

Universidad
del Cauca

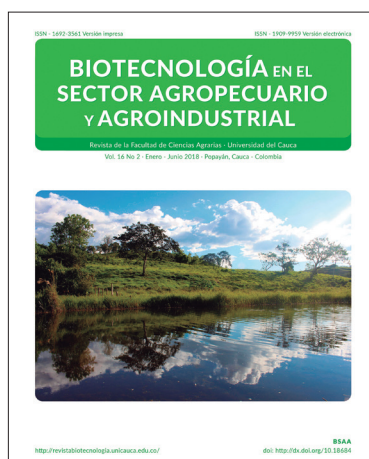


FOTO DE PORTADA
Cristián David Ordoñez Ordoñez
Universidad del Cauca



Dirección Revista
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad del Cauca
Calle 5 No.4-70 Popayán, Colombia
Teléfono: 311 768 15 72
e_mail de contacto, suscripciones e intercambio:
biotecnofaca@unicauca.edu.co
biotecnofaca2009@gmail.com
página web e inscripciones:
http://revistas.unicauca.edu.co/index.php/
biotecnologia
Revista Biotecnología en el Sector
Agropecuario y Agroindustrial
publica un volumen cada año con dos ediciones:
Primera: Enero - Junio
Segunda: Julio - Diciembre
- VRI - Vicerrectoría de Investigaciones
Universidad del Cauca

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

ISSN - 1692-3561
Versión Impresa



ISSN-e 1909-9959
Versión Electrónica

Universidad
del Cauca

Vol. 16 No 2 · Julio - Diciembre 2018

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

COMITÉ EDITORIAL

Héctor Samuel Villada - Ph. D. Universidad del Cauca Departamento de Agroindustria	Universidad de Holguín de Cuba José Ángel Gómez Ruiz - Ph.D Universidad Autónoma de Madrid, España
Silvio Andres Mosquera M. Sc. Universidad del Cauca Departamento de Agroindustria	Henry Armando Jurado Gámez - Ph.D. Universidad de Nariño
Sandra Morales Velasco M.Sc. Universidad del Cauca Departamento de Ciencias Agropecuarias	Jaime Ricardo Rosero Noguera - Ph.D. Universidad Nacional - Sede Medellín
Consuelo Montes M. Sc. Universidad del Cauca Departamento de Ciencias Agropecuarias	
Diana Paola Navia, M. Sc. Universidad San Buenaventura Cali, Colombia	
Jhon Wilder Zartha S. - M. Sc. Universidad Pontificia Bolivariana (UPB)	
Michael Peters - Ph.D. Universidad de Giessen - CIAT	
Ángel Pérez - Ph. D.	

COMITÉ CIENTÍFICO

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

Asistente Editorial
Willian Enrique Sotelo O.
Diseño y Diagramación
Área de Desarrollo Editorial
Universidad del Cauca
Impresión
Taller Editorial Universidad del Cauca
Carrera 3 N° 3 N - 51. - Popayán - Colombia



Universidad
del Cauca

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

Rector
José Luis Diago Franco

Vicerrector Académico
Luis Guillermo Jaramillo Echeverry

Vicerrectora Administrativa
Cielo Pérez Solano

Vicerrector De Investigaciones
Héctor Samuel Villada Castillo

Vicerrector De Cultura Y Bienestar
Deibar René Hurtado

Secretaría General
Laura Ismenia Castellanos Vivas

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Decano
Luis Alfredo Londoño Vélez

Secretaría General
Tania Maritza Pabón Ruíz

Jefe Departamento Agroindustria
Juan Fernando Vergara

Jefe Departamento Ciencias Agropecuarias
Roman Stechauner Roninger

Coordinador Programa Ingeniería Forestal
José Franco Alvis Gordo

Coordinador Programa De Ingeniería Agroindustrial
José Fernando Solanilla

Coordinador Programa De Ingeniería Agropecuaria
Víctor Felipe Terán Gómez

Coordinador Programa De Tecnología Agroindustrial
Raquel Eugenia de la Cruz Noguera

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

✦ INFORMACIÓN GENERAL

La Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial es una publicación con periodicidad semestral, arbitrada, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca, que acepta trabajos originales e inéditos 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 en temas como 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 (idioma sugerido para mayor visibilidad y factor de impacto), inglés y portugués.

✦ POLÍTICAS EDITORIALES

Compromiso de tipo formal. Con la remisión del manuscrito postulado para evaluación y publicación, el (los) autor(es) acepta(n) la totalidad de las condiciones estipuladas en las normas.

Compromiso de tipo ético. Los autores deben establecer, por escrito, un compromiso de tipo ético en cuanto a la originalidad del manuscrito postulado: *“El autor(es) firmante(s) declara que el manuscrito 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 institucional, 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. La concesión de Derechos de Autor significa la autorización para que la revista pueda hacer uso del manuscrito, o parte de él, con fines de divulgación y difusión de la actividad científica- tecnológica. En ningún caso, dichos derechos afectarán la propiedad intelectual que es propia de los(as) autores(as).

✦ PROCESO GENERAL

Envío de manuscritos. El texto completo de los trabajos en formato Word más la carta de presentación y la información de los evaluadores sugeridos (dos pares nacionales y dos internacionales), deben remitirse por correo electrónico (biotecnofaca@unicauca.edu.co o biotecnofaca2009@gmail.com) o por intermedio de la plataforma Open Journal System (OJS), luego del registro como usuario.

Proceso de evaluación. El proceso inicia con la revisión por parte del Comité Editorial que se reserva el derecho de rechazar un manuscrito (decisión definitiva e inapelable) que presente deficiencias en estructura y redacción y que no cumpla con las áreas temáticas, las normas de publicación y referencias pertinentes o sugerir modificaciones con el objeto de lograr una mejor calidad. Los trabajos aceptados se evaluarán a ciegas, por dos (2) árbitros expertos en el área de conocimiento, quienes emitirán un concepto detallado sobre la pertinencia y 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. Por ningún motivo se permitirá la evaluación simultánea de más de dos manuscritos por un autor proponente.

Si el concepto de los dos árbitros coincide, el Editor-Jefe acepta o rechaza el manuscrito. Si no coincide, se busca el concepto de un tercer árbitro: si es rechazado, el manuscrito y las observaciones de los árbitros se remiten a los autores para que consideren su publicación en otro medio. Si el manuscrito es aceptado con modificaciones menores o mayores, éste y las observaciones de los árbitros se remiten a los autores para que éstos remitan una versión revisada y corregida en máximo 20 días, acompañada de una carta dirigida al Editor-Jefe enumerando detalladamente los cambios realizados con base en las observaciones de los árbitros: será el Editor-Jefe quien decida sobre la aceptación de la versión corregida. Pasados los 20 días, el editor, a discreción, tratará el manuscrito como caducado, por lo que deberá ser presentado nuevamente siguiendo el proceso indicado.

TIPOS DE ARTÍCULOS

Artículos de investigación científica. Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de investigaciones culminadas y está constituido por: 1. INTRODUCCIÓN, 2. MÉTODO, 3. RESULTADOS, 4. CONCLUSIONES y 5. REFERENCIAS. Los agradecimientos son opcionales y se incluyen luego de las 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 y está constituido por: 1. INTRODUCCIÓN, 2. MÉTODO, 3. RESULTADOS, 4. CONCLUSIONES y 5. REFERENCIAS. Los agradecimientos son opcionales y se incluyen luego de las conclusiones.

Artículos de reflexión. Documento que presenta resultados de investigación sobre un tema específico bajo una óptica analítica, interpretativa y crítica del(los) autor(es) con base en fuentes originales (por lo menos 30 referencias). La estructura es: 1. RESUMEN, 2. INTRODUCCIÓN, 3. DESARROLLO DEL TEMA, 4. CONCLUSIONES y 5. REFERENCIAS.

Artículo de revisión (Review). Documento resultado de una revisión analítica y crítica de literatura (mínimo 50 referencias) sobre un campo en ciencia o tecnología en el que se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas para mostrar los avances científicos y las tendencias de desarrollo, más los aportes de los proponentes. Está compuesto por: 1. RESUMEN, 2. INTRODUCCIÓN, 3. DESARROLLO DEL TEMA, 4. CONCLUSIONES y 5. REFERENCIAS.

Cartas al editor. Son comunicaciones cortas, con posiciones críticas, analíticas o interpretativas sobre los manuscritos publicados previamente en la revista, temas o asuntos de interés profesional para los lectores, 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, con 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 ningún otro medio.
- Consistencia metodológica: en donde se haga evidente el uso de métodos y técnicas de investigación válidos.
- Significación del asunto tal que informe o ilustre situación relevante 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.

Partes del manuscrito

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 de los alcances de otros investigadores que alimenten la discusión.

Las **CONCLUSIONES** se describen de forma clara y precisa, derivadas del análisis de los resultados y con base en los objetivos planteados.

Los **AGRADECIMIENTOS** se incluyen si el autor(es) lo desea (n), redactados en forma sobria y que no supere 4 líneas.

Las **REFERENCIAS** deben contener todos los documentos consultados.

Formato general. La extensión máxima es de 12 páginas, en tamaño carta (21,59 cm de ancho y 27,94 cm de alto) con interlineado sencillo y contenido a doble columna (7,5 cm de ancho de columna) a partir de la INTRODUCCIÓN, escrito en Arial recta (excepto los nombres científicos que van en cursiva) de 11 puntos, márgenes de 3 cm en el borde superior, 2 cm en el inferior y 2,5 cm en las márgenes laterales. Las cifras decimales se separan con coma y los nombres científicos se escriben en cursiva. Cuando se usen siglas, debe indicarse el significado completo la primera vez, luego puede usarse la sigla como tal.

Título del manuscrito. Debe estar en los tres idiomas y hacer referencia al contenido de una forma clara y concisa, escrito en Arial recta 11 puntos (excepto los nombres científicos), mayúscula, negrilla y centrado y no debe exceder 15 palabras: si ello no es posible, deberá incluir un subtítulo luego de dos puntos.

Información del autor (es). Los autores se nombran según la importancia y contribución en la investigación o en la preparación del manuscrito, separados entre sí por comas y enumerados con superíndice. Posterior a los títulos, a dos interlíneas, centrado, en mayúscula y sin negrilla, incluir primer y segundo nombre si lo tiene, primer y segundo apellido separados por un guión medio. En nota al pie de página (Arial 8 puntos, en la parte inferior de la primera página y justificada) se indicará la filiación de cada autor, finalmente la palabra **Correspondencia** (en negrilla) y dos puntos, en la que debe aparecer el correo institucional del autor elegido para el envío de correspondencia.

Ejemplo:

¹Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de investigación Ciencia y Tecnología de Biomoléculas de Interés Agroindustrial (CYTBIA).
Máximo título profesional alcanzado. Ciudad, País.

Correspondencia: gfvssp@unicauca.edu.co

Resumen. La palabra RESUMEN debe justificarse al margen izquierdo, en mayúscula y negrilla, iniciando la escritura luego de dos interlíneas en un solo párrafo justificado sin exceder de 200 palabras e incluirá Introducción, justificación, objetivos, metodología, resultados y conclusiones de la investigación haciendo énfasis en los logros alcanzados. Debe ser conciso, escrito en español, inglés (**ABSTRACT**) y portugués (**RESUMO**).

Palabras clave. Se ubican luego de cada resumen. El título en mayúscula, negrilla, en español (**PALABRAS CLAVE**), inglés (**KEYWORDS**) y portugués (**PALAVRAS-CHAVE**) seguido de dos puntos. Se admiten, mínimo tres (3) y máximo cinco (5) palabras clave que no hagan parte del título, con la primera letra en mayúscula, separadas entre sí por coma y con punto al final.

