uso del suelo ha conllevado al detrimento de la diversidad socio-ecológica, la rápida expansión de la frontera agropecuaria en áreas estratégicas, la pérdida del conocimiento tradicional sobre el uso de la tierra y el bajo rendimiento de los cultivos que ha implicado mayor incorporación de fertilizantes al suelo amenazando estos sistemas vulnerables en la alta montaña. Sin embargo, es común encontrar en diferentes localidades paramunas caucanas comunidades indígenas y campesinas que reconocen la necesidad de cambiar los sistemas productivos que han venido empleando debido a la disminución de la fertilidad del suelo que limita la comercialización de sus productos y a la problemática ambiental asociada, en este sentido, el acompañamiento institucional en este proceso es vital para favorecer la implementación de procesos sostenibles de forma integral.*

---

**Recibido para evaluación:** 1 de agosto de 2014. **Aprobado para publicación:** 17 de Abril de 2015.

- 1 Universidad del Cauca, Grupo de Estudios Ambientales. Bióloga, Estudiante Doctorado Ciencias Ambientales. Popayán, Colombia
- 2 Universidad del Cauca, Grupo de Estudios Ambientales. Biólogo, Candidato a Doctor en Ciencias Ambientales. Popayán, Colombia
- 3 Universidad del Cauca, Grupo de Estudios Ambientales. Profesor titular, Doctor en Ciencias Ambientales. Popayán, Colombia.

**Correspondencia:** dianamruiz@unicauca.edu.co, dianamarceruiz@gmail.com

## ABSTRACT

*The agriculture as the main activity of rural economic development in Colombia has been implemented with different strategies since pre-Columbian times. The high mountain ecosystems have not been immune to this reality, particularly in the areas of Paramo in the department of Cauca, the attempt to promote an highly productive model with intensive use of soil has led to the detriment of socio-ecological diversity, the rapid expansion of the agricultural frontier in strategic areas, the loss of traditional knowledge on the use of land and low crop yields has resulted in increased incorporation of fertilizer to the ground, threatening these vulnerable systems of the high mountains. However, it is common to find in different locations of Paramo in Cauca indigenous and peasant communities that recognize the need to change production systems that have been employed due to the declining of soil fertility and the limitations on the marketing of their products, in this sense, the institutional support in this process is vital to promote the implementation of sustainable processes using integral strategies.*

## RESUMO

*Da Agricultura como a principal atividade de desenvolvimento econômico rural na Colômbia foi implementado com diferentes estratégias desde o tempos pré-colombianos. Os ecossistemas de alta montanha não ficaram imunes a esta realidade, particularmente em áreas do Paramo do Cauca, a tentativa para promover um modelo altamente produtivo e intensivo no uso da terra levou em detrimento da diversidade socio-ecológica, a rápida expansão da fronteira agrícola em áreas estratégicas, a perda do conhecimento tradicional sobre o uso da terra e as baixas colheitas resultou em aumento da incorporação de fertilizantes para o solo ameaçando esses sistemas vulneráveis nas montanhas. Porém, é comum encontrar em comunidades locais indígenas e camponesas do paramo caucano que reconhecem a necessidade de mudar os sistemas de produção que têm sido utilizados devido ao declínio da fertilidade do solo y as limitações na comercialização dos seus produtos, nesse sentido, o apoio institucional neste processo é vital para promover a implementação de processos sustentáveis de forma abrangente.*

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales factores de transformación del entorno tanto en las sociedades ancestrales como modernas ha sido la agricultura, lo cual demuestra que la relación hombre naturaleza esta mediada por la necesidad de aprovechar los recursos naturales y establecerse territorialmente, situación que abarca ecosistemas estratégicos como los Páramos [1]. En Colombia, la necesidad de incrementar la producción regional ha catalizado la transformación del páramo, convirtiendo algunos de estos ecosistemas en continuos de cultivos, potreros y asentamientos en donde la presión ejercida supera la capacidad de respuesta del sistema [2, 3, 4]. Sin embargo, debe reconocerse la existencia de prácticas sociales que han logrado mantener, en tiempo y espacio, una relación equilibrada con el páramo per-

## PALABRAS CLAVES:

Uso de la Tierra, Cultivos, Páramos, Diversidad socioecológica.

## KEYWORDS:

Land use, Crops, Paramo, Socio-ecological diversity.

## PALAVRAS-CHAVE:

Uso da Terra, Cultivo, Paramo, Diversidade sócio-ecológica.

mitiendo al sistema natural asimilar los impactos de forma resiliente [5].

La intervención humana sobre los páramos, es producto de un devenir histórico que inicia desde la época precolombina, sin embargo, es notoria la intensificación en la implementación de sistemas de producción en el último medio siglo situación que aceleró la degradación de estos ecosistemas [6, 7].

Esta realidad se ha potenciado, porque la implementación de muchas estrategias agrarias en el páramo ha provenido desde la institucionalidad, limitando la interacción con las comunidades y el reconocimiento de los modos de relacionamiento agrícola que poseen con sus entornos, haciendo escasa la interacción entre el saber tradicional y el conocimiento científico para generar alternativas de manejo sostenible en estos biomas [8, 9], situación que ha desencadenado acciones ambientales desarticuladas [10] entrando en conflicto con contextos socioambientalmente heterogéneos como son los páramos del suroccidente del país.

Es por esto que se hace necesaria la reflexión sobre la agricultura sostenible en el Páramo, como referente para mejorar el abordaje de problemáticas como el uso inadecuado de los suelos y la intensificación de actividades agropecuarias que alteran la función socioambiental del ecosistema incidiendo en la calidad de vida de las comunidades y el desarrollo territorial [9, 11, 12].

Como áreas de interés, representando las realidades del macizo en el Cauca, se presentan las subcuencas

del río San Francisco y Río Bedón en el municipio de Puracé, con el fin de analizar en un mismo ecosistema diferentes procesos de gestión, uno orientado a la conservación en el río Bedón y otro hacia la producción en el río San Francisco. Estas áreas son estratégicas para el abastecimiento hídrico regional, y directamente para las comunidades de al menos 5 municipios, sustentando la productividad agrícola en el macizo caucano, destacándose la producción de papa y leche, adicionalmente existe una reserva de la biosfera (Parque Nacional Natural Puracé) cuya significancia ecológica y cultural es elevada.

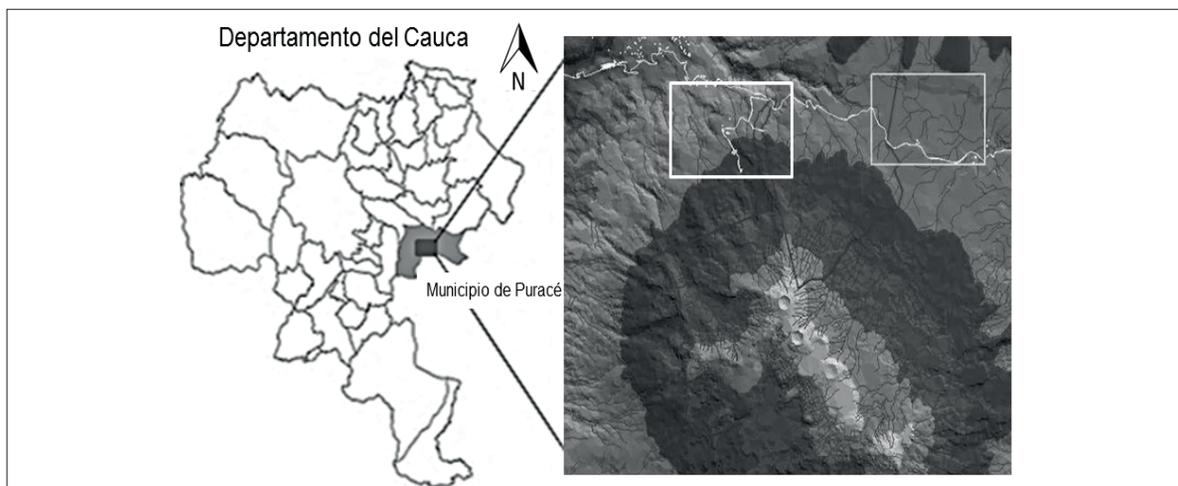
En estas dos zonas contrastantes, es posible encontrar oportunidades para una producción agrícola sostenible, ya que en muchas prácticas realizadas por comunidades tradicionales se tiene en cuenta la capacidad de carga de los suelos, estas alternativas aunadas al conocimiento y la tecnología pueden ser utilizadas para influir positivamente en las formas de vida de las comunidades a través de una agricultura sostenible.