Ejemplo:

PALABRAS CLAVE: Reología, Pos cosecha, Maduración, *Bactris gasipaes*.

Cuadros y figuras. Se acepta un máximo de 6 figuras y/o cuadros y deberán aparecer dentro del texto y procesarse en el formato original, con buen contraste y resolución (calidad mínima de 300 dpi) para evitar policromías y facilitar la diagramación. El título va en la parte superior y no debe superar dos líneas, en Arial recta normal 9, separado por una interlinea y con punto final; debe incluir la palabra Cuadro o Figura seguido del número arábigo consecutivo (en negrilla), un punto y una breve descripción (Ejemplo: **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 (en arial recta 11 puntos). Los de primer nivel (partes principales del manuscrito) con mayúscula sostenida y negrilla; los de segundo nivel con mayúscula inicial, negrilla y sin punto final, separados del texto por dos interlíneas. Los de tercer nivel con mayúscula inicial, negrilla y un punto seguido, continuando el texto en el mismo renglón luego de un espacio.

Ejemplo:

MÉTODO

Materiales

Material vegetal. El material vegetal usado.....

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 (para mayor facilidad, insertarlas en un cuadro de dos columnas, sin bordes), citándolas en el sitio indicado. El significado de las variables y sus respectivas unidades deben aparecer luego de que se utilicen por primera vez, usando el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Referencias. Deben ser al menos 20 y mínimo el 70% de ellas deben ser recientes (de los últimos tres años) y corresponder a artículos de investigación científica (al menos el 60% del total) de corriente principal que puedan respaldar lo escrito, minimizando el uso de literatura gris (tesis, de informes locales y de poco alcance, y de trabajos de congresos, a menos que sea necesario). Dentro del manuscrito se deben indicar según el orden de aparición y encerradas entre corchetes [1,2], notación que se mantendrá en la sección de **REFERENCIAS**. Se permitirá máximo un 15% de autocitación y se espera que gran parte de las citaciones provengan del idioma inglés. Si la referencia cuenta con 4 o más autores, usar *et al.*

Para las referencias se deben seguir estos criterios:

Artículo científico:

SMITH, J.S., SORIA-WHITE, 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, DOI (si lo tiene).

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): Instituto Argentino de Investigaciones, 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.

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 referencias electrónicas:

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

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

EDITORIAL

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

- 15 Biofertilización con hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) en especies forestales en vivero**
María Margarita Ramírez Gómez, Andrea María Peñaranda Rolon,
Urley Adrian Pérez Moncada, Diana Paola Serralde
- 26 Descripción del ciclo fenológico de cuatro ecotipos de (*Chenopodium quinoa* Willd.), en Puracé – Cauca, Colombia**
Consuelo Montes- Rojas, Guido Ary Burbano-Catuche,
Edwin Fernando Muñoz-Certuche Yimy Calderón-Yonda
- 38 Desvinculación económica del sector extractivo en Colombia**
Juliana Sarmiento-Castillo, Mario Pérez-Rincón, Mauricio Gómez-Sánchez
- 46 Estado de los recursos naturales en el parque nacional molino de flores Netzahualcōyotl**
Alejandro Herrera-Llampallas, Ariana Luque-Delgadillo,
Guillermo Ramírez-García, Anastasio Espejel-García,
Antonio Vázquez-Alarcón, Jesús D. Gómez-Díaz,
Alejandro I. Monterroso-Rivas
- 58 Estudios de estabilidad térmica sobre el ingrediente farmacéutico activo de la vacuna gavac®**
Rutdali M. Segura-Silva, Arlenis Alfaro-Martínez, Diasmarys Salinas-Rodriguez,
Alain Moreira-Rubio, Amaury Pérez-Sánchez
- 67 Evaluación de características de calidad en barras de cereales con alto contenido de fibra y proteína**
Luis Francisco Márquez-Villacorta, Carla Consuelo Pretell-Vásquez
- 79 Evaluación *in vitro* de la actividad antiplasmodial y citotóxica de plantas del sur pacífico colombiano (Tumaco, Nariño)**
Andrés Felipe Vargas-Sinisterra, Adriana Pabon-Vidal, Alexandra Rios-Orrego,
Gustavo Ramirez, Ena Patricia López- Barrios

88 Extracción de lípidos de la microalga *Scenedesmus sp.* con diferentes mezclas de solventes orgánicos

José Jovanny Bermudez-Sierra

99 Propiedades funcionales de almidones de ñame (*Dioscorea alata*)

Jairo Salcedo-Mendoza, Carlos García-Mogollón, David Salcedo-Hernández

ÍNDICE TEMÁTICO

ÍNDICE DE AUTORES

El desarrollo Agrario de una región es el resultado de la suma de múltiples intencionalidades, en ella convergen quienes se encargan de trazar políticas, los responsables de su ejecución, el sin número de productores y, desde luego, esa inmensa población responsable del desarrollo tecnológico, entre otros. Es en este ultimo caso, es en donde universidades e institutos de investigación unen esfuerzos para la búsqueda de soluciones a las diversas problemáticas que surgen en el quehacer de la producción Agropecuaria, agroindustrial, Forestal y en el manejo ambiental del sistema.

En esta ocasión, la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca, presenta a la comunidad científica y público en general, el Volumen 16 No. 2 de la revista Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial, en donde con nueve artículos se transmiten los principales resultados de investigación en las áreas Forestal, Agronómica, Política Medioambiental, Biotecnología y Agroindustria, obtenidos por la comunidad científica de Brasil, Cuba, Perú, México y diferentes regiones de Colombia. De esta manera, la revista cumple su función de comunicar a un amplio sector y de ser instrumento para la difusión del quehacer científico de grupos de investigación de los sectores públicos y privados en especial del continente americano.

Esta adición contiene temáticas diversas como es característica de la revista, se presentan resultados obtenidos por Corporación colombiana de investigación agropecuaria – Agrosavia en el uso de micorrizas como estrategia de biofertilización en especies de interés forestal, resaltando algunas de ellas en la respuesta agronómica y traslocación de nutrientes en dichas especies. De igual manera, se muestra el estudio del ciclo fenológico de la quinua, una de las especies con gran interés para la seguridad alimentaria en la zona andina y que cada día amplía mercados en el mundo, realizado por investigadores de la Universidad del Cauca presenta la opción de una variedad por su precocidad y otras bondades.

En referencia al área de política y medio ambiente, se visualiza un trabajo conjunto entre las universidades del Cauca y del Valle, donde se rechaza la hipótesis de los efectos positivos asociados a un modelo de desarrollo basados en explotación masiva de recursos naturales agotables, se denota el trabajo de los investigadores en el análisis matemático de las relaciones entre las actividades extractivas y el sector económico en Colombia. También, un grupo de investigadores de la Universidad Autónoma de Chapingo en Mexico, presentan a la comunidad científica sus hallazgos frente al inventario y estado actual de los recursos naturales en un parque Nacional de ese país y resaltan las principales causas de degradación de los mismos, es importante analizar en este artículo la metodología usada y su probable aplicación en estudios similares.

La biotecnología ocupa a investigadores de el Centro de Genética y Biotecnología de Camagüey así como de la Universidad de Camagüey en la Caribeña isla de Cuba, donde sus investigadores avanzan en la estabilización de la vacuna contra la garrapata, en esta ocasión verificando la estabilidad térmica, factor importante en el manejo de la misma. Así mismo, investigadores de las universidades de Caldas y de Antioquia, presentan sus principales avances científicos en la búsqueda de factores antimaláricos o antipalúdicos en plantas medicinales del sur de Colombia, como aporte al manejo de la Malaria; en esta misma área de la biotecnología, científicos de la Universidad de Ceará en Brasil, han estudiado diferentes métodos de extracción de lípidos presentes en microalgas como un avance en obtención de este biocompuesto útil en alimentación humana y animal o en la producción de biocombustibles.

Para terminar, la Universidad de Sucre y la Universidad de Córdoba de Colombia, muestran un análisis de las propiedades fisicoquímicas y reológicas del almidón de ñame, sus principales características y aplicaciones en los procesos agroindustriales de este producto típico del Caribe. Y la Universidad privada Antenor Urrego del Perú, a través de sus investigadores trae en esta ocasión un estudio que contempla la formulación de barras de cereales altas en fibra y proteína, elaboradas a partir de avena, quinua y piña, presentando la combinación ideal de estas materias primas la calidad nutricional resultante.

Este compendio contenido en nuestra publicación científica ha sido arbitrado por investigadores de prestigio en diferentes países y es para nosotros motivo de orgullo poder llevar a la comunidad científica y lectores en general un documento completo y variado que esperamos sea de su interés y utilidad. Gracias por convertirse en parte de esta revista, invitamos a participar de ella y comunicarnos sus percepciones.

Ph.D. NELSON JOSÉ VIVAS QUILA¹

1 Profesor titular Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad del Cauca, e-mail: nvivas@unicauca.edu.co

Biofertilización con hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) en especies forestales en vivero

Biofertilization with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in forest species in nursery

Biofertilização com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em espécies florestais em berçário

MARÍA MARGARITA RAMÍREZ GÓMEZ¹, ANDREA MARÍA PEÑARANDA ROLON²,
URLEY ADRIAN PÉREZ MONCADA³, DIANA PAOLA SERRALDE⁴

RESUMEN

El uso de Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA) se ha convertido en una interesante alternativa para reducir pérdidas en procesos de multiplicación, aclimatación y adaptación de diferentes especies vegetales (semestrales y perennes) a diversas condiciones agroecológicas. El objetivo de este estudio fue evaluar en vivero el efecto de la biofertilización con HFMA en 4 especies forestales Pachira

Recibido para evaluación: 16 de Enero de 2018.

Aprobado para publicación: 7 de Mayo de 2018.

- 1 Corporación colombiana de investigación agropecuaria - Agrosavia. Ph.D en Biotecnología. Kilómetro 14 vía Mosquera, Colombia.
- 2 Corporación colombiana de investigación agropecuaria - Agrosavia. M.Sc en Ciencias Ambientales. Kilómetro 14 vía Mosquera, Colombia.
- 3 Corporación colombiana de investigación agropecuaria - Agrosavia. M.Sc en Ciencias Biológicas. Kilómetro 14 vía Mosquera, Colombia.
- 4 Corporación colombiana de investigación agropecuaria - Agrosavia. M.Sc en Geofísica. Kilómetro 14 vía Mosquera, Colombia.

Correspondencia: uperez@agrosavia.co

quinata (Jac.) W.S. Alverson, *Gmelina arborea* Roxb, *Eucalyptus* sp. y *Acacia mangium* Willd. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, 30 plantas como unidad experimental y 6 tratamientos: dos testigos (con 50 y 100% de fertilización) y 4 inóculos de HFMA con el 50% de fertilización química. Se evaluaron variables como altura, diámetro y concentración de nutrientes. Las plantas inoculadas con *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp. presentaron los mayores valores en alturas y diámetros, así como una mayor translocación de nutrientes hacia las especies *G. arborea*, *P. quinata*, *A. mangium* y *Eucalyptus* sp. La simbiosis HFMA-especies forestales, tiene efectos benéficos sobre el desarrollo de las plantas, permitiendo reducción de tiempo y costos de producción en vivero.

ABSTRACT

The use Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) has become an interesting alternative to reduce losses in the multiplication, acclimatization and adaptation processes of different plant species (semester and perennial) to various agroecological condition. The aim of this research was to evaluate in greenhouse the effect of the biofertilization with AMF in four forest species, *Pachira quinata* (Jac.) W.S. Alverson, *Gmelina arborea* Roxb, *Eucalyptus* sp. y *Acacia mangium* Willd. A complete random blocks experiment were established with three repetitions, thirty plants as the experimental unit and six treatments: two controls (with 50 and 100% fertilization) and four AMF inocula + 50% chemical fertilization. Plant height, stem diameter and nutrient concentration were measured. The plants inoculated with *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp. presented the higher values in heights and diameters as well as a greater translocation of nutrients to the species *G. arborea*, *P. quinata*, *A. mangium* and *Eucalyptus* sp. AMF and forest species symbiosis has beneficial effects on plant development, which is reflected in the reduction of cost production and reduce time in greenhouse.

RESUMO

O uso de Fungos formadores de Micorrizas Arbusculares (FMA) tornou-se uma alternativa interessante para reduzir perdas em processos de multiplicação, aclimação e adaptação de diferentes espécies vegetais (semeadras e perenes) em diversas condições agroecológicas. O objetivo deste estudo foi avaliar em viveiro o efeito da biofertilização com HFMA em 4 espécies florestais *Pachira quinata* (Jac.) W.S. Alverson, *Gmelina arborea* Roxb, *Eucalyptus* sp. e *Acacia mangium* Willd. Foi utilizado um formato de blocos completos aleatórios com três repetições, 30 plantas como unidade experimental e 6 tratamentos: dois controles (com 50 e 100% de fertilização) e 4 inóculos de HFMA com 50% de fertilização química. Foram avaliadas variáveis como altura, diâmetro e concentração de nutrientes. As plantas inoculadas com *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp. apresentaram os maiores valores em alturas e diâmetros, bem como uma maior translocação de nutrientes para as espécies *G. arborea*, *P. quinata*, *A. mangium* e *Eucalyptus* sp. A simbiose HFMA de espécies florestais, tem efeitos benéficos sobre o desenvolvimento de plantas, permitindo redução de tempo e custos de produção em viveiro.

PALABRAS CLAVE:

Simbiosis, Nutrición vegetal, Glomeromycota, Micorriza

KEYWORDS:

Symbiosis, Plant nutrition, Glomeromycota, Mycorrhiza

PALAVRAS-CHAVE:

Simbiose, Nutrição vegetal, Glomeromycota, Micorrizas

INTRODUCCIÓN

La deforestación, a nivel mundial es uno de los procesos de degradación ambiental de alto impacto negativo en la sostenibilidad y competitividad de los ecosistemas, que genera pérdidas de biodiversidad, degradación de suelos, aguas y cambios en los microclimas de las regiones afectadas y del clima a nivel global. A pesar de que en los últimos 25 años la deforestación ha venido disminuyendo en más del 50% aún se siguen deforestando los bosques a nivel mundial [1].

En Colombia la región Caribe ocupa el cuarto puesto en zonas de alta deforestación presentando un 13% de la superficie deforestada [2], asociado a fuertes problemas de degradación de suelos, aguas y pérdidas de biodiversidad, lo cual requiere programas de recuperación basados en establecimiento de plantaciones forestales y agroforestales. Frente a esta problemática la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF) han priorizado la necesidad de establecer plantaciones forestales en los planes de desarrollo del sector, con líneas de investigación en evaluación de recursos genéticos, nutrición forestal mediante sistemas de fertilización orgánica y biológica y manejo de suelos, para optimizar la producción, lograr rendimientos competitivos y lograr una sostenibilidad ambiental, económica y social en este sector productivo [3,4].

En especies arbóreas, se presentan limitantes en la producción tanto a nivel de vivero, trasplante y plantación establecida, relacionados con los procesos de multiplicación, aclimatación y adaptación de los cultivos a diversas condiciones agroecológicas. El uso de biofertilizantes con base en Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA) se han convertido en una interesante alternativa para reducir pérdidas en estos procesos, ya que se han demostrado en un alto número de cultivos (semestrales y perennes) el efecto benéfico relacionado con mayor supervivencia de plantas a nivel de vivero debido al incremento en el crecimiento de raíces y mejor nutrición en estados tempranos de desarrollo; reducción de tiempos en vivero por las mayores tasas de crecimiento y acumulación de biomasa y mejor adaptación a condiciones de estrés hídrico y nutricional bajo condiciones de campo [5,6,7]. Estos efectos se ven reflejados en incrementos en supervivencia a nivel de vivero y trasplante, capacidad de producción de biomasa y en

la calidad del producto final, que para el productor forestal se convierten en mayor competitividad y sostenibilidad, con reducciones de costos de producción y mejora en los ingresos [8-10].

La simbiosis entre HFMA y el 80% de las especies vegetales, es una de las asociaciones más antiguas, con evidencias de su existencia desde hace más 400 millones de años, jugando un papel predominante en la adaptación de plantas a los ecosistemas terrestres, empleando mecanismos de co-evolución HFMA-plantas [11,12]. Uno de los beneficios de esta simbiosis más estudiados, a nivel mundial, está relacionado con la nutrición vegetal en ambientes con restricción de nutrientes, en donde, mediante mecanismos de intercambio bidireccional de nutrientes la planta suministra al hongo carbohidratos para su metabolismo y el hongo favorece la toma y transporte de nutrientes que la planta requiere [13]. La simbiosis favorece la tolerancia de la planta a estrés biótico o abiótico, mejora las características físicas del suelo y favorece la diversificación de especies vegetales en ecosistemas [14-18].

Estudios realizados sobre diversidad de HFMA asociados a diferentes especies de árboles maderables y no maderables han demostrado que existe una amplia gama de morfoespecies de HFMA asociados a la rizosfera de estos árboles [7,19-24] lo que sugiere que los HFMA pueden ser utilizados en especies arbóreas o arbustivas en forma de biofertilizantes, en plantas con cualquier tipo de reproducción por semilla, vegetativa o por producción *in vitro*, constituyéndose en una alternativa valiosa para solucionar problemas de propagación, aclimatación y nutrición de las especies, permitiendo establecer sistemas de producción más eficientes, precoces y productivos, que contribuyen con la sostenibilidad por que requieren una menor aplicación de insumos fertilizantes, riego y pesticidas, con sus respectivas reducciones en costos de insumos y mejoras en la eficiencia en el establecimiento y producción en sistemas forestales. Adicionalmente, esta tecnología puede ser fácilmente transferible a técnicos y agricultores [25].

El objetivo de este estudio fue evaluar 4 inóculos de HFMA que fueron aislados de plantaciones forestales del Caribe Colombiano, sobre el crecimiento y absorción de nutrientes de *Pachira quinata*, *Gmelina arborea*, *Eucalyptus* sp. y *Acacia mangium* bajo condiciones de vivero.

MÉTODOS

Ubicación del experimento y material vegetal

La investigación se realizó en la estación experimental Monterrey Forestal, ubicada en el Municipio de Zambrano, Departamento de Bolívar, Colombia, localizado a 9°44'41"N y 74°49'02"O a una altitud de 20 m.s.n.m con una temperatura media de 28°C, donde se establecieron ensayos a nivel de vivero para cada una de las cuatro especies forestales de mayor difusión en la zona: *P. quinata*, *G. arborea*, *Eucalyptus* sp. y *A. mangium*. La obtención de las plántulas fue a partir de semilla sexual. La germinación de las semillas se realizó bajo invernadero utilizando como sustrato Cisco y empleándose 300 semillas por especie.

Microorganismos

Estudios previos realizados por la alianza Corpoica-Pizano [25], permitieron seleccionar y consolidar cuatro inóculos con HFMA nativos aislados de suelos asociados a especies forestales. Estos inóculos estuvieron conformados por esporas nativas, de la siguiente forma: El Inóculo 1 con esporas de *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp.; el inóculo 2 de *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Scutellospora* sp.; el inóculo 3 de *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp. y el inóculo 4 de *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Entrophospora* sp. La multiplicación de todos los inóculos se realizó en los invernaderos de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Corpoica en el centro de investigación Tibaitatá, utilizando como hospedero *Brachiaria decumbens* Stapf (1919), sembradas en materos de 500 g, usando como sustrato suelo y arena estéril en proporción 3:1 e inoculando aproximadamente 70 esporas por materia. Después de cinco meses los inóculos se recogieron y llevaron al laboratorio para su posterior lectura de esporas de HFMA mediante la metodología propuesta por Gendermann and Nicholson (1963) con algunas modificaciones [26].

Diseño experimental

El diseño experimental empleado fue bloques completos al azar con 3 repeticiones, 30 plántulas como unidad experimental y seis tratamientos: 4 inóculos de HFMA y dos testigos con el 50% y 100% de fertilización química (Cuadro 1). Estos ensayos se establecieron utilizando como sustrato, suelo + arena en proporción 3:1 v/v. Las plántulas se sembraron en

Cuadro 1. Tratamientos para evaluación de HFMA a nivel de vivero en cuatro especies forestales.

Tratamientos	HFMA	Fertilización
T1	<i>Glomus</i> sp + <i>Acaulospora</i> sp.	50%
T2	<i>Glomus</i> sp. + <i>Acaulospora</i> sp. + <i>Scutellospora</i> sp.	50%
T3	<i>Glomus</i> sp. + <i>Gigaspora</i> sp.	50%
T4	<i>Glomus</i> sp. + <i>Acaulospora</i> sp. + <i>Entrophospora</i> sp.	50%
T5	Testigo 1	50%
T6	Testigo 2	100%

bandejas de 50 cubetes. En cada sitio de siembra, se inocularon aproximadamente 70 esporas de HFMA plántula⁻¹. La fertilización de los tratamientos se realizó al inicio del experimento aplicando un fertilizante químico de lenta liberación (16-8-12 + (2 MgO) + micro elemento con una dosis de 1 g planta⁻¹ para el testigo 100% y la mitad de la dosis para el testigo 50% y los tratamientos con HFMA.

Sistema de muestreo y variables analizadas

Se realizaron con frecuencia quincenal muestreos no destructivos en las especies bajo estudio: *P. quinata*, *G. arborea*, *Eucalyptus* sp. y *A. mangium*, se midieron variables de desarrollo de las plantas como: altura (cm) y diámetro de tallo (mm). Adicionalmente, se realizó análisis químico de tejido vegetal de los nutrientes esenciales: Nitrógeno (Kjeldahl EPA 351,3 modificado), Fósforo (Digestión abierta nítrico:perclórico (5:2)/Espectrofotometría), Potasio, Calcio y Magnesio (Digestión abierta nítrico:perclórico (5:2)/espectrometría de absorción atómica).

Análisis estadístico

Para las variables de altura y diámetro del tallo se realizó un ANAVA previa confirmación de los supuestos de normalidad y homocedasticidad con los estadísticos de Shapiro-Wilk y la prueba de comparación de medias de Tukey para los análisis paramétricos que resultaron significativos. Los análisis fueron realizados con el programa STATISTIX 9.0 software (Analytical Software, Tallahassee, FL, USA). Los resultados de absorción de nutrientes son tendencias, ya que corresponden al promedio de los tres bloques; sin embargo, como el tamaño de la muestra de planta es tan pequeño para los análisis químicos, no se realizó estadística.