## DESARROLLO DEL TEMA

### Los lugares objeto del análisis

El área de estudio (Figura 1) se encuentra en el macizo Colombiano y corresponde a las subcuencas del río San Francisco y Río Bedón (Puracé-Cauca), zona de traslape entre el PNN Puracé, el cabildo indígena de Puracé y la CRC [13]; es un área que soporta gran parte del desarrollo económico regional del sur de Co-

Figura 1. Área de estudio.



lombia, articulando geográficamente las cuencas altas de los ríos Cauca y Magdalena, e integra el corredor de páramos que se extiende a lo largo de la cordillera central hacia el norte [14]. La diversificación de la malla hidrográfica en la zona obedece a la heterogeneidad del relieve y configuración del sistema montañoso con pendientes fuertes y largas; el relieve quebrado e irregular de origen volcánico, posee suelos de baja fertilidad, alta saturación de aluminio, pedregosidad y alta susceptibilidad a la erosión [15, 16].

El comportamiento climático de la zona es bimodal, con una época seca regularmente en los meses de septiembre a abril y una época de lluvias intermitentes durante el resto del año con precipitaciones entre los 1600 mm y 2500 mm especialmente intensas entre mayo y agosto. La zona tiene pisos térmicos desde templado hasta nival, con cambios en la temperatura y la radiación solar en función de la altitud [1].

### Problemática ambiental de la producción agrícola en Puracé

Los conflictos ambientales más evidentes en las partes altas del municipio de Puracé están asociados al manejo del cultivo de la papa donde se emplean fertilizantes químicos y se empiezan a establecer áreas de monocultivo sin rotación, así mismo a la renovación de pasturas (o limpieza de zonas de cultivo) a través de quemas que derivan en incendios incontrolados que alcanzan áreas con vegetación natural [13, 14, 17],

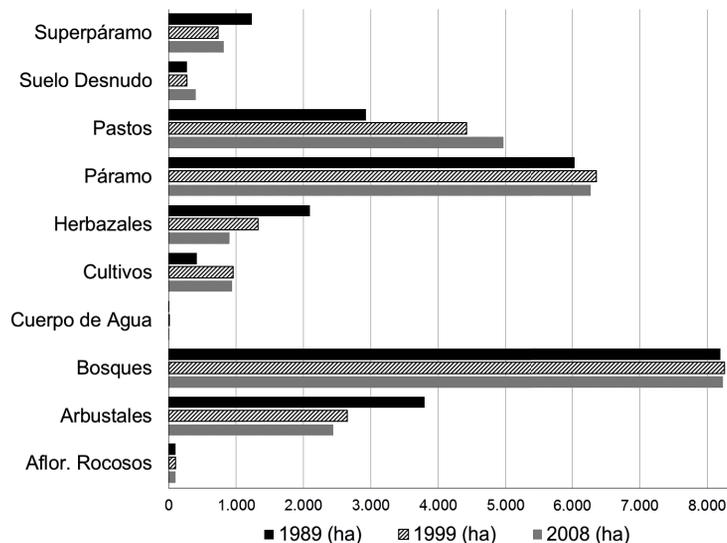
contaminación de fuentes hídricas [18], aumento de procesos erosivos [16, 19] y pérdida de la cobertura vegetal como consecuencia de la expansión e intensificación de la frontera agrícola [20, 21, 22], afectando la capacidad de retención de agua y amenazando la disponibilidad de la misma por las modificaciones en la evapotranspiración y regulación del ciclo hidrológico, del cual depende la interacción equilibrada y sostenible de las comunidades con el entorno.

### Cambios en el uso del terreno y reemplazo de coberturas naturales

En la zona de estudio se observó el cambio en el uso del terreno y reemplazo entre coberturas empleando técnicas de Procesamiento Digital de Imágenes para los años 1989-1999-2008, a continuación se presentan las áreas por tipo de cobertura en las tres temporalidades (Figura 2).

Para el primer periodo (1989-1999) se identificaron relaciones espaciales entre las coberturas a) Arbustales-Cultivos-Pastos en donde las zonas de arbustales, que actúan como barreras de protección para los bosques, se transforman para dar paso a cultivos los cuales después de algunos ciclos productivos son transformadas en áreas para ganadería; una segunda tendencia se observa entre ii) Herbazales y pastos, ya que las zonas abiertas con vegetación natural herbácea se emplean en actividades de pastoreo por las condiciones que estas ofrecen para implementar esta práctica.

Figura 2. Áreas por tipo de cobertura para los años 1989, 1999 y 2008.



Lo anterior, indica una transición gradual de las comunidades naturales hacia zonas productivas [23]; en términos del ciclo de renovación adaptativa [24] este proceso correspondería con el bucle liberación-reorganización, ya que se tiene un aprovechamiento de los recursos naturales que aún no supera la resiliencia del sistema manteniendo su identidad; lo anterior se hace evidente si se observa que las coberturas de bosque se mantienen en la ventana observada. Sin embargo, por la escala de transformación, (poca tecnología/manejo tradicional y de bajos niveles productivos), sería factible redireccionar el modelo productivo para alcanzar un manejo integral para la sostenibilidad de este sistema complejo [25, 26, 27]. El análisis de cambio para el periodo 1999-2008 evidencia el mismo patrón afectando inclusive el páramo.

En el cuadro 1 se realiza una comparación entre las temporalidades 1989 y 2008, apreciando una disminución de arbustales (-137,51%) y un aumento significativo de áreas de cultivos (55,68%); se incrementa el área de páramo (12,56%) aunque exhibe un leve descenso a partir de 1999, la compensación en esta cobertura se debe principalmente a su desplazamiento hacia franjas superiores del superpáramo asociados a procesos de cambio climático [11, 28] y a la ocupación de algunas zonas productivas abandonadas.

En síntesis, los cambios en el uso del suelo para el periodo analizado muestran reducción en áreas de arbustales y Herbazales, así como la expansión de los páramos mediante ascenso altitudinal a zonas de superpáramo.

Alterar las coberturas naturales que coadyuvan en la regulación hídrica del sistema limitan la oferta hídrica

**Cuadro 1.** Cambio porcentual y medio anual por tipo de cobertura y uso identificados (periodo 1989 -2008).

| Cobertura      | % Cambio Cobertura | Cambio medio anual (ha/año) |
|----------------|--------------------|-----------------------------|
| Aflor. Rocosos | -2,01%             | -0,11                       |
| Arbustales     | -137,51%           | -176,66                     |
| Bosques        | 0,38%              | 1,63                        |
| Cuerpo de Agua | -48,22%            | -0,01                       |
| Cultivos       | 55,68%             | 27,48                       |
| Herbazales     | -109,67%           | -57,57                      |
| Páramo         | 3,95%              | 12,56                       |
| Pastos         | 41,08%             | 107,37                      |
| Suelo Desnudo  | 32,77%             | 6,97                        |
| Superpáramo    | -50,37%            | -21,67                      |

de las cuencas [29, 30], y en este sentido, el incremento en cultivos y pastos, implica una mayor demanda de agua para el mantenimiento de zonas productivas compitiendo con la destinación para consumo humano, adicionalmente en las practicas agropecuarias se emplean agroquímicos que se incorporan a los cauces por escorrentía [16].

El cambio de coberturas naturales por antrópicas obedece a una presión en sentido Noroccidente-Suroccidente y norte-sur hacia el territorio protegido en el PNN Puracé, con patrón ascendente, el cual está concentrado en zonas cercanas a la red de drenaje, ejes viales y los centros poblados. La conversión de áreas de arbustales, bosques y páramos por área de cultivos y pastos, implica una mayor demanda de agua para el mantenimiento de zonas productivas compitiendo con la destinación para consumo humano [31, 32].

En estas zonas, durante las cuatro últimas décadas (1970-2010), se han presentado reducciones significativas en el área ocupada por coberturas vegetales naturales de bosques, páramos y humedales. Los estudios ecosistémicos han identificado que el cambio en el uso del terreno, algunas prácticas culturales como la quema y los patrones aleatorios de ocupación agrícola han sido las causas principales del deterioro ambiental [18, 21]; según las proyecciones calculadas al año 2019, se prevé el reemplazo de aproximadamente el 50% de las coberturas naturales, principalmente producto del establecimiento de cultivos y potreros, en las áreas definidas [21, 22].

### La agricultura y la autonomía alimentaria

La autonomía alimentaria es uno de los objetivos de las comunidades de Puracé y procura una relación armónica entre el territorio, los recursos contenidos y su identidad así como el respeto por la cultura local y la cosmología de las comunidades rurales [13, 33]. En este sentido, existen conocimientos valiosos en las técnicas ancestrales de intercambio y producción agrícola en la zona andina de Colombia que forjaron una memoria colectiva en el manejo de los suelos para la producción de alimentos [33, 34, 35].

Sin embargo, producto del devenir histórico desde la colonización hasta nuestros días, se han perdido tradiciones y saberes para dar paso a procesos expansivos de producción, estableciendo monocultivos que emplean intensivamente insumos agrícolas para incrementar la eficiencia productiva.

Esto ha reconvertido zonas de cultivo tradicional y áreas naturales que se manejaban bajo la cosmovisión ancestral de acuerdo con las capacidades del terreno, las condiciones del relieve y el clima, por técnicas avanzadas de producción (Ej. Terrazas, zanjas en pendientes, cultivos de mayor rendimiento, introducción de maquinaria, agroquímicos) [16, 36, 37] que son altamente consuntivas degradando los suelos ocupados, contaminando el agua y afectando la salud de las comunidades.

### **Necesidades y oportunidades de la agricultura sostenible**

Las transformaciones que causan las comunidades humanas sobre la naturaleza ocasionan también cambios en su estructura social que deben responder a las nuevas realidades de su soporte natural, originándose con ello una dinámica de coevolución [38, 39]. Estas interacciones dan cuenta de dos aspectos importantes para la humanidad, la diversidad biológica como parte fundamental para el desarrollo de la vida y su valor intrínseco, servicios ecosistémicos, y demás, y la diversidad cultural, como diversidad de la vida, de las creencias, valores, visiones y cosmovisiones de los seres humanos que cobran importancia en la medida que son generadores de cambios, de procesos de transformación del paisaje y de la naturaleza [40, 41].

Estas diferencias entre las comunidades enriquecen la diversidad cultural, lo cual es garante de mantener la resiliencia entre los sistemas sociales [42, 43], algunas comprenden que en la naturaleza ocurren fenómenos asociativos, siendo el hombre parte de ellos; pero en el pensamiento del hombre modernista, que es coherente con la ideología Darwiniana del triunfo de los fuertes sobre los débiles, no existe un enfoque sistémico respecto al entorno y se limita a una relación de dominancia.

Bajo el enfoque del modelo capitalista, las formas de gobierno han facilitado la mercantilización de la naturaleza con abastecimiento de materias primas y mano de obra barata [44], los mecanismos de participación comunitaria en los procesos de toma de decisión son bajos, existe un gobierno poco incluyente con bajo interés por la igualdad al acceso de los recursos naturales y los problemas que surgen en la población como el hambre, la pobreza y la inequidad, le restan importancia a los conflictos ambientales acentuándose en gran medida los procesos de desarraigo y la pérdida de identidad cultural [45, 46].

Igualmente, la globalización de las economías, ha sido un factor detonante en la degradación de los ecosistemas [47], debido a que la implementación de modelos foráneos sin tener en cuenta las características específicas de nuestros territorios ha potencializado el desgaste ambiental, que alcanza incluso las zonas más vulnerables como los bosques de niebla y los páramos, ejemplo de ello es la revolución verde, en los setenta, pues las nuevas prácticas para la agricultura intensiva, con uso de agroquímicos y maquinarias de preparación de áreas de cultivo, generaron además de vastas extensiones deforestadas, críticos procesos de erosión de los suelos y de contaminación de los ríos, un desarraigo de los patrones culturales autóctonos en el manejo de los "agroecosistemas" [48].

Como consecuencia de la globalización económica ocurre la homogenización de las culturas y los paisajes, cada día emergen más zonas con monocultivos y los procesos de expansión urbana son crecientes, este hecho, puede causar pérdida de oportunidades para la conservación basada en el fortalecimiento de la relación hombre-naturaleza teniendo en cuenta las características innatas del territorio y la dinámica en torno a los procesos productivos que las comunidades ancestrales han aprendido a manejar como resultado de siglos de interacción.

### **Oportunidades en el manejo agrícola integral en la alta montaña**

En general las comunidades locales practican la agricultura tradicional y en menor escala tecnificada y se puede identificar la siembra a favor de la pendiente, el uso de agroquímicos y plaguicidas como las principales causas en la pérdida de nutrientes y fertilidad del suelo, así como en el aumento de procesos erosivos, de igual modo se debe considerar que el páramo no es el área adecuada para la agricultura ya que se causa disminución o pérdida total en la capacidad de retención de agua [13, 49, 50].

Las zonas de expansión de sistemas productivos que se muestran en el análisis de coberturas están ocupadas por áreas de pastoreo de ganado (al menos tres cabezas de ganado por familia) y cultivos de papa, ulluco, arveja, habas y una huerta casera con siembra de col de montaña, quinua, arracacha, plantas aromáticas como manzanilla, tomillo, orégano, cebolla, repollo, cilantro, perejil, albahaca, alcachofa y maíz. Además se utilizan las técnicas manuales de cultivo y manejo de suelos con el uso de picas y conformación

de eras, rotación de cultivos cada 3 siembras en promedio [17, 18, 21, 22].

Este proceso de ocupación genera cambios en la estructura y alteración de las unidades de paisaje, pero es importante tener en cuenta que la población asentada en la zona de estudio pertenece en su gran mayoría al cabildo indígena de Puracé quienes desarrollan actividades comunitarias encaminadas hacia la recuperación de los subsistemas hídricos, así es como se han venido realizando jornadas o mingas para aislar el bosque que rodea los nacimientos de agua y permitir de esta manera la regeneración natural del mismo.

De igual forma, las comunidades locales han participado en programas de seguridad alimentaria promovidos por diferentes instituciones entre ellos la unidad administrativa de parques nacionales UAESPNN, ECO-FONDO, SENA y capacitaciones gestionadas a través del cabildo indígena, lo cual deja como resultado, el incipiente uso de abonos orgánicos (estiércol, gallinaza, abono tipo bocachi, desechos de cocina, ajeno, ortiga y ají) para las actividades de jardinería y algunas huertas caseras.

Sin embargo, las técnicas de producción limpia no tienen muchas acogida, pues a falta del acompañamiento institucional a estas iniciativas no garantizan el mantenimiento de los cultivos y la producción lo cual es vital para las familias ya que de ellos depende su sustento. En este sentido, se pierde la oportunidad de implementar masivamente procesos de producción limpia como la agricultura de precisión y el uso de insumos orgánicos.

Teniendo en cuenta que la PML ha evolucionado hacia una estrategia integral de producción, consumo,

comercio y desarrollo. El aporte de esta nueva concepción de ciclo de vida se muestra en la perspectiva de optimizar el sistema productivo desde las materias primas, procesos de producción, transporte, uso y disposición final los cuales deben ser abordados en las propuestas que se han presentado a las comunidades de Puracé pues como se mencionó anteriormente se ha limitado a procesos de capacitación en el uso de insumos orgánicos más no en acompañamiento continuo que permita ir haciendo el reemplazo de los cultivos tradicionales y su comercialización. De igual modo, generar estos cambios resulta benéfico para las comunidades pues los productos agrícolas “verdes” tienen mejores precios en los mercados como productos diferenciados.

## CONCLUSIONES

Es importante mencionar la necesidad de implementar nuevos enfoques de gobierno, de cambio de mentalidad frente a la naturaleza y sus servicios ecosistémicos, de los cuales depende nuestra subsistencia, de este modo, la consolidación de un constructo mental que comprenda las interacciones ecológicas de la cual hacemos parte es necesaria para poder garantizar el mantenimiento de los humanos como especie en el ecosistema y deben ser la base de la organización social (desde la política, economía y demás) en el mundo.

Si bien es importante conocer las principales amenazas que afectan la estabilidad de los sistemas sociales y naturales, también es vital saber reconocer la trascendencia que tiene el empezar a generar un pensamiento colectivo de colaboración y cooperación que este fortalecido por procesos políticos integrales globalizados amparados por un interés común: Recuperar o restaurar los sistemas de manejo adaptativo, mantener la biodiversidad y la diversidad cultural a través de mecanismos de conservación integral, que nos lleven hacia un desarrollo sostenible y que garanticen el buen vivir de las comunidades.

Reconocer los contextos históricos de manejo del poder y decisión para el uso y apropiación de los recursos naturales de las sociedades, puede ser útil en la generación de alternativas de fortalecimiento de los procesos de construcción cultural en torno a la gestión integral del ambiente, por lo que es necesario redireccionar los fines particulares del desarrollo centrados en el crecimiento económico hacia la construcción colectiva de una “sostenibilidad fuerte”.