RESULTADOS

Efecto de la inoculación con HFMA sobre el crecimiento en las especies forestales *G. arborea*, *P. quinata*, *Eucalyptus* sp. y *A. mangium*

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que para *G. arborea* en la variable de altura, solo se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) de acuerdo a la prueba de comparación de medias Tukey a la sexta semana de evaluación, en donde el tratamiento T2 (*Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Scutellospora* sp.) y T3 (*Glomus* sp. + *Gigaspora* sp.) alcanzaron los mayores valores (27,6 y 25,8 cm, respectivamente) en comparación con el tratamiento fertilizado químicamente al 50% (T5) (19,4 cm) (Cuadro 2). Para el caso del diámetro del tallo solo se encontraron diferencias a la 12 semana después de la siembra (sds) en donde el T6 (fertilizado químicamente con el 100%) obtuvo el mayor valor (5,55 mm), sin embargo, en esta misma semana tanto el T6 como el T2 alcanzaron los valores óptimos en diámetro (≥ 5 mm) al cuello de tallo para su trasplante (Cuadro 2); para la 14 sds todos los tratamientos excepto el testigo 1 (T5), alcanzaron los 5 mm de diámetro. Aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para la altura y el diámetro en la mayoría de las semanas evaluadas, se puede observar que los tratamientos inoculados con HFMA obtuvieron valores similares o superiores al tratamiento fertilizado al 50%, siendo el T2 el que mayor valor obtuvo durante todo el tiempo de evaluación (Cuadro 2). Este resultado, refleja la ventaja del uso de HFMA, en estados iniciales de las plantas en vivero. De acuerdo a los resultados obtenidos para esta especie, la inoculación con HFMA favoreció el rápido crecimiento de las plantas permitiendo menor tiempo de permanencia en vivero lo cual es ideal para los productores.

En el caso de *Pachira quinata* no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) en la altura de las plantas de acuerdo a la prueba de comparación de medias Tukey. Aunque no se presentaron diferencias entre tratamientos se puede observar que todos los tratamientos inoculados con HFMA presentaron mayores valores en altura en comparación a los dos testigos (fertilizados químicamente al 50 y 100%) (Cuadro 3). En cuanto al diámetro solo se encontraron diferencias a la semana 10 en donde el tratamiento T3 fue el que obtuvo el mayor valor (4,15 mm) en esta variable en comparación a los dos testigos (T5 y T6) presentando los menores valores (2,92

y 3,47 mm respectivamente). Las plantas de *P. quinata* alcanzaron el diámetro adecuado (≥ 5 mm) para su trasplante a campo en la semana 14, en donde el T3 fue el único que alcanzó este valor (5,06 mm) (Cuadro 3). De los tratamientos inoculados se destaca el comportamiento de T3 (*Glomus* sp. + *Gigaspora* sp.), que representan potencial para el productor, ya que con estos tratamientos se reduce la fertilización en vivero y se obtienen plantas óptimas en altura en un menor tiempo que con la fertilización completa (T6).

Cuadro 2. Efecto de la inoculación con HFMA sobre parámetros de crecimiento en *G. arborea*.

Tratamientos	Altura (cm)		Diámetro (mm)			
	Sds		Sds			
	6	8	6	8	10	12
T1	24,1 ^{ab}	39,1 ^a	3,1 ^a	4,0 ^a	4,3 ^a	4,8 ^{ab}
T2	27,6 ^a	42,2 ^a	3,4 ^a	4,2 ^a	4,6 ^a	5,1 ^{ab}
T3	25,8 ^a	41,8 ^a	3,2 ^a	3,8 ^a	4,2 ^a	4,7 ^{ab}
T4	24,7 ^{ab}	39,3 ^a	3,2 ^a	4,1 ^a	4,5 ^a	4,9 ^{ab}
T5	19,4 ^b	35,2 ^a	3,2 ^a	4,0 ^a	4,4 ^a	4,4 ^b
T6	24,1 ^{ab}	40,5 ^a	3,2 ^a	4,3 ^a	5,1 ^a	5,5 ^a

Nota: Letras diferentes corresponden a diferencias significativas ($P \leq 0,05$) de acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey. Sds: semana después de la siembra. T1: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp., T2: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Scutellospora* sp., T3: *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp., T4: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Entrophospora* sp., T5: Fertilización química al 50% y T6: Fertilización química al 100%.

Cuadro 3. Efecto de la inoculación con HFMA sobre parámetros de crecimiento en *P. quinata*.

Tratamientos	Altura (cm)		Diámetro (mm)				
	Sds		Sds				
	6	8	6	8	10	12	14
T1	18,3 ^a	19,2 ^a	2,6 ^a	3,2 ^a	3,6 ^{ab}	4,1 ^a	4,2 ^a
T2	17,1 ^a	18,1 ^a	2,7 ^a	3,1 ^a	3,4 ^{ab}	4,2 ^a	4,5 ^a
T3	18,5 ^a	21,6 ^a	2,7 ^a	3,4 ^a	4,1 ^a	4,7 ^a	5,0 ^a
T4	18,9 ^a	20,6 ^a	2,7 ^a	3,2 ^a	3,7 ^{ab}	4,3 ^a	4,6 ^a
T5	14,1 ^a	15,7 ^a	2,1 ^a	3,7 ^a	2,9 ^b	3,7 ^a	3,9 ^a
T6	15,7 ^a	16,8 ^a	2,3 ^a	3,7 ^a	3,4 ^{ab}	3,8 ^a	4,0 ^a

Nota: Letras diferentes corresponden a diferencias significativas ($P \leq 0,05$) de acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey. Sds: semana después de la siembra. T1: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp., T2: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Scutellospora* sp., T3: *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp., T4: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Entrophospora* sp., T5: Fertilización química al 50% y T6: Fertilización química al 100%.

Los resultados obtenidos en la especie *Eucalyptus* sp. muestran diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) de acuerdo a la prueba de comparación de medias Tukey en la altura y diámetro de las plantas, la altura es una de las variables importantes a tener en cuenta para el trasplante a campo, en donde la óptima está entre 15 a 20 cm [27]. Lo anterior se confirma con los resultados obtenidos en este estudio, donde la altura ideal para el trasplante a campo se alcanzó a partir de la 4 sds con el tratamiento 3 (*Glomus* sp. + *Gigaspora* sp.) (Cuadro 4), demostrando los beneficios del uso de HFMA en la reducción de hasta 8 semanas en vivero para plántulas de *Eucalyptus* sp.

El eucalipto tiene la capacidad de asociarse con dos tipos de micorrizas, con HFMA y ectomicorrizas, los HFMA juegan un papel importante sobre plantas jóvenes y las ectomicorrizas sobre plantas de mayor edad. Estudios realizados por Holste *et al* [28], en *Eucalyptus grandis* con HFMA y ectomicorrizas sobre el crecimiento y contenido de nutrientes con combinaciones bajas y altas de nitrógeno (N) y fósforo (P) con diferentes relaciones bajo condiciones de invernadero, encontraron que la co-inoculación de HFMA y ectomicorrizas en *E. grandis* afectó positivamente el peso seco radical, mientras que la inoculación en forma individual con HFMA aumentó el contenido de nutrientes en el tejido vegetal de esta especie. Todos estos resultados demuestran la importancia del uso de HFMA durante etapas tempranas de crecimiento de esta especie vegetal.

Para el caso de *A. mangium*, en promedio, las plantas llegaron a 13 cm de altura a las 12 sds. En el cuadro 5 se presentan los resultados obtenidos en esta especie en donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas a lo largo de todo el período de monitoreo. En este tiempo se evidencia el efecto positivo del tratamiento de inoculación 3, el cual superó en altura al testigo con el 50% de la fertilización (T5 y T6). Para el diámetro se encontraron diferencias en la 2, 6, 8, 10 y 12 sds en donde el tratamiento T3 presentó valores promedios más altos que los testigos fertilizados al 50 y 100% en las semanas evaluadas (Cuadro 5).

Co-inoculaciones realizadas con los HFMA *Acaulospora scrobiculata*, *Scutellospora calospora* y la bacteria solubilizadora de fosfato *Paenibacillus polymyxa* demostraron que pueden mejorar el crecimiento, la absorción de nutrientes y la calidad en las plantas de *Acacia auriculiformis*, las plantas inoculadas tanto de forma simples como combinadas con estos microorganismos

fueron un 83% más altas que los controles, así mismo se presentaron mayores incrementos en la longitud de la raíz, diámetro del tallo, peso seco de la parte aérea y de la raíz en todas las plantas inoculadas con HFMA y *P. polymyxa* de forma individual y combinada [29]

En los ecosistemas naturales los HFMA no se encuentran asociados a una sola especie vegetal, sino por el contrario existe una alta diversidad de estos hongos que pueden estar colonizando diferentes sistemas de raíces, sin embargo, la eficiencia de la simbiosis podría diferir según el genotipo tanto de la planta hospedera

Cuadro 4. Efecto de la inoculación con HFMA sobre la altura en *Eucalyptus* sp.

Tratamientos	Altura (cm)		
	Sds		
	4	6	8
T1	14,7 ^{ab}	23,3 ^{ab}	30,3 ^a
T2	13,1 ^{ab}	19,3 ^b	24,8 ^a
T3	16,5 ^a	27,3 ^a	33,2 ^a
T4	9,4 ^b	18,1 ^b	22,8 ^a
T5	11,8 ^{ab}	20,0 ^{ab}	27,0 ^a
T6	14,1 ^{ab}	21,2 ^{ab}	27,4 ^a

Nota: Letras diferentes corresponden a diferencias significativas ($P \leq 0,05$) de acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey. Sds: semana después de la siembra. T1: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp., T2: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Scutellospora* sp., T3: *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp., T4: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Entrophospora* sp., T5: Fertilización química al 50% y T6: Fertilización química al 100%.

Cuadro 5. Efecto de la inoculación con HFMA sobre parámetros de crecimiento en *A. mangium*.

Tratamientos	Altura (cm)			Diámetro (mm)		
	Sds			Sds		
	8	10	12	8	10	12
T1	9,9 ^{ab}	10,8 ^{ab}	12,3 ^{ab}	1,7 ^{bc}	1,8 ^{bc}	1,9 ^{abc}
T2	11,0 ^{ab}	11,9 ^{ab}	13,2 ^{ab}	1,8 ^{abc}	1,86 ^{abc}	2,0 ^{abc}
T3	12,7 ^a	13,7 ^a	15,1 ^a	2,0 ^a	2,06 ^{ab}	2,2 ^{ab}
T4	10,0 ^{ab}	10,7 ^{ab}	12,1 ^{ab}	1,7 ^{bc}	1,7 ^c	1,9 ^{bc}
T5	8,6 ^b	9,4 ^b	10,8 ^b	1,6 ^c	1,7 ^c	1,8 ^c
T6	11,7 ^{ab}	12,9 ^{ab}	14,2 ^{ab}	1,9 ^{abc}	2,08 ^a	2,3 ^a

Nota: Letras diferentes corresponden a diferencias significativas ($P \leq 0,05$) de acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey. Sds: semana después de la siembra. T1: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp., T2: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Scutellospora* sp., T3: *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp., T4: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Entrophospora* sp., T5: Fertilización química al 50% y T6: Fertilización química al 100%.

como la del HFMA [30-33]. En ese sentido los resultados obtenidos en este estudio demuestran el efecto benéfico que tiene la biofertilización de HFMA en especies forestales en las cuales, dependiendo del género y la especie presentes en cada inóculo, difieren los beneficios observados, aunque, en términos generales, todos los inóculos de HFMA evaluados presentaron efectos positivos sobre el crecimiento de estas especies, alcanzando valores similares e incluso superior, en algunos casos a los tratamientos en donde se aplicó fertilización de síntesis química al 50 y 100%.