**Figura 3.** Áreas de actividad agropecuaria.



## REFERENCIAS

- [1] GEA. Modelamiento climático, patrones de cambio y sus efectos en ecosistemas agrícolas altoandinos, identificando medidas de adaptación y mitigación para la planificación. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca - Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012, 84 p.
- [2] FOLKE, C., CARPENTER, S., WALKER, B., SCHEFFER, M., ELMQVIST, T., GUNDERSON, L. and HOLLING, C.S. Regime Shifts, Resilience, and Biodiversity in Ecosystem Management. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, 2004, p. 557-581.
- [3] VAN DER HAMMEN, T. Diagnóstico, cambio global y conservación. Memorias Congreso Mundial de Páramos. Paipa (Colombia): MMA, CAR, IDEAM y C. COLOMBIA, 2002, p. 60-71.
- [4] ORTIZ, L. y REYES, M. Páramos en Colombia: un ecosistema vulnerable. Bogotá (Colombia): Observatorio Medio Ambiente, 9, 2009. 9 p.
- [5] MORALES, M., OTERO, J., VAN DER HAMMEN, T., TORRES, A., CADENA, C., PEDRAZA, C., RODRÍGUEZ, N., FRANCO, C., BETANCOURTH, J., OLAYA, E., POSADA, E. y CÁRDENAS, L. Atlas de páramos de Colombia. 1 ed. Bogotá (Colombia): IAvH, 2007, 208 p.
- [6] MORALES, J. y ESTÉVEZ, J. El páramo: ¿Ecosistema en vía de extinción?. *Manizalez (Colombia): Luna azul*, 22, 2006, 13 p.
- [7] COLOMBIA. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Transformación y cambio en el uso del suelo en los páramos de Colombia en las últimas décadas. En: Páramos y Ecosistemas Alto Andinos de Colombia en Condición HotSpot & Global Climatic Tensor. 1 ed. Bogotá (Colombia): IDEAM, 2002, p. 211-326.
- [8] REY, C., FRANCO, L. y CASTAÑO, C. Estado y Gestión de los Páramos de Colombia - Informe Nacional. Memorias Congreso Mundial de Páramos. Paipa (Colombia): MMA, CAR, IDEAM y C. COLOMBIA, 2002, p. 114-203.
- [9] PROCURADURÍA GENERAL DE LA NACIÓN (PGN). Panorama y Perspectivas sobre la Gestión Ambiental de los Ecosistemas de Páramo. Colección de Asuntos Ambientales. 1 ed. Bogotá (Colombia): Imprenta Nacional, 2008, 143 p.
- [10] DALE, V., ARCHER, S., CHANG, M. and OJIMA, D. Ecological Impacts and Mitigation Strategies for Rural Land Management. *Ecological Applications*, 15 (6), 2005, p. 1879-1892.
- [11] ARELLANO, H. y RANGEL, O. Patrones en la distribución de la vegetación en áreas de páramo de Colombia: heterogeneidad y dependencia espacial. *Caldasia*, 30 (2), 2008, p. 355-411.
- [12] HARDEN, C. Human impacts on headwater fluvial systems in the northern and central Andes. *Geomorphology*, 79 (3-4), 2006, p. 249-263.
- [13] MAZABUEL, N. Plan de Desarrollo Municipal de Puracé. Puracé (Colombia): 2012, 137 p.
- [14] COLOMBIA. PARQUE NACIONAL NATURAL PURACÉ. Plan de Manejo Básico del Parque Nacional Natural Puracé: Secondary Plan de Manejo Básico del Parque Nacional Natural Puracé. Popayán (Colombia): UAESPNN-DTSA, 2004, 60 p.
- [15] PEREZ, E. Comportamiento, destino y variabilidad espacial de plaguicidas organofosforados en suelos ándicos del humedal de Calvache, Cauca, Colombia. Predicción de posible contaminación [Ph.D. Tesis en Química]. Cali (Colombia): Universidad del Valle, Departamento de Química, 2009, 245 p.
- [16] OTERO, J.D. Evaluación del Arrastre de Nutrientes en Zona de Ladera Generado por Escorrentía Superficial en dos Agroecosistemas Dentro de la Zona de Amortiguación del Parque Nacional Natural Puracé [Tesis en Biología]. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, 2009, p. 89.
- [17] FIGUEROA, A., MARTÍNEZ, J., JOAQUI, S. y VALENCIA, M. MACACEA: Monitoreo Ambiental para Cambio Climático en Ecosistemas Agrícolas Altoandinos. Popayán (Colombia): Boletín VRI, 18 2009, p. 1 - 49.
- [18] RUIZ, D.M. Determinación del impacto ambiental sobre el recurso hídrico para consumo humano generado por el establecimiento de actividades antrópicas en la parte alta de la subcuenca río san Francisco, municipio Puracé, Departamento del Cauca. [Tesis en Biología]. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, 2009, p. 119.
- [19] MUÑOZ, F.A. Evaluación de la susceptibilidad a la erosión en dos tipos de agroecosistemas alto andinos en la cuenca del río Palacé [Tesis en Biología]. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, 2007, p. 86.
- [20] MOSQUERA, A., MARTÍNEZ, J. y FIGUEROA, A. Microclimatic gradients in transition zones of Andean forest: A case study of Purace National

- Park. *Scientific Research and Essays*, 9 (16), 2014, p. 703 - 715.
- [21] MARTÍNEZ, J., FIGUEROA, A. Cambios de cobertura y fragmentación a través de un análisis espacio temporal en el parque nacional natural Puracé. En: *Fragmentación y coberturas vegetales en ecosistemas andinos*, Departamento del Cauca. 1 ed. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca., 2009, 400 p.
- [22] JOAQUI, S. y FIGUEROA, A. Análisis multitemporal de coberturas vegetales para ecotopos paramunos. Parque nacional Natural Puracé. En: *Fragmentación y coberturas vegetales en ecosistemas andinos*, Departamento del Cauca. 1 ed. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca., 2009, 400 p.
- [23] VALENCIA, J., LASSALETTA, L., VELÁZQUEZ, E., NICOLAU, J.M. and GÓMEZ-SAL, A. Factors Controlling Compositional Changes in a Northern Andean Páramo (La Rusia, Colombia). *Biotropica*, 45 (1), 2013, p. 18-26.
- [24] HOLLING, C.S. Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. *Ecosystems*, 4 (5), 2001, p. 390-405.
- [25] LEFF, E. La geopolítica de la biodiversidad y el desarrollo sustentable. *Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible - Cuides*, 10 (17), 2013, p. 185-209.
- [26] GALLOPIN, G. El desarrollo sostenible desde una perspectiva sistémica. *Sostenible*, (11), 2010, p. 17-35.
- [27] PÉREZ, M., ROJAS, J. y ORDOÑEZ, C. Desarrollo sostenible: Principios, aplicaciones y lineamientos de política para Colombia. Cali (Colombia): Universidad del Valle - Instituto CINARA, 2010, 346 p.
- [28] RUIZ, D., MORENO, H., GUTIÉRREZ, M. and ZAPATA, P. Changing climate and endangered high mountain ecosystems in Colombia. *Science of The Total Environment*, 398 (1-3), 2008, p. 122-132.
- [29] HARDEN, C.P., HARTSIG, J., FARLEY, K.A., JAEHOON, L. and BREMER, L.L. Effects of Land-Use Change on Water in Andean Páramo Grassland Soils. *Annals of the Association of American Geographers*, 103 (2), 2013, p. 375-384.
- [30] LLAMBÍ, L., SOTO-W, A., CÉLLERI, R., DE BIÉVRE, B., OCHOA, B. y BORJA, P. Ecología, hidrología y suelos de páramos. Proyecto Páramo Andino. Quito (Ecuador): CONDESAN, 2012, 10 p.
- [31] MUÑOZ-VILLERS, L.E., HOLWERDA, F., GÓMEZ-CÁRDENAS, M., EQUIHUA, M., ASBJORNSEN, H., BRUIJNZEEL, L.A., MARÍN-CASTRO, B.E. and TOBÓN, C. Water balances of old-growth and regenerating montane cloud forests in central Veracruz, Mexico. *Journal of Hydrology*, 462, 2012, p. 53-66.
- [32] MISERENDINO, M., CASAU, R., ARCHANGELSKY, M., DI PRINZIO, C., BRAND, C., KUTSCHKER, A. and BALMFORD, A. Assessing land-use effects on water quality, in-stream habitat, riparian ecosystems and biodiversity in Patagonian northwest streams. *Science of The Total Environment*, 409, 2011, p. 13.
- [33] LEMOS, M. Propuesta metodológica para determinar el estado de la soberanía, seguridad alimentaria y nutricional y su aplicación en el municipio de Puracé, Cauca [Tesis de maestría]. Bogotá (Colombia): Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, 2010, p. 159.
- [34] TOCANCIPÁ, J. El trueque: tradición, resistencia y fortalecimiento de la economía indígena en el Cauca. *Revista de Estudios Sociales*, 31, 2008, p. 146-161.
- [35] PORTELA, H. El pensamiento de las aguas de las montañas. *Etnográfica*, VII (1), 2003, p. 63-86.
- [36] MARTÍNEZ, J.P. Caracterización tecnológica para la sostenibilidad ambiental en procesos productivos de papa en zonas altoandinas caucanas. *Ambiente y Sostenibilidad*, 2, 2012, p. 29-37.
- [37] LLAMBÍ, L.D. Algunas implicaciones de la diversidad socio-ambiental andina para una agricultura sustentable en los páramos. Mérida (Venezuela): PNUMA-GEF, 2010, 10 p.
- [38] LLAMBÍ, L.D., SMITH, J.K., PEREIRA, N., PEREIRA, A.C., VALERO, F., MONASTERIO, M. and DÁVILA, M.V. Participatory Planning for Biodiversity Conservation in the High Tropical Andes: Are Farmers Interested?. *Mountain Research and Development*, 25 (3), 2005, p. 200-205.
- [39] SMITH, E. On the coevolution of cultural, linguistic, and biological diversity On *Biocultural Diversity*. En: *Linking Language, Knowledge and the Environment*, Londres (Inglaterra): Smithsonian Press, 2001, p. 95-117.
- [40] GARZÓN, B., INIESTA, I., GARCÍA, M. y MARTÍN, B. Entendiedo las relaciones entre los paisajes y los servicios de los ecosistemas. Un análisis desde la historia socio-ecológica. *Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible - Cuides*, 10, 2013, p. 241-268.
- [41] MARTÍN, B., GARCÍA, M., PALOMO, I. and MONTES, C. The conservation against develop-