Las especies forestales bajo estudio sugieren que el inóculo de HFMA más eficiente para efectos de evaluación del desarrollo de las plantas y estado óptimo para trasplante a campo es el inóculo 3, que es un inóculo mixto de HFMA con predominio de los géneros *Glomus* sp. y *Gigaspora* sp. Este inóculo, de acuerdo con los resultados obtenidos permite alcanzar en un menor tiempo la robustez necesaria para pasar de vivero a campo, lo cual se ve reflejado en una disminución de costos de producción por la reducción de fertilizantes de síntesis química y en labores de campo asociadas a la etapa de vivero. Resultados encontrados por Ramírez *et al* [25], concuerdan con los obtenidos en este estudio en donde plantas de *G. arborea* inoculadas con HFMA alcanzaron mayor crecimiento y grosor del tallo aproximadamente 3 meses después de la siembra a nivel de vivero que los testigos con fertilización química. En consecuencia, es posible determinar que una de las ventajas que ofrece la inoculación con HFMA, es la optimización en la absorción de nutrientes, por lo que se obtienen plantas mejor nutridas con una menor dosis de fertilización y el desarrollo agronómico de las plantas se ve favorecido por la inoculación con estos microorganismos.

En un estudio realizado en plantas de *Tectona grandis* inoculadas con HFMA nativos bajo condiciones *in vitro* y *ex vitro*, encontraron que las plantas de *T. grandis* responden a la inoculación con HFMA en donde para los ensayos *ex vitro* las plantas inoculadas con *Claroideoglomus etunicatum* PBT03 fue el que presentó la mayor altura y diámetro del tallo comparado con los demás tratamientos inoculados con HFMA y el control no inoculado, mientras que para los ensayos *in vitro* las plantas que estaban inoculadas con *Funneliformis mosseae* RYA08 fue el que presentó los mayores valores en altura y peso seco de la planta en comparación a los demás tratamiento [7].

Retama-Ortiz *et al* [34], evaluaron el efecto que tienen 10 consorcios de HFMA nativos aislados de la rizosfera de *Liquidambar styraciflua* e inoculados en 4 especies de árboles (*L. styraciflua*, *Terminalia amazonia*, *Cordia alliodora* y *Cojoba arborea*) encontrando que las especies *L. styraciflua*, *Terminalia amazonia*, *Cojoba arborea* tuvieron una mayor respuesta a la inoculación con los HFMA evaluados, mostrando una mayor altura, número de hojas y peso seco total en comparación al control.

Aunque en la literatura se encuentran muy pocos estudios realizados con HFMA en las especies forestales evaluadas en esta investigación, el efecto benéfico que tienen los HFMA sobre especies forestales en vivero y campo ha sido muy bien reportado en donde se han encontrado resultados similares a los obtenidos en este trabajo, como una mayor altura y diámetro de las plantas, mayor acumulación de materia seca en hojas y raíz y un mayor porcentaje de supervivencia en el trasplante a campo cuando estas están inoculadas con HFMA, bien sea en forma simple o co-inoculadas con otros HFMA y bacterias promotoras de crecimiento vegetal [29,35-39].

Efecto de la inoculación con HFMA sobre la absorción de nutrientes en las especies forestales *G. arborea*, *P. quinata*, *Eucalyptus* sp. y *A. mangium*

Para la especie *G. arborea*, se puede observar que el tratamiento T1 inoculado con *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. fue superior al testigo 50% (T5) en la absorción de nutrientes como el nitrógeno (N) y magnesio (Mg). Mientras que, este mismo tratamiento (T1) obtuvo valores similares al testigo 100% (T6) en la absorción de nutrientes como fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y Magnesio (Mg) (Cuadro 6).

En *P. quinata* las mayores absorciones de N, P, K, Ca y Mg se presentaron en los tratamientos inoculados con HFMA (T3 y T4) en comparación con el tratamiento fertilizado químicamente al 50% (Cuadro 5). En la absorción de nitrógeno se encontró que el T6 obtuvo los mayores valores (0.172 g de N planta⁻¹), sin embargo, en los tratamientos T3 y T4 (0.145 y 0.146 g de N planta⁻¹ respectivamente) se encontraron valores superiores al tratamiento fertilizado al 50% (0.104 g de N planta⁻¹), en este mismo sentido.

ocurrió con la absorción de K y Mg en donde el T6 fue el que obtuvo los mayores valores pero los tratamientos T3 y T4 presentaron valores superiores al T5. La absorción de P por parte de la planta fue mayor en el tratamiento inoculado con *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp. (T3) en donde éste al estar fertilizado con el 50% presentó mayor absorción de este elemento en comparación a los testigos fertilizados con el 50 y 100% (T5 y T6), esta misma tendencia se presentó con la absorción de Ca en donde los tratamientos T3 y T4 fertilizados químicamente con el 50% superaron a los testigos (T5 y T6) (Cuadro 6).

La respuesta a la inoculación con HFMA en la concentración de nutrientes en *Eucalyptus* sp. se observa en cuadro 5. De acuerdo a los resultados obtenidos en la concentración de nitrógeno y K, el tratamiento T1 fue el que presentó los mayores valores (0,091 g de N y 0,064 g de K planta⁻¹) de absorción de estos elementos, seguido de los tratamientos T4 (0,074 g de N y 0,057 g de K planta⁻¹) y T3 (0,069 g de N y 0,055 g de K planta⁻¹) en comparación con los tratamientos fertilizados químicamente al 50% (0,060 g de N y 0,031 g de K planta⁻¹) y al 100% (0,063 g de N y 0,047 g de K planta⁻¹) (Cuadro 6). Se observó que en la absorción de P los mayores valores promedios (0,026 g de P planta⁻¹) se obtuvieron en el tratamiento inoculado con *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Entrophospora* sp. (T4) comparado con los testigos T5 (0,011 g de P planta⁻¹) y T6 (0,013 g de N planta⁻¹) (Cuadro 6). La tendencia en la absorción de Ca y Mg fue similar en donde el tratamiento T6 fue el que obtuvo los mayores valores (0,034 g de Ca y 0,015 g de Mg planta⁻¹), sin embargo, los tratamientos T3 (0,027 g de Ca y 0,012 g de Mg planta⁻¹) y T4 (0,026 g de Ca y 0,012 g de Mg planta⁻¹) obtuvieron valores superiores al T5 (0,012 g de Ca y 0,07 g de Mg planta⁻¹) que se encontraba fertilizado con el 50% sin inoculación.

Con relación a la respuesta a la inoculación con HFMA en la concentración de nutrientes para la especie *A. mangium* se encontró que el tratamiento T5 fue el que obtuvo los mayores promedios en absorción de N, sin embargo, los tratamientos T1, T3 y T4 fueron superiores al testigo 100% (T6) en la absorción de este mismo elemento (Cuadro 5). La absorción de K, Ca y Mg en la planta por parte del T4 (*Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Entrophospora* sp.) presentó los mayores valores de estos elementos en comparación a los testigos fertilizados con el 50 y 100% sin inocular (Cuadro 6). La absorción de P en plantas de *A.*

mangium fue mayor en el tratamiento T1 (0,017 g de P planta⁻¹) en comparación a los testigos con el 50% (0,015 g de P planta⁻¹) y 100% (0,015 g de P planta⁻¹).

La asociación simbiótica mutualista micorriza – planta está basada en el intercambio bidireccional de nutrientes particularmente el P [5,13,40]. Las plantas pueden tomar los nutrientes a partir de dos vías: la primera es a través de las células epidérmicas cerca del ápice de la raíz y de los pelos radicales y la otra a través del

Cuadro 6. Tendencias sobre la absorción de nutrientes en tres especies forestales (*G.melina*, *P. quinata*, *Eucalyptus* sp. y *A.mangium*)

Tratamientos	Concentración de nutrientes (g·planta ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg
<i>Gmelina arborea</i>					
T1	0,411	0,018	0,376	0,103	0,081
T2	0,263	0,014	0,198	0,101	0,036
T3	0,290	0,021	0,283	0,083	0,051
T4	0,233	0,013	0,146	0,082	0,028
T5	0,331	0,019	0,375	0,148	0,049
T6	0,466	0,026	0,374	0,095	0,082
<i>Pachira quinata</i>					
T1	0,088	0,009	0,058	0,059	0,020
T2	0,087	0,013	0,054	0,055	0,017
T3	0,145	0,020	0,070	0,076	0,026
T4	0,146	0,015	0,065	0,085	0,029
T5	0,104	0,013	0,061	0,056	0,021
T6	0,172	0,013	0,082	0,069	0,031
<i>Eucalyptus</i> sp					
T1	0,091	0,011	0,064	0,024	0,012
T2	0,050	0,012	0,036	0,010	0,008
T3	0,069	0,017	0,055	0,027	0,012
T4	0,074	0,026	0,057	0,026	0,012
T5	0,060	0,011	0,031	0,012	0,007
T6	0,063	0,013	0,047	0,034	0,015
<i>Acacia mangium</i>					
T1	0,056	0,017	0,037	0,026	0,009
T2	0,041	0,015	0,029	0,027	0,010
T3	0,000	0,009	0,039	0,017	0,010
T4	0,057	0,014	0,052	0,045	0,015
T5	0,064	0,015	0,036	0,038	0,013
T6	0,045	0,015	0,030	0,030	0,011

Nota: T1: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp., T2: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Scutellospora* sp., T3: *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp., T4: *Glomus* sp. + *Acaulospora* sp. + *Entrophospora* sp., T5: Fertilización química al 50% y T6: Fertilización química al 100%.

micelio extrarradical de los HFMA. La captación de P a través de la raíz es rápida y como resultado hay un agotamiento progresivo de este nutriente y es ahí en donde juega un papel muy importante el micelio extrarradical de los HFMA en donde éste tiene una alta afinidad por transportadores de fósforo inorgánico (Pi) para ser trasferido a la corteza de la raíz [5, 41]. En ese contexto los resultados obtenidos en la absorción de Pi en este estudio demuestran que los HFMA jugaron un papel muy importante en la translocación de este nutriente a las diferentes especies forestales evaluadas, ya que la absorción de este elemento por parte de los HFMA dependiendo del tipo de inóculo y de la especie forestal, se incrementó en comparación al testigo fertilizado con el 50% y en algunas ocasiones se obtuvieron valores iguales o mayor al testigo fertilizado al 100% sin inocular (Figuras 1, 2, 3 y 4). En estudios realizados por Sharma and Adholeya [42] en donde evaluaron la absorción de P en 3 especies arbóreas forestales (*Acacia nilotica* var. *cupressiformis*, *Albizia lebbek* y *Eucalyptus tereticornis*), encontraron que de diez especies de HFMA evaluadas, *Glomus intraradices* (HFMA 1004) y una mezcla de HFMA (HFMA-1209) obtuvieron la mayor absorción de fósforo (P) en los brotes de estas especies, adicionalmente, la inoculación con estos dos tipo de HFMA dio el mayor peso seco y esto se correlaciono altamente con la absorción de P.

Adicional a los resultados encontrados en la absorción de P por parte de los HFMA inoculados en las diferentes especies forestales evaluadas en este estudio, se presentaron resultados similares con los obtenidos en la absorción de los demás nutrientes (N, K, Ca y Mg), en donde en general las plantas que estaban inoculadas con HFMA presentaron valores superiores o iguales a los testigos (T5 y T6).