- ment paradigm in protected areas: Valuation of ecosystem services in the Doñana social-ecological system (southwestern Spain). *Ecological Economics*, 70 (8), 2011, p. 1481-1491.
- [42] ALLEN, C., FONTAINE, J., POPE, K. and GARMESTANI, A. Adaptive management for a turbulent future. *Journal of Environmental Management*, 92 (5), 2011, p. 1339-1345.
- [43] MCKEY, D., ROSTAIN, S., IRIARTE, J., GLASER, B., BIRK, J.J., HOLST, I. and RENARD, D. Pre-Columbian agricultural landscapes, ecosystem engineers, and self-organized patchiness in Amazonia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107 (17), 2010, p. 7823-7828.
- [44] GÓMEZ, E. Valoración económica y complejidad ecológica. Implicaciones para la economía verde. *Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible - Cuides*, 10, 2013, p. 27-54.
- [45] ULLOA, A. Concepciones de la Naturaleza en la Antropología Actual. En: *Ecología y paisaje. Miradas desde Canarias*. La Orotava (España): Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, 2009, p. 213-233.
- [46] VÉLEZ, L. y GÓMEZ, A. Un marco conceptual y analítico para estimar la integridad ecológica a escala de paisaje. *Arbor*, 184 (729), 2008, p. 31-44.
- [47] HELBRON, H., SCHMIDT, M., GLASSON, J. and DOWNES, N. Indicators for strategic environmental assessment in regional land use planning to assess conflicts with adaptation to global climate change. *Ecological Indicators*, 11 (1), 2011, p. 90-95.
- [48] LONDOÑO, L. Agricultura campesina y desarrollo rural. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 6 (1), 2008, p. 78-86.
- [49] VARELA, L. La alta montaña de los Andes del norte: el páramo, un ecosistema antropogénico. *Pirineos*, 163, 2008, p. 85-95.
- [50] BUYTAERT, W., IÑIGUEZ, V. and BIÈVRE, B.D. The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecology and Management*, 251 (2), 2007, p. 22-30.

Artículo Reporte de Caso

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE PERFILES DE TEXTURA DE QUESOS FRESCOS DE LECHE DE CABRA Y VACA

## COMPARATIVE ANALYSIS OF TEXTURE PROFILE FRESH CHEESE GOAT AND COW

### ANÁLISE COMPARATIVA DA TEXTURA QUEIJO DE CABRA E VACA FRESCO PERFIL

LUIS ENRIQUE GUZMÁN C.<sup>1</sup>, CANDELARIA TEJADA T.<sup>2</sup>,  
YEINIS JOHANA DE LA OSSA M.<sup>3</sup>, CESAR AUGUSTO RIVERA R.<sup>4</sup>

#### RESUMEN

*Pese a la existencia de varios estudios sobre diversos aspectos de los quesos de vaca y cabra, hay una escasa información sobre sus propiedades texturales. El estudio de las propiedades reológicas en los quesos es importante porque determina el cuerpo y textura característicos. La presente investigación se realizó con el fin de comparar el perfil de textura de los quesos frescos pasteurizados elaborados a partir de leche de cabra y de vaca y con contenidos de grasa de 30, 50 y 70%; los cuales fueron almacenados en refrigeración a 4°C y analizados los días 1, 6, 12, y 18 respectivamente. Los parámetros texturales de dureza, adhesividad, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad, se determinaron utilizando un texturómetro EZ-TEST SERIES S. Se concluye que los valores de dureza y adhesividad aumentaron durante el tiempo de almacenamiento, contrario a la elasticidad y cohesividad. Además, el aumento del contenido graso influye en el incremento de estos parámetros a excepción de la dureza. Así mismo, la gomosidad y masticabilidad varían con respecto a la dureza, cohesividad y elasticidad. Los quesos frescos de cabra presentaron mayor adhesividad, cohesividad*

**Recibido para evaluación:** 17 de Mayo de 2013. **Aprobado para publicación:** 21 de Abril de 2015.

- 1 Universidad de Cartagena, Docente Programa de Ingeniería de Alimentos. Especialista en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cartagena, Colombia
- 2 Universidad de Cartagena, Docente Programa de Ingeniería de Alimentos. M.Sc. En Educación. Cartagena, Colombia.
- 3 Universidad de Cartagena. Ingeniero de Alimentos. Cartagena, Colombia.
- 4 Universidad de Cartagena. Ingeniero de Alimentos. Cartagena, Colombia.

**Correspondencia:** lguzmanc1@unicartagena.edu.co

*y elasticidad, con respecto a los quesos frescos de vaca, en los cuales los valores de dureza fueron mayores.*

## ABSTRACT

*Notwithstanding the existence of several studies on various aspects of cow and goat cheeses, there is little information on their textural properties. The study of the rheological properties in cheeses is important because it determines the typical body and texture. This research was conducted in order to compare the texture profile of pasteurized fresh cheeses made from goat's milk and cow and fat contents of 30, 50 and 70%; which were stored refrigerated at 4°C and analyzed on days 1, 6, 12, and 18 respectively. The textural parameters of hardness, adhesiveness, cohesiveness, elasticity, gumminess and chewiness were determined using a texture analyzer EZ-TEST SERIES S. It is concluded that the values of hardness and adhesiveness increased during storage time, contrary to the elasticity and cohesiveness. Furthermore, increased fat influences the increase of these parameters except hardness. Moreover, gumminess and chewiness vary as to the hardness, cohesiveness and springiness. Fresh goat cheese had higher adhesiveness, cohesiveness and elasticity, compared to fresh cheese of cow, in which the hardness values were higher.*

## RESUMO

*Não obstante a existência de vários estudos sobre diversos aspectos da queijos de vaca e queijos de cabra, há pouca informação sobre as suas propriedades de textura. O estudo das propriedades reológicas, em queijos é importante, porque determina o corpo e textura típica. Esta pesquisa foi realizada, a fim de comparar o perfil de textura dos queijos frescos pasteurizados feitos a partir de leite de cabra e de vaca e teores de gordura de 30, 50 e 70%; que foram armazenadas refrigeradas a 4°C e analisados nos dias 1, 6, 12 e 18, respectivamente. Os parâmetros de textura de dureza, adesividade, coesão, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade foram determinados utilizando um analisador de textura de EZ-SÉRIE DE TESTE S. Concluiu-se que os valores de dureza e a adesividade aumentada durante o tempo de armazenamento, contrariamente à elasticidade e coesividade. Além disso, o aumento da gordura influencia o aumento desses parâmetros, exceto dureza. Além disso, gumminess e chewiness variar quanto à dureza, coesividade e elasticidade. Queijo fresco de cabra apresentaram maior adesividade, coesão e elasticidade, em relação ao queijo fresco de vaca, em que os valores de dureza foram maiores.*

## INTRODUCCIÓN

La producción caprina en el país se distribuye de manera atomizada en todos los departamentos, sin embargo hay zonas con mayor actividad productiva; entre ellas, la zona de la Costa Atlántica constituida por los departamentos de la Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre y Córdoba departamentos con una participación importante dentro del total nacional [1].

## PALABRAS CLAVE:

Físicoquímica, Queso, Sensorial, Textural.

## KEYWORDS:

Physicochemical, Sensory, Cheese, Textural.

## PALAVRAS-CHAVE:

Físico-química, Sensorial, Queijo, Texturais.

En Colombia la mayor producción de quesos se deriva del ganado bovino y en menor escala del ganado caprino; el queso de vaca es el de mayor consumo por tradición y disponibilidad con relación al queso de cabra. La producción de leche caprina en Colombia tiene como destino principal la elaboración de quesos artesanales y el consumo local [1].

La determinación de las propiedades reológicas en el queso tiene como objetivo definir su textura y cuerpo característicos; aunque estos dos factores son de gran importancia, la textura es la de mayor estudio en el queso, debido a que determina su identidad y aceptación. Con esta propiedad el consumidor identifica y juzga la variedad específica [2]. La textura de los distintos quesos es diferente; sin embargo, los factores que determinan sus cambios son básicamente los mismos puesto que solo las proporciones de los componentes son diferentes. Los principales componentes del queso como proteínas, grasa y agua, afectan su comportamiento reológico, y por tanto sus características texturales, composición, proceso de elaboración, proteólisis durante la maduración y distribución de la grasa [3].

Un estudio realizado en la Universidad de Reading (Inglaterra) comparó el comportamiento reológico de los quesos mozzarella, elaborados con leche de búfala y vaca, variando el pH. Como resultado se encontró que la cuajada de la leche de vaca tiene menos firmeza que la cuajada de la leche de búfala, asimismo la textura es más suave en la cuajada de la leche de búfala con un valor de pH equivalente [4].

En la Universidad Agrícola de Atenas (Grecia), se encontró que los quesos elaborados de leche de cabra presentaban valores de fuerza y compresión en el punto de fractura superior a los quesos elaborados con leche de oveja [5].

Los estudios anteriormente citados revelan claramente que la utilización de distintos tipos de leche y la variación de factores como el pH, afectan el comportamiento reológico de los quesos, lo que da un indicio de que al variar los constituyentes de las leches de cabra y vaca, pero con valores equivalentes y al someter los quesos elaborados a partir de esta a distintos tiempos de almacenamiento se puede afectar su comportamiento reológico.

El objetivo de este trabajo fue evaluar las propiedades mecánicas de dos tipos de queso pasteurizado de leche de vaca y de cabra, determinando el efec-

to de la variación de factores como el contenido de grasa y los tiempos de almacenamiento, mediante el perfil de textura midiendo las propiedades de dureza, cohesividad, adhesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad.

## MÉTODO

La leche de cabra utilizada en este trabajo se adquirió en una finca ubicada en Piedecuesta (Santander), allí fue pasteurizada, congelada y enviada en tanques herméticos; mientras que la leche de vaca se recolectó en el municipio de Arjona (Bolívar).

La crema de leche utilizada en la estandarización de los contenidos de grasa de las diferentes leches con las cuales se elaboraron los quesos (15, 30 y 50% de grasa), se obtuvo por descremado total de cada una de las leches previamente calentadas a 37°C, obteniendo crema de leche de vaca y crema de leche de cabra al 34 y al 42% de grasa respectivamente. Para este proceso se utilizó una descremadora Elecrem I.

La sal, el cloruro de calcio y el cuajo en polvo se adquirieron en almacenes de cadena, distribuidora de productos químicos y almacén de productos agrícolas y veterinarios de la ciudad de Cartagena.

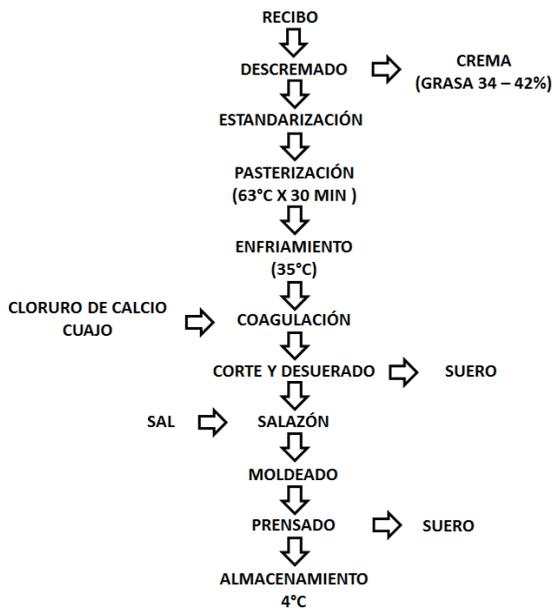
Ambas leches antes de su descremado se analizaron por triplicado. Las pruebas fisicoquímicas realizadas a las leches de cabra y de vaca fueron: densidad (A.O.A.C. 925.22); grasa por el método de Gerber (A.O.A.C. 2000.18) y acidez (A.O.A.C. 947.05) (cuadro 1).

El proceso seguido para la elaboración de los quesos con los diferentes contenidos de grasa se muestra en la Figura 1. A la leche cruda de vaca y de cabra descremada se le adiciona la cantidad de crema de leche

**Cuadro 1.** Análisis Fisicoquímico de las leches de vaca y cabra

| Animal | Parámetro                     | Valor Promedio |
|--------|-------------------------------|----------------|
| Vaca   | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | 1,030          |
|        | Acidez (% ácido láctico)      | 0,16           |
|        | Contenido de grasa (%)        | 3,0            |
| Cabra  | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | 1,028          |
|        | Acidez (% ácido láctico)      | 0,14           |
|        | Contenido de grasa (%)        | 4,0            |

**Figura 1.** Proceso de fabricación de queso utilizando leche de vaca o de cabra.



necesaria en las cantidades mostradas en los Cuadros 2 a 7, luego de lo cual se lleva a pasterización a 63°C por 30 minutos. Una vez se ha pasterizado la leche se enfría a 35°C y se añaden el cloruro de calcio y el cuajo. La coagulación toma entre 30 y 40 minutos. La cuajada obtenida de este modo se cortó, se agitó algunos minutos y se sometió a calentamiento suave con el objeto de elevar la temperatura de la masa a 38°C para facilitar la extracción del suero de leche.

Se adiciona la sal, se mezcla y se procede a colocar la cuajada en moldes cilíndricos y se prensan durante dos horas y media a 2,5 Kg/cm<sup>2</sup> a temperatura ambiente ( $\pm 25^\circ\text{C}$ ). A continuación los quesos se almacenaron a 4°C y una humedad relativa de 85% hasta el momento del análisis del perfil de textura (TPA) los días 1, 6, 12 y 18 cuando se dio por terminado el ensayo.

**Cuadro 2.** Queso de leche de vaca al 15% de grasa.

| Componentes          | Cantidades  |
|----------------------|-------------|
| Leche descremada     | 7,21 kg     |
| Crema (34% de grasa) | 0,107 kg    |
| Sal                  | 0,1463 kg   |
| Cloruro de calcio    | 0,001463 kg |
| Cuajo                | 0,0007 kg   |

**Cuadro 3.** Queso de leche de vaca al 30% de grasa

| Componentes          | Cantidades  |
|----------------------|-------------|
| Leche descremada     | 7,21 kg     |
| Crema (34% de grasa) | 0,598 kg    |
| Sal                  | 0,1561 kg   |
| Cloruro de calcio    | 0,001561 kg |
| Cuajo                | 0,0007 kg   |

**Cuadro 4.** Queso de leche de vaca al 50% de grasa.

| Componentes          | Cantidades  |
|----------------------|-------------|
| Leche descremada     | 7,21 kg     |
| Crema (34% de grasa) | 0,855 kg    |
| Sal                  | 0,1613 kg   |
| Cloruro de calcio    | 0,001613 kg |
| Cuajo                | 0,0007 kg   |

**Cuadro 5.** Queso de leche de cabra al 15% de grasa.

| Componentes          | Cantidades  |
|----------------------|-------------|
| Leche descremada     | 7,203 kg    |
| Crema (42% de grasa) | 0,086 kg    |
| Sal                  | 0,1457 kg   |
| Cloruro de calcio    | 0,001459 kg |
| Cuajo                | 0,0007 kg   |

**Cuadro 6.** Queso de leche de cabra al 30% de grasa.

| Componentes          | Cantidades  |
|----------------------|-------------|
| Leche descremada     | 7,203 kg    |
| Crema (42% de grasa) | 0,4764 kg   |
| Sal                  | 0,1535 kg   |
| Cloruro de calcio    | 0,001535 kg |
| Cuajo                | 0,0007 kg   |

**Cuadro 7.** Queso de leche de cabra al 50% de grasa.

| Componentes          | Cantidades  |
|----------------------|-------------|
| Leche descremada     | 7,203 kg    |
| Crema (42% de grasa) | 0,676 kg    |
| Sal                  | 0,1575 kg   |
| Cloruro de calcio    | 0,001575 kg |
| Cuajo                | 0,0007 kg   |

El tipo de investigación empleado en este trabajo fue cuantitativo experimental pues permitió conocer las propiedades texturales de los quesos elaborados con leche de cabra y de vaca al variar su contenido de grasa y los tiempos de almacenamiento.

Para el desarrollo experimental se tuvieron en cuenta dos variables: porcentaje de grasa y tiempo de almacenamiento, para tres niveles de variación: valor alto, medio y bajo. De lo anterior se tiene un diseño factorial 3<sup>K</sup> donde K=2, teniendo 9 experimentos con leche de vaca y 9 experimentos con leche de cabra, donde la variable respuesta es la textura de los quesos para un total de 18 experimentos.

Para el análisis del perfil de textura se tomaron muestras por triplicado para cada queso con los diferentes contenidos de grasa. Se cortaron cubos de 2x2 cm y se midieron las siguientes propiedades: Fracturabilidad, dureza, cohesividad, adhesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad. Los ensayos se realizaron en un analizador marca (EZ- TEST SERIES S) usando el software Rheometer 3.1.