Otros estudios realizados en *A. auriculiformis*, *Schizolobium parahyba* y *Schizolobium parahyba* var *amazonicum* [29,43,44] han demostrado que la absorción de nutrientes por parte de los HFMA evaluados fue mayor a los controles. Cely et al [43], evaluaron los HFMA (*Claroideoglomus etunicatum* y *Acaulospora* sp.) y las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (dos cepas de *Rhizobium* sp. y *Burkholderia* sp.) nativos de la rizósfera de *Schizolobium parahyba* en diferentes combinaciones, encontraron que los tratamientos con *C. etunicatum* + *Rhizobium* sp. (Rh1) y *Acaulospora* sp., ambos tratamientos fertilizados

con 150 g de N-P-K incrementaron el rendimiento en madera y las combinaciones de *Acaulospora* sp. + *Rhizobium* sp. (Rh2) y *Acaulospora* sp. + *Rhizobium* sp. (Rh1) ambos fertilizados con 75 g de N-P-K aumentaron el crecimiento de las plantas en vivero.

Tanto los resultados de los experimentos del presente trabajo como los reportados en la literatura, permiten afirmar que los biofertilizantes de tipo HFMA representan un buen potencial para disminuir los limitantes que se presentan en la producción de especies forestales a nivel de vivero, reflejado en mayor desarrollo radical, mayor tasa de crecimiento, mejor adaptación a condiciones de estrés hídrico y nutricional en campo [10,45]. Por otra parte, el uso de biofertilizantes con base en HFMA podría reducir los tiempos de vivero, y para el productor forestal se convierten en mayor competitividad y sostenibilidad, con reducciones de costos de producción y mejora en los ingresos.

CONCLUSIONES

El uso de HFMA nativos como inoculante para las diferentes especies forestales evaluadas en esta investigación fue muy eficaz cuando estos son combinados con el 50% de fertilización de síntesis química en donde las asociaciones *Glomus* sp. + *Gigaspora* sp. - *Gmelina arborea*, *P. quinata*, *Eucalytus* sp. y *A. mangium* a nivel de vivero representan un potencial para el productor forestal. El uso de esta tecnología para las especies forestales permitió obtener las condiciones óptimas de altura y diámetro de cuello de la raíz para su trasplante a campo, así como una mayor absorción de nutrientes por parte de las plantas cuando estas se encontraban asociadas a los HFMA mencionados anteriormente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Colciencias por la financiación (RC-0098-2012). A Pizano y a la estación Monterrey Forestal por la cofinanciación del proyecto.

A los Doctores Miguel Rodríguez, Diana Pérez y Joaquín Celeita de Pizano SA., por su apoyo y aportes a esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). La deforestación se ralentiza a nivel mundial, con más bosques mejor gestionados [online]. 2015. Disponible: <http://www.fao.org/news/story/es/item/327382/icode/> [citado 01 de noviembre de 2017].
- [2] COLOMBIA. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono. Lanzamiento cifras de deforestación anual. Bogotá (Colombia): 2014, 43 p.
- [3] COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Observatorio Agrociencias Colombia. En: La cadena forestal y maderera en Colombia, una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Bogotá (Colombia): Documento de trabajo No 64, 2005, 65 p.
- [4] COLOMBIA. PLAN NACIONAL DE DESARROLLO FORESTAL [online]. 2000. Disponible: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=426:planta-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemas-21> [citado 03 de noviembre de 2017].
- [5] SMITH, S.E. and SMITH, F.A. Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Nutrition and Growth: New Paradigms from Cellular to Ecosystem Scales. Annual Review of Plant Biology, 62, 2011, p. 227-250.
- [6] KAPOOR, R., SHARMA, D. and BHATNAGAR, A. Arbuscular mycorrhizae in micropropagation systems and their potential applications. Scientia Horticulturae, 116, 2008, p. 227-239.
- [7] CHAIYASEN, A. et al. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in *Tectona grandis* Linn.f. plantations and their effects on growth of micropropagated plantlets. New Forests, 48, 2017, p. 547-562.
- [8] AJEESH, R. et al. Screening of selected native arbuscular mycorrhizal fungi at different levels for their symbiotic efficiency with *Tectona grandis* seedlings. Journal of Tropical Forest Science, 29(4), 2017, p. 395-403.
- [9] CAMARA, R. et al. Influência do substrato e inoculação micorrízica na produção de mudas de *Colubrina glandulosa* Perkins. Floresta, 47(4), 2017, p. 449-458.
- [10] RAMÍREZ, M. et al. Informe final proyecto "Reducción de pérdidas de producción en plántulas en vivero y trasplante por medio del uso de micorrizas arbusculares en dos especies forestales (*Gmelina arborea* y *Pachira quinata*) de alto potencial en el Caribe Colombiano". Bogotá (Colombia): MADR-II-CA, Documento CORPOICA, 2010.
- [11] REDECKER, D., MORTON, J.B. and BRUNS, T.D. Ancestral lineages of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales). Molecular Phylogenetics and Evolution, 14, 2000, p. 276-284.
- [12] HONRUBIA, M. Las micorrizas: una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de años. Anales del Jardín Botánico de Madrid, 66(1), 2009, p. 133-144.
- [13] SMITH, S.E. and SMITH, A.F. Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Nutrition and Growth: New Paradigms from Cellular to Ecosystem Scales. Annual Review of Plant Biology, 62, 2011, p. 227-250.
- [14] SMITH, S.D. and READ, D.J. Mycorrhizal Symbiosis. 3 ed. New York (USA) London (UK): Academic, 2008, 787 p.
- [15] READ, D.J. En: Mycorrhizal Ecology. Berlin Heidelberg (Germany): Springer-Verlag, 2003, p. 3-29.
- [16] AVERILL, C., TURNER, B.L. and FINZI, A.C. Mycorrhiza-mediated competition between plants and decomposers drives soil carbon storage. Nature, 505, 2014, p. 543-545.
- [17] MIDGLEY, M.G. and PHILLIPS, R.P. Mycorrhizal associations of dominant trees influence nitrate leaching responses to N deposition. Biogeochemistry, 117, 2014, p. 241-253.
- [18] READ, D.J. En: Mycorrhiza: Structure, function molecular biology and Biotechnology. Berlin Heidelberg (Germany): Springer-Verlag, 2013, p. 3-34.
- [19] RODRÍGUEZ-MORELOS, V.H. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with the rhizosphere of seedlings and mature trees of *Swietenia macrophylla* (Magnoliophyta: Meliaceae), in Los Tuxtlas, Veracruz, Mexico, Revista Chilena de Historia Natural, 87, 2014, p. 1-10.
- [20] MELO, C.D. et al. Communities of arbuscular mycorrhizal fungi under *Picconia azorica* in native forests of Azores. Symbiosis, 74(1), 2018, p. 43-54.
- [21] SOARES DA SILVA, M. de C. et al. Dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in *Eucalyptus globulus* plantations. European Journal of Agriculture and Forestry Research, 2(3), 2014, p. 25-42.
- [22] FRANSSON, P. et al. Mycorrhizal associations and soil properties of native *Allanblackia stuhlmannii* stands in the Eastern Usambara Mountains, Tanzania. Annals of Applied Biology, 169, 2016, p. 369-383.
- [23] HOLSTE, E.K. et al. Reduced aboveground tree growth associated with higher arbuscular mycorrhizal fungal diversity in tropical forest restoration. Ecology and Evolution, 6, 2016, p. 7253-7262.
- [24] GEOFFROY, A. et al. Molecular characterization of arbuscular mycorrhizal fungi in an agroforest-

- try system reveals the predominance of *Funnelliformis* spp. associated with *Colocasia esculenta* and *Pterocarpus officinalis* adult trees and seedlings. *Frontiers in Microbiology*, 8(28), 2017, doi: 10.3389/fmicb.2017.01426.
- [25] RAMÍREZ, M. *et al.* Manual de uso y aplicación de hongos formadores de micorrizas arbusculares en especies forestales. Bogotá (Colombia): Corpoica, 2011, 52 p.
- [26] GENDERMANN, J.W. and NICHOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46, 1963, p. 235-244.
- [27] HERNÁNDEZ, R.J. *et al.* Guías silvoculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana El eucalipto. Chinchiná (Colombia): Serie cartillas divulgativas, Federación Nacional de Cafeteros, Cenicafe, Bankengruppe y Smurfit Kappa, 2006, 52 p.
- [28] HOLSTE, E., KOBE, R.K. and GEHRING, C.A. Plant species differ in early seedling growth and tissue nutrient responses to arbuscular and ectomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 27, 2017, p. 211-223.
- [29] MUTHUKUMAR, T. and UDAIYAN, K. Coinoculation of bioinoculants improve *Acacia auriculiformis* seedling growth and quality in a tropical Alfisol soil. *Journal of Forest Research*, 29(417), 2017, p. 663-673, DOI 10.1007/s11676-017-0497-1.
- [30] DAVISON, J. *et al.* Communities of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Detected in Forest Soil Are Spatially Heterogeneous but Do Not Vary throughout the Growing Season. *PLoS ONE*, 7(8), 2012, p. 1-8, doi:10.1371/journal.pone.0041938.
- [31] WANG, X., ZHAO, S. and BÜCKING, H. Arbuscular mycorrhizal growth responses are fungal specific but do not differ between soybean genotypes with different phosphate efficiency. *Annals of Botany*, 118(1), 2016, p. 11-21.
- [32] MENSAH, J.A. *et al.* High functional diversity within species of arbuscular mycorrhizal fungi is associated with differences in phosphate and nitrogen uptake and fungal phosphate metabolism. *Mycorrhiza*, 25, 2015, p. 533-546.
- [33] AGUILERA, P. *et al.* Selection of aluminum tolerant cereal genotypes strongly influences the arbuscular mycorrhizal fungal communities in an acidic Andosol. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2017, 246, p. 86-93.
- [34] RETAMA-ORTIZ, Y. *et al.* Effectiveness of native arbuscular mycorrhiza on the growth of four tree forest species from the Santa Marta Mountain, Veracruz (Mexico). *Forest Systems*, 26 (1), 2017, p. 1-9, doi.org/10.5424/fs/2017261-09636.
- [35] HASHEM, A. *et al.* The Interaction between Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Endophytic Bacteria Enhances Plant Growth of *Acacia gerrardii* under Salt Stress. *Frontiers in Microbiology*, 7, 2016, p. 1-15.
- [36] MARRO, N. *et al.* Neotropical tree production: insights into germination, growth and outplanting for *Maytenus boaria*. *CERNE*, 23(3), 2017, p. 377-385.
- [37] ZAMBRANO, J.A. y Díaz, L.A. Efecto de la inoculación de *Azospirillum brasilense* y *Glomus* sp. en *Gmelina arborea* durante su germinación y manejo en vivero. *Universitas Scientiarum*, 13(2), 2008, p.162-170.
- [38] BINI, D. *et al.* Intercropping *Acacia mangium* stimulates AMF colonization and soil phosphatase activity in *Eucalyptus grandis*. *Scientia Agricola*, 75(2), 2018, p. 102-110.
- [39] MEDINA, J.F. *et al.* Crecimiento de *Cedrela odorata* L. biofertilizada con *Rhizophagus intraradicis* y *Azospirillum brasilense* en vivero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 2014, p.177-186.
- [40] JONES, M.D. and SMITH, S.E. Exploring functional definitions of mycorrhizas: Are mycorrhizas always mutualisms?. *Canadian Journal of Botany*, 82(8), 2004, p.1089-1109.
- [41] JAVOT, H., PUMPLIN, N. and HARRISON, M.J. Phosphate in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: transport properties and regulatory roles. *Plant Cell Environmental*, 30, 2007, p. 310-22.
- [42] SHARMA, M.P. and ADHOLEYA, A. Parameters for Selecting Efficient Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Plants Under Microcosm Conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 85(1), 2015, p. 77-83.
- [43] CELY, M.V. *et al.* Inoculation of *Schizolobium parahyba* with Mycorrhizal Fungi and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Increases Wood Yield under Field Conditions. *Frontiers in Plant Science*, 7, 2016, p. 1-13.
- [44] BRITO, V.N. *et al.* arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate fertilization on the seedling production of paricá. *Ciência Florestal*, 27(2), 2017, p. 485-497.
- [45] SOKA, G., and RITCHIE, M. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and ecosystem processes: prospects for future research tropical soils. *Open Journal of Ecology*, 4, 2014, p.11-22.

Descripción del ciclo fenológico de cuatro ecotipos de (*Chenopodium quinua* Willd.), en Puracé – Cauca, Colombia

Description of phenological cycle of four ecotypes of (*Chenopodium quinoa* Willd.), at Puracé – Cauca, Colombia

Descrição da ciclo fenological de quatro ecótipos quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), em Puracé – Cauca, Colombia

CONSUELO MONTES- ROJAS¹, GUIDO ARY BURBANO-CATUCHE²,
EDWIN FERNANDO MUÑOZ-CERTUCHE³ YIMY CALDERÓN-YONDA⁴

RESUMEN

En el departamento del Cauca, municipio de Puracé vereda El Acuario, localizado a 3023 m.s.n.m., en el marco del proyecto Cadena productiva de la quinua se evaluó el ciclo fenológico de 4 ecotipos de quinua y su rendimiento con el fin de seleccionar

Recibido para evaluación: 7 de Agosto de 2017.

Aprobado para publicación: 7 de Enero de 2018.

- 1 Universidad del Cauca, Departamento de Ciencias Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación para el Desarrollo Rural (Tull). M Sc. Profesora de planta. Popayán, Colombia.
- 2 Fundación de profesionales para el desarrollo integral comunitario PRODESIC. Ingeniero Agropecuario. Popayán, Colombia.
- 3 Fundación de profesionales para el desarrollo integral comunitario PRODESIC. Ingeniero Agroindustrial. Popayán, Colombia
- 4 Fundación de profesionales para el desarrollo integral comunitario PRODESIC. Ingeniero Agroindustrial. Popayán, Colombia

Correspondencia: cmontes@unicauca.edu.co

y determinar la duración de las etapas del ciclo productivo que determinan su manejo agronómico en alturas superiores a 3000 m.s.n.m. El propósito es buscar una opción para rotación de cultivo de papa que aporte a la seguridad alimentaria regional. Este estudio se realizó durante el 2016 bajo condiciones de campo, en el resguardo indígena de Paletará. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones donde los tratamientos fueron los ecotipos, se registraron etapas fenológicas, se evaluó contenido de saponinas y el rendimiento. Se determinó que la quinua presenta dos etapas fenológicas bien marcadas, etapa vegetativa con 6 fases y etapa reproductiva con 7 fases; la duración del ciclo productivo de los 4 ecotipos estuvo entre 154 y 213, permitiendo clasificarlos como semiprecoces y semitardíos, el contenido de saponinas estuvo entre 0,005 y 0,012%. Se concluyó que de los 4 ecotipos evaluados se recomienda aurora por precocidad, sabor dulce y mejor rendimiento.

ABSTRACT

At Cauca, municipality of Puracé, sidewalk The Aquarium, located at 3023 meters above sea level, within the framework of the Quinoa production chain project, the phenological cycle of 4 quinoa ecotypes and their yield were evaluated in order to select and determine the duration of the stages of the productive cycle that determine their agronomic management at heights greater than 3000 meters above sea level. The purpose is to look for a potato crop rotation option that will contribute to regional food security. This study was carried out during 2016 under field conditions, in the indigenous reservation of Paletará. We used a randomized complete block design with 3 replicates where treatments were ecotypes, phenological stages were recorded, saponin content and performance were evaluated. It was determined that quinoa presents two well marked phenological stages, vegetative stage with 6 phases and reproductive stage with 7 phases; the duration of the productive cycle of the 4 ecotypes was between 154 and 213, allowing to classify them as semiearly and semidelayed, the content of saponins was between 0,005 and 0,012%. It was concluded that of the 4 ecotypes evaluated, aurora is recommended for precocity, sweet taste and better yield.

RESUMO

En el departamento de Cauca, municipio de Puracé vereda El Acuario, localizado a 3023 msnm, no marco do projeto Cadena produtiva da quinua, avaliada pelo ciclo fenológico de 4 ecotipos de quinua e desempenho no final da temporada e determinar a duração das etapas do ciclo produtivo e determinante da gestão agronômica em alturas superiores a 3000 msnm. O objetivo é buscar uma opção para rotação de cultivo de papa que aporte a segurança alimentaria regional. Este estudo se realizou durante o 2016 sob condições de campo, na residência indígena de Paletará. Se utilizou um projeto de blocos completos com azar com 3 repetições onde os tratamentos foram os ecotipos, se registraram etapas fenológicas, se avaliou o conteúdo de saponinas e o desempenho. Se determinou que a quinua apresenta duas etapas fenológicas bem marcadas, etapa vegetativa com 6 fases e etapa reprodutiva com 7 fases; a duração do ciclo produtivo dos 4 ecotipos estude

PALABRAS CLAVE:

Quinoa, Genotipos, Fenología, Selección, Saponinas, ecotipos.

KEYWORDS:

Quinoa, Genotypes, Phenology, Selection, Saponins.

PALAVRAS-CHAVE:

Quinoa, Genotipagem, Fenologia, Seleção, Saponinas.

entre 154 y 213, permitindo classificá-los como semi-precozes e semitardios, o conteúdo de saponinas justo entre 0,005 y 0,012%. Se conclui que é de 4 ecotipos avaliados por um atraente e melhor desempenho.

INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) se ha cultivado principalmente en la cordillera de los andes en Bolivia, Perú, Ecuador y Colombia [1], fue uno de los principales alimentos de los pueblos, andinos preincaicos e incaicos, hasta el descubrimiento de América.

Las bondades de la quinua radican en su alto valor nutricional, con un contenido de proteína entre 13,81 y 21,9% dependiendo de la variedad. Debido al elevado contenido de aminoácidos esenciales de su proteína, la quinua es considerada como el único alimento del reino vegetal que provee todos los aminoácidos esenciales, que se encuentran extremadamente cerca de los estándares de nutrición humana establecidos por la FAO [2]. Se ha encontrado que el balance de los aminoácidos esenciales de la proteína de la quinua es superior al trigo, cebada y soya, comparándose favorablemente con la proteína de la leche [3].

Una característica fundamental de la quinua es que el grano, las hojas y las inflorescencias son fuentes de proteínas de muy buena calidad. La calidad nutricional del grano es importante por su contenido de aminoácidos, siendo rico en lisina y azufrados, mientras que las proteínas de los cereales son deficientes en estos aminoácidos.

A pesar de su buen contenido de nutrientes, las investigaciones realizadas concluyen que los aminoácidos de la proteína, en la harina cruda y sin lavar no están del todo disponibles, porque contienen sustancias que interfieren con la utilización biológica de los nutrientes. Estas sustancias son los glucósidos denominados saponinas [4].

Con base en lo anteriormente expuesto y dada la situación de desnutrición que tiene Colombia en algunos departamentos, la quinua se constituye en un cultivo estratégico para contribuir a la seguridad y soberanía alimentaria debido a su calidad nutritiva, su amplia variabilidad genética, su adaptabilidad y su bajo costo de producción.

En Colombia la quinua se cultiva en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Cauca. En este último, el cultivo se concentra principalmente en la región del Macizo Colombiano, en los municipios de Santa Rosa, Bolívar, Almaguer, La Vega y Rosas y otros municipios del departamento con condiciones climáticas diferentes como: Sotará, Puracé, Toribío, Totoró, Silvia, Caldono y Jámalo, donde generalmente se siembra el ecotipo conocido como blanca de Jericó, que tiene características favorables para la agroindustria, pero presenta gran variabilidad en su comportamiento, en campo.

Las quinuas cultivadas tienen una gran diversidad genética, mostrando variabilidad en la coloración de la planta, inflorescencia y semilla, en los tipos de inflorescencia, y en el contenido de proteína, saponina y betacianina en las hojas, con lo que se obtiene una amplia adaptación a diferentes condiciones agroecológicas (suelos, precipitación, temperatura, altitud, resistencia a heladas, sequía, salinidad o acidez) [5].

Con el objeto de seleccionar al menos un ecotipo de quinua para condiciones de más de 3000 m.s.n.m. y que sea una opción para rotación de cultivo de papa y aporte a la seguridad alimentaria regional este trabajo se propuso evaluar el ciclo fenológico de 4 ecotipos de quinua en el municipio de Puracé.

MÉTODO

En el municipio de Puracé, vereda El Acuario, de propiedad del resguardo indígena de Paletará se seleccionó un lote con manejo convencional, localizado a 3023 m.s.n.m., latitud norte es -2°, 15', 19.5" y longitud oeste de -76°, 30', 09.0".

Los tratamientos estuvieron determinados por los ecotipos y se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones.

Descripción de los ecotipos

Tunkahuan. Plantas con alturas entre 160 y 230 cm; panojas grandes, bien ramificadas, poco compactas, variando el color de púrpura en pleno desarrollo a púrpura rosado en formación de grano y púrpura anaranjado en inicio de madurez, dejando expuestos los granos blancos y grandes, con diámetro mayor a 2 mm, este ecotipo presenta tolerancia al desgrane [6].

Aurora. Plantas con altura que oscila entre 90 y 130 cm; panojas con tonalidad blanca-rosada, ramas pequeñas y flores ubicadas en forma semicompacta; los granos quedan descubiertos cuando maduran y son de color blanco, pequeños, con un diámetro menor a 2 cm [6].

Blanca de Jericó. Hábito erecto, altura entre 120 y 210 cm. Follaje y panoja de color verde, con bastante ramificación, presenta panoja secundaria, tiene grano de color blanco, de sabor dulce, por lo que no requiere lavado para su posterior consumo o comercialización [6].

Punto rojo. Similar a Tunkahuan en cuanto a longitud de plantas y tamaño de panojas, las cuales, aunque amarantiformes, son semicompactas por mayor concentración de glomérulos, con tolerancia al desgrane, con coloración purpura rojiza en la madurez. Las semillas son blancas, planas y grandes, impregnadas de un polvillo rosado (oxalatos) cuando maduran. Tiene buena tolerancia a mildew y manchas foliares, aunque es moderadamente susceptible a la mancha ojival de los tallos [6].

Preparación del terreno

La parcela útil estuvo constituida por los 3 surcos centrales tomando 4 m efectivos, se dejaron 50 cm de cabecera a cada lado y los dos surcos laterales como bordes, para tener el efecto de competencia real en campo.

Al momento de siembra se aplicó un mejorador orgánico enriquecido con microorganismos, para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, con dosis de 500 Kg/ha, debido a que la quinua responde muy bien a la aplicación de materia orgánica y su déficit afecta su desarrollo, crecimiento y producción. Adicionalmente, se aplicaron 400 Kg/ha de cal dolomítica para evitar corrección de pH del suelo y para hacer disponible los nutrientes que hay en el suelo para la planta.

Se aplicaron 80 Kg/ha de un fertilizante fosfatado enriquecido con Calcio, Magnesio, Silicio y micronutrientes; nitratos en dosis de 100 Kg/ha con concentraciones de nitrógeno ureico y amoniacal de al menos el 40% cada uno; una vez las plantas tuvieron hojas verdaderas se iniciaron aplicaciones semanales de elementos menores en forma foliar en dosis de 2 L/ha.