## RESULTADOS

Teniendo en cuenta el decreto 616 de 2006 del Ministerio de Protección Social (Artículo 16) el cual fija los valores para la leche cruda así: densidad a 15/15°C de 1,030 g/mL; grasa 3% mínimo y acidez expresada como porcentaje de ácido láctico entre 0,13 y 0,17; y comparándolos con los resultados de los análisis fisicoquímicos de las leches que se utilizaron en la elaboración de los quesos (cuadro 1), se observa que la leche de vaca cumple con lo establecido por la norma, mientras que la leche de cabra presentó una densidad ligeramente baja debida a un mayor contenido de grasa. La densidad de la leche varía en función de la cantidad de sólidos no grasos y de la proporción de grasa. En el primer caso, la variación es proporcional, mientras que en el segundo caso, al tener la grasa una densidad de 0,940 g/mL, la densidad global varía de forma inversa al contenido graso [6].

El análisis del cuadro 8 muestra que las leches de vaca y de cabra, dan origen a quesos con contenidos de grasa en el extracto seco (GES) cercanos a 29, 50 y 70%; mientras que los contenidos de humedad sin materia grasa (HSMG) se encuentran entre 56 y 57% para los quesos elaborados con leche de vaca y entre 57,6 y 64% para los quesos elaborados con leche de cabra. Igualmente, se observa que a medida que aumenta la cantidad de grasa el contenido de humedad disminuye confirmando lo expresado por [7] Con base en la NTC 750, los quesos frescos con GES del 25-45% son quesos semigrasos, entre 45-60% son grasos y los extra grasos mayor de 60%; de igual manera, los quesos

con HSMG entre 54 y 69% son considerados quesos semiduros. Por lo tanto, los quesos obtenidos se clasifican como quesos semigrasos-semiduros, grasos-semiduros y extra grasos-semiduros.

La determinación de los porcentajes de HSMG y de GES se realizó por medio de las ecuaciones

$$HSMG = \frac{\% \text{ humedad en el queso}}{100 - \% \text{ grasa en el queso}} \times 100 \quad (\text{Ec.1})$$

$$GES = \frac{\% \text{ grasa en el queso}}{100 - \% \text{ humedad del queso}} \times 100 \quad (\text{Ec.2})$$

Los resultados expuestos en los cuadros 9, 10 y 11, muestran que los valores de las propiedades texturales como la cohesividad y la elasticidad de los quesos frescos de vaca y cabra con diferentes GES disminuyen en función del tiempo contrario a lo reportado por [8] para queso Edam, mientras que la dureza y la adhesividad aumentan con el tiempo confirmando lo encontrado por [8].

Los quesos de vaca y cabra extra grasos presentaron valores de dureza más bajos, los quesos al 50% de contenido graso, mostraron tener mayor dureza en los días 1 y 6 con respecto a los demás quesos, pero menor con respecto a los quesos de 30% de contenido graso, en los días 12 y 18, presentando en estos días los valores más altos los quesos al 30%.

Los quesos al 30% de contenido graso presentaron el valor más alto de contenido de humedad, mientras que

**Cuadro 8.** Analisis fisicoquimicos de los quesos de vaca y cabra.

| Queso de Vaca            | 15%  | 30%  | 50%  |
|--------------------------|------|------|------|
| pH                       | 5,77 | 5,73 | 5,62 |
| Acidez (% ácido láctico) | 0,2  | 0,21 | 0,3  |
| % Humedad                | 48   | 40   | 28   |
| % HSMG                   | 56,4 | 57,1 | 56   |
| % GES                    | 28,8 | 50   | 69,4 |
| Queso de Cabra           | 15%  | 30%  | 50%  |
| pH                       | 5,81 | 5,66 | 5,48 |
| Acidez (% ácido láctico) | 0,15 | 0,13 | 0,1  |
| % Humedad                | 49   | 42   | 32   |
| % HSMG                   | 57,6 | 60   | 64   |
| % GES                    | 29,4 | 51,7 | 73,5 |

**Cuadro 9.** Parámetros texturales de los quesos con contenido graso 15% valor promedio.

| Parámetros Texturales               | Tiempo (Días) | Vaca          | Cabra         |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Dureza (Kg.m s <sup>-2</sup> )      | 1             | 16,00 ±0,47   | 7,20 ±0,26    |
|                                     | 6             | 17,49 ±0,11   | 13,41 ±0,21   |
|                                     | 12            | 23,97 ±0,04   | 19,22 ±0,02   |
|                                     | 18            | 30,91 ±0,03   | 21,65 ±0,03   |
| Adhesividad (Kg.m s <sup>-2</sup> ) | 1             | -0,325 ±0,004 | -1,779 ±0,001 |
|                                     | 6             | -0,193 ±0,001 | -0,234 ±0,002 |
|                                     | 12            | -0,006 ±0,001 | -0,03 ±0,001  |
|                                     | 18            | 0,32 ±0,01    | -0,02 ±0,001  |
| Cohesividad                         | 1             | 0,75 ±0,02    | 0,91 ±0,0,26  |
|                                     | 6             | 0,71 ±0,02    | 0,86 ±0,008   |
|                                     | 12            | 0,51 ±0,04    | 0,78 ±0,01    |
|                                     | 18            | 0,38 ±0,018   | 0,57 ±0,02    |
| Elasticidad                         | 1             | 5,00 ±0,03    | 6,44 ±0,01    |
|                                     | 6             | 3,90 ±0,05    | 4,01 ±0,06    |
|                                     | 12            | 2,87 ±0,01    | 3,58 ±0,21    |
|                                     | 18            | 2,76 ±0,003   | 3,47 ±0,06    |
| Gomosidad (Kg.m s <sup>-2</sup> )   | 1             | 12 ±0,41      | 6,55 ±0,14    |
|                                     | 6             | 12,41 ±0,09   | 11,53 ±0,02   |
|                                     | 12            | 12,22 ±0,09   | 14,99 ±0,17   |
|                                     | 18            | 11,74 ±0,04   | 12,34 ±0,017  |
| Masticabilidad (Kg)                 | 1             | 60 ±1,15      | 42,19 ±0,8    |
|                                     | 6             | 48,4 ±0,53    | 46,24 ±0,05   |
|                                     | 12            | 35,08 ±0,26   | 53,66 ±0,009  |
|                                     | 18            | 32,41 ±0,45   | 42,82 ±0,28   |

**Cuadro 10.** Parámetros texturales de los quesos con contenido graso 30% valor promedio.

| Parámetros Texturales               | Tiempo (Días) | Vaca          | Cabra         |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Dureza (Kg.m s <sup>-2</sup> )      | 1             | 17,2 ±0,41    | 8,22 ±0,07    |
|                                     | 6             | 19,09 ±0,02   | 16,4 ±0,2     |
|                                     | 12            | 22,58 ±0,04   | 18,40 ±0,05   |
|                                     | 18            | 26,54 ±0,04   | 21,09 ±0,02   |
| Adhesividad (Kg.m s <sup>-2</sup> ) | 1             | -0,002 ±0,001 | 0,003 ±0,001  |
|                                     | 6             | 0,13 ±0,02    | -0,02 ±0,03   |
|                                     | 12            | -0,043 ±0,001 | -0,199 ±0,015 |
|                                     | 18            | -0,02 ±0,005  | -0,118 ±0,007 |
| Cohesividad                         | 1             | 0,61 ±0,06    | 0,89 ±0,07    |
|                                     | 6             | 0,59 ±0,03    | 0,83 ±0,02    |
|                                     | 12            | 0,55 ±0,02    | 0,82 ±0,03    |
|                                     | 18            | 0,45 ±0,02    | 0,78 ±0,018   |
| Elasticidad                         | 1             | 5,00 ±0,09    | 5,16 ±0,01    |
|                                     | 6             | 3,45 ±0,03    | 3,9 ±0,65     |
|                                     | 12            | 3,30 ±0,04    | 3,70 ±0,02    |
|                                     | 18            | 2,17 ±0,08    | 3,52 ±0,03    |
| Gomosidad (Kg.m s <sup>-2</sup> )   | 1             | 10,49 ±0,017  | 7,31 ±0,04    |
|                                     | 6             | 11,26 ±0,004  | 13,61 ±0,04   |
|                                     | 12            | 12,41 ±0,02   | 15,06 ±0,05   |
|                                     | 18            | 11,94 ±0      | 16,45 ±0,14   |
| Masticabilidad (Kg)                 | 1             | 52,46 ±0,03   | 37,74 ±0,03   |
|                                     | 6             | 38,85 ±0,03   | 53,08 ±0,02   |
|                                     | 12            | 20,98 ±0,04   | 55,73 ±0,02   |
|                                     | 18            | 25,91 ±0,03   | 57,90 ±0,03   |

**Cuadro 11.** Parámetros texturales de los quesos con contenido graso 50% valor promedio.

| Parámetros Texturales               | Tiempo (Días) | Vaca        | Cabra        |
|-------------------------------------|---------------|-------------|--------------|
| Dureza (Kg.m s <sup>-2</sup> )      | 1             | 11,74 ±0,04 | 5,35 ±1,23   |
|                                     | 6             | 14,74 ±0,04 | 6,13 ±0,13   |
|                                     | 12            | 20,77 ±0,04 | 11,61 ±0,05  |
|                                     | 18            | 21,45 ±0,01 | 17,29 ±0,07  |
| Adhesividad (Kg.m s <sup>-2</sup> ) | 1             | -0,34 ±0,02 | -1,89 ±0,05  |
|                                     | 6             | -0,29 ±0,05 | -1,81 ±0,005 |
|                                     | 12            | -0,11 ±0,03 | -1,65 ±0,03  |
|                                     | 18            | -0,02 ±0,05 | -1,45 ±0,05  |
| Cohesividad                         | 1             | 0,87 ±0,005 | 0,96 ±0,03   |
|                                     | 6             | 0,82 ±0,03  | 0,89 ±0,07   |
|                                     | 12            | 0,61 ±0,06  | 0,87 ±0,04   |
|                                     | 18            | 0,59 ±0,03  | 0,84 ±0,01   |
| Elasticidad                         | 1             | 7,32 ±0,03  | 9,23 ±0,03   |
|                                     | 6             | 6,68 ±0,06  | 9,12 ±0,04   |
|                                     | 12            | 6,64 ±0,06  | 8,09 ±0,04   |
|                                     | 18            | 6,56 ±0,07  | 8,06 ±0,03   |
| Gomosidad (Kg.m s <sup>-2</sup> )   | 1             | 10,17 ±0,04 | 5,16 ±0,07   |
|                                     | 6             | 12,08 ±0,02 | 5,45 ±0,01   |
|                                     | 12            | 12,66 ±0,06 | 10,10 ±0,16  |
|                                     | 18            | 12,64       | 14,52 ±0,03  |
| Masticabilidad (Kg)                 | 1             | 74,51 ±0,01 | 47,65 ±0,04  |
|                                     | 6             | 80,73 ±0,08 | 49,75 ±0,02  |
|                                     | 12            | 84,12 ±0,02 | 81,71 ±0,08  |
|                                     | 18            | 82,98 ±0,02 | 117,06 ±0,08 |

los quesos al 70% de contenido graso mostraron el valor más bajo, lo anterior se explica en que la firmeza de la red proteica depende también de factores tales como el contenido de agua y contenido de grasa [9].

Un contenido alto de humedad o grasa debilita la firmeza de la estructura dado que, necesariamente, las proteínas deben estar más alejadas entre sí [9].

Además, el aumento de la dureza de los quesos al 30% y el descenso de los quesos al 50% en los días 12 y 18, se explica, en que el queso es un sistema dinámico y poroso, dentro de estos se presenta un proceso llamado "sinéresis" que es causado por el rearrreglo de la red proteica continua, que forman las micelas de caseína, durante este proceso la capa externa de la cuajada es la que más se contrae, dando la expulsión del lactosuero.

Por consiguiente, esta capa externa tiene mayor concentración de sólidos y menor permeabilidad al flujo de lactosuero. Lo que es decir, es posible que la dureza de los quesos al 30% en el día 1 y 6 fue menor por mayor contenido de humedad, pero la dureza aumento en este queso en los días 12 y 18 por la mayor expulsión de lactosuero, descendiendo los valores de dureza de los quesos al 50% en estos días por tener una menor parte de humedad.

Los valores de dureza fueron mayores en los quesos de vaca en comparación con los quesos de cabra. La explicación de esto radica en el tamaño de las micelas y concentración de la caseína. El tiempo de coagulación es más largo cuanto menor es el diámetro de las micelas, la causa de esta relación puede encontrarse en la composición de las micelas, sobre todo en sus contenidos de k-caseína y en fosfato cálcico coloidal que son función de sus dimensiones, por lo que un gel obtenido a partir de una leche con micelas de caseína grandes es más firme [10].

En cuanto a la adhesividad, es importante resaltar que los resultados en su mayoría fueron negativos, lo cual indica que la textura de los quesos de vaca y cabra es adhesiva. Los quesos de cabra presentaron valores menores en comparación a los quesos de vaca, teniendo los valores más bajos al 70% de contenido graso con respecto a los demás quesos de vaca y cabra de diferente contenido graso. Además, los valores de adhesividad aumentaron al transcurrir el tiempo de almacenamiento.

Los quesos al 30% de contenido graso presentaron valores altos en los días 1 y 6, y en los días 12 y 18 disminuyeron con respecto a los quesos de 30% de contenido graso, los resultados concuerdan con la literatura, puesto que la adhesividad disminuye con el contenido de humedad, y aumenta con el tiempo de maduración o almacenamiento [11].

El queso de cabra posee valores mayores de cohesividad y elasticidad con respecto a los de vaca, y aumentaron en función del contenido graso, disminuyendo en función del tiempo.

Conforme aumenta la elasticidad del producto aumenta la resistencia a la deformación del alimento por la flexibilidad de los enlaces internos, por lo que es de esperar que aumente la cohesividad [12].

De lo anterior cuando el contenido graso está presente en alto porcentaje, brinda mayor elasticidad y menor firmeza [12], y por el contrario disminuye con el contenido de humedad asociándolo con quesos duros y poco elásticos [1]. Durante el tiempo de la investigación, la Gomosidad y la Masticabilidad de los quesos presento un comportamiento oscilatorio.

## CONCLUSIONES

Se concluye con respecto al análisis de perfil de textura que la dureza incrementa al transcurrir el tiempo de almacenamiento, pero este parámetro depende de su constitución (tamaño de las micelas de caseína y la  $\alpha_{s1}$  caseína) y composición (contenido de humedad y grasa). Presentando así, los quesos de vaca mayor dureza que los quesos de cabra.

Los valores obtenidos para la adhesividad fueron en su mayoría negativos y aumentaban en función del tiempo y contenido graso, lo cual indica que los quesos se adhieren más al incrementar los niveles grasos, y menos al pasar el tiempo. Los quesos de cabra presentaron mayor adhesividad.

La elasticidad y la cohesividad mostraron valores mayores para quesos de cabra en comparación con los de vaca. La cohesividad y elasticidad disminuye durante el tiempo de almacenamiento, pero aumenta a mayor contenido graso.

## REFERENCIAS

- [1] COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. OBSERVATORIO AGROCADENAS COLOMBIA. Caracterización de ovinos y caprinos. Bogotá (Colombia): 2006, 23 p.
- [2] KAROURI, R., DE BAEDERMAEKER, J. and DUFOUR, E.A. A comparison and joint use of mid infrared and fluorescence spectroscopic methods for differentiating between manufacturing processes and sampling zones of ripened soft cheeses. *European Food Research and Technology*, 226, 2008, p. 861-870.
- [3] FLOURY, J., CAMIER, B., ROUSSEAU, F., LOPEZ, C., TISSIER, J.P. and FAMELART, M.H. Reducing salt level in food: Part 1. Factors affecting the manufacture of model cheese systems and their structure-texture relationships. *LWT – Food Science and Technology*, 42, 2009, p. 1611-1620
- [4] HUSSAIN, I., BELL, A.E. and GRANDISON A.S. A Comparison of the rheology of mozzarella-type curd made from buffalo and cows' milk. *Food Chemistry*, 128(2), 2011, p. 500-504.
- [5] PAPPA, E., KANDARAKISB, I. and MALLATOUA, H. Effect of different types of milks and cultures on the rheological characteristics of Teleme cheese. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 2007, p. 143–149.
- [6] QUILLES, A. y HEVIA, M. Leche de cabra. Murcia (España): Universidad de Murcia, 1994, 28 p.
- [7] JHONSON, M.E., KAPOOR, R., Mc MAHON, D., Mc COY, D. and NARASIMMON, R. Reduction of Sodium and Fat Levels in Natural and Processed Cheeses: Scientific and Technological Aspects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8, 2009, p. 252-268
- [8] OSORIO, J.P., CIRO, H.J. y MEJÍA, L. Caracterización textural y fisicoquímica del queso EDAM. *Dyna*, 72(147), 2005, p. 33-45.
- [9] TORNADIJO, M., MARRA, A., GARCÍA, M., PRIETO, B. y CARABALLO, J. La calidad de la leche destinada a la fabricación de queso: Calidad química. *Ciencia y tecnología alimentaria*, 2(1), 1998, p. 79-91.
- [10] VERDALET, I. Importancia de las variantes genéticas de las proteínas sobre el comportamiento quesero de leches. *Información Tecnológica*, 9(6), 1998, p. 263-271.
- [11] ALVAREZ, S. y RODRIGUEZ, V. Correlación de textura color instrumental con la composición

- química de quesos canarios. Archivos de Zootecnia, 56, 2007, p. 663-666.
- [12] MULLER, H.G. Introducción a la reología de los alimentos. Madrid (España): Acribia, 1977, p. 8.