30 días después de emergencia se realizó reabone al suelo con 22-3-20 y semanalmente hasta el día 90

después de emergencia se aplicaron 2 L/ha de fertilizante orgánico foliar; luego en dosis de 2 L/ha se hizo suplementación con elementos menores enriquecidos con boro, calcio, fósforo y potasio.

Teniendo en cuenta que el lote provenía de pasto y poseía montículos por el trasegar del ganado, la preparación del terreno fue mecanizada con tractor, se realizó doble arada y pasada con rotavator para dejar el suelo suelto, tal y como lo requiere el cultivo de quinua.

Una vez preparado el terreno se elaboraron las camas de siembra a distancias de 80 cms entre surcos dejando calles de 1 m entre parcelas. En total se establecieron 12 parcelas de 5 m de largo por 3 m de ancho, con siembra a chorrillo.

Manejo y evaluación. En los primeros 10 días se identificó trozador (*Agrotis de privata* W.) y babosas, para lo cual se colocaron cebos con el fin de controlar el ataque.

El cebo se preparó mezclando uniformemente 10 kg de aserrín, 4 kg de melaza, 4 kg de clorpirifos y 5 L de agua. Se aplicó en el perímetro del lote y por las calles. Para controlar la babosa se utilizaron 2 kg de mata babosa, la cual, se aplicó en los extremos y calles donde se detectó su presencia.

Un mes después de siembra fue necesario aplicar Carbendazim y Metelaxyl en dosis de 0,4 L/ha y 300 g/ha respectivamente, para evitar pudriciones, por exceso de humedad.

Labores culturales. Se hizo descapotado, picado, raleo y aporque, con el fin de permitir el óptimo desarrollo de las plantas y evitar estrés por competencia.

El Descapotado se realizó con rastrillo, para romper la corteza que se forma en el suelo y facilitar la emergencia de plántulas; *picado*, se realizó para eliminar arvenses, remover el suelo y activar los microorganismos del suelo; *aporque*, para mejorar el anclaje de las plantas y el suministro de nutrientes; *raleo*, se realizó con el fin de controlar la densidad de siembra determinada en el ensayo.

Se realizó manejo de conservación de suelos, dejando cubierta vegetal para evitar pérdida de suelo por vientos y mejorar la humedad del lote en general. Esta actividad implicó hacer corte y control de arvenses con guadaña, dejando el corte sobre las calles.

Cosecha. La cosecha se realizó en forma manual, cosechando 3 m² por parcela en forma aleatoria dentro de la parcela útil de muestreo.

Ciclo fenológico

Para evaluar el ciclo fenológico se registraron los cambios externos visibles del proceso de desarrollo de la planta. La quinua presenta fases fenológicas bien marcadas y diferenciables, las cuales permiten identificar los cambios que ocurren durante el desarrollo de la planta. Se evaluó días a germinación, días a emergencia, aparición de primera hoja verdadera, días a formación de 4 hojas verdaderas, días a formación de 6 hojas verdaderas, aparición de inflorescencia, días a formación de panoja, días a floración, dos estados de grano, lechoso, pastoso y madurez fisiológica.

Para evaluar la germinación de semilla, se colocaron 50 semillas por ecotipo en papel toalla previamente humedecido, posteriormente se ubicaron los paquetes en bolsa plástica para iniciar evaluación a las 24 horas.

Determinación contenido de saponinas

La quinua presenta un factor anti nutricional, el contenido de saponinas, sustancias amargas que tienen la propiedad de hemolizar los glóbulos rojos y son altamente tóxicas para animales de sangre fría, razón por la cual, se determinó el contenido de saponinas en los 4 ecotipos evaluados.

Se utilizó el método de medición de la espuma (Afro simétrico) y se basa en que las saponinas disueltas en agua y agitadas forman una espuma estable, la altura de esta espuma se correlaciona con el contenido de saponinas en granos de quinua [6].

Se tomaron 0,5 g de granos enteros de quinua y se colocaron en tubos de ensayo, luego se añadieron 5 mL de agua destilada y se taparon, posteriormente se sacudió vigorosamente cada tubo durante 30 segundos y se dejaron en reposo durante 30 minutos.

Posteriormente, se sacudieron otra vez durante 20 segundos y se dejaron en reposo durante 30 minutos; se sacudieron nuevamente durante 30 segundos y se dio a los tubos una última sacudida como la que se le hace al termómetro oral; se dejó el tubo en reposo durante 5 minutos y luego se midió la altura de la espuma, al 0,1 cm más cercano (Figura 1).

Para calcular el contenido de saponina se utilizaron las siguientes fórmulas: (Ec. 1) (Ec. 2)

RESULTADOS

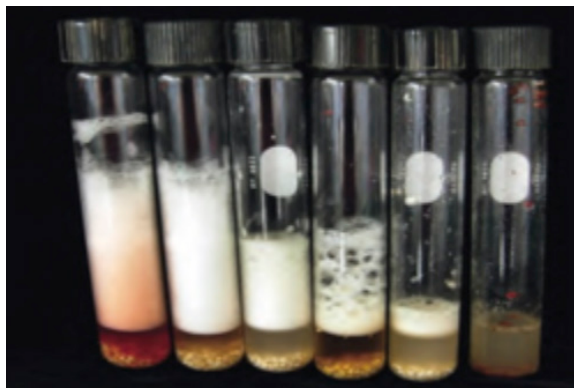
Para establecer el ciclo fenológico de cada ecotipo se obtuvieron los promedios de los días para cada fase evaluada, entre parcelas de cada ecotipo.

Fenología de los ecotipos

Esta evaluación permitió reconocer los cambios en el crecimiento y desarrollo de las plantas como resultado de los factores ambientales y su componente genético, lo que ayuda a determinar los requerimientos nutricionales, edáficos y de manejo para el cultivo en general.

Se determinó que la quinua presenta dos etapas fenológicas bien marcadas, etapa vegetativa que incluye

Figura 1. Altura de la espuma para calcular saponinas.



$$mg\ de\ \frac{saponina}{peso}\ fresco = \frac{0,646x(altura\ de\ espuma\ después\ de\ 30\ seg\ en\ cms) - 0,001}{peso\ de\ la\ muestra\ en\ gramos} \quad (Ec.\ 1)$$

$$\% \ de\ saponinas = \frac{0,646x(altura\ de\ espuma\ después\ de\ 30\ seg\ en\ cms) - 0,104}{(peso\ de\ la\ muestra\ en\ gramos) \times 10} \quad (Ec.\ 2)$$

6 fases fenológicas y etapa reproductiva con 7 fases, estos resultados concuerdan con quienes afirman que la quinua tiene 12 fases fenológicas, sin incluir la germinación [7]. Las etapas y fases determinadas en el campo se describen a continuación: etapa vegetativa:

Germinación de la semilla (V0). Emisión de la radícula, la cual ocurre máximo a las 24 h después de humedecer la semilla (Figura 2).

Emergencia (V1). Cuando la plántula rompe la superficie del suelo (Figura 3).

Aparición hojas verdaderas (V2). Cuando fuera de las hojas cotiledonales, aparece la primera hoja verdadera extendida (Figura 4).

Cuatro hojas verdaderas (V3). Cuando se observan dos pares de hojas verdaderas extendidas y las hojas cotiledonales aún se conservan verdes (Figura 5).

Seis hojas verdaderas (V4). Cuando se observan tres pares de hojas verdaderas extendidas y las hojas primarias se tornan de color amarillento por senescencia (Figura 6).

Ramificación (V5). Cuando se observan cuatro pares de hojas verdaderas extendidas con presencia de hojas axilares hasta el tercer nudo, las hojas primarias se han caído y dejado cicatriz en el tallo, también se nota presencia de inflorescencia protegida por las hojas sin dejar al descubierto la panoja (Figura 7).

Figura 2. Germinación ecotipos de quinua.



Figura 3. Emergencia de ecotipos de quinua.



Figura 4. Aparición hojas verdaderas en ecotipos de quinua.



Figura 5. Aparición de hojas verdaderas en ecotipos de quinua.



Figura 6. Estado de ecotipos de quinua con 3 hojas verdaderas.



Figura 7. Estado de ecotipos de quinua con 4 hojas verdaderas extendidas.



La etapa reproductiva consta de 7 fases, las cuales se describen así:

Inicio de formación de panoja (R6). Cuando del ápice de la planta la emergencia de la inflorescencia es visible y se observa alrededor aglomeración de hojas pequeñas, las cuales van cubriendo la panoja (Figura 8).

Formación de panoja (R7). Cuando se observa claramente la inflorescencia por encima de las hojas, dejando ver claramente los glomérulos que la conforman; además se puede observar en los glomérulos de la base los botones florales individuales (Figura 9).

Inicio de floración (R8). Cuando la flor hermafrodita apical se abre mostrando los estambres separados, se puede notar en los glomérulos las anteras protegidas por el perigonio de un color verde limón (Figura 10).

Floración (R9). Cuando el 50% de las flores de la inflorescencia se encuentran abiertas y la planta comienza a eliminar las hojas inferiores (Figura 11).

Grano lechoso (R10). Cuando los frutos que se encuentran en los glomérulos de la panoja, al ser presionados explotan y dejan salir un líquido lechoso (Figura 12).

Grano pastoso (R11). Cuando los frutos al ser presionados presentan una consistencia pastosa de color blanco (Figura 13).

Madurez fisiológica y madurez de cosecha (R12) cuando al presionar el grano formado con las uñas,

Figura 8. Inicio de formación de panoja en ecotipos de quinua.



Figura 9. Formación de panoja en ecotipos de quinua.



presenta resistencia a la penetración, el contenido de humedad del grano varía de 14 a 16%, en esta etapa inicia el amarillamiento completo de la planta y hay gran defoliación (Figura 14).

Figura 10. Inicio de floración en ecotipos de quinua.



Figura 11. Floración en ecotipos de quinua



Figura 12. Fase grano lechoso en ecotipos de quinua.



Figura 13. Fase grano pastoso en ecotipos de quinua.



Figura 14. Madurez fisiológica en ecotipos de quinua.



El porcentaje de germinación de semilla fue de 100%, Punto Rojo, Tunkahuan y Aurora lograron este valor a las 24 h después de siembra, mientras Blanca de Jericó a las 72 h después de siembra, lo cual se puede deber al espesor de la testa o tamaño del grano [7], demostrando que la semilla es de muy buena calidad germinativa.

La duración del ciclo fenológico entre los cuatro ecotipos estuvo entre 154,5 y 213,9 días (cuadro 1).

El análisis de varianza ($P \leq 0,05$) (cuadro 2), detectó diferencias estadísticamente significativas en todas las fases de la etapa reproductiva. A partir de la R6, Aurora, acelera su ciclo reproductivo mostrando al final el ciclo más corto de cultivo (154 días), seguido de Tunkahuan con 178 días, considerándolos como semiprecoz y semitardío respectivamente, de acuerdo a la clasificación de semiprecoz para materiales cuyo ciclo está entre 130 y 150 días y semitardío para materiales con ciclo de 150 a 180 días, los otros dos materiales son considerados tardíos [8].

Se afirma que la quinua tarda entre 7 y 10 días para emerger [9], en esta investigación fue máximo de 3 días para todos los ecotipos evaluados (cuadro 1), igualmente reportan diferencias significativas en días a ramificación, lo cual no coincide con esta investigación.

La duración del ciclo productivo está directamente relacionado con las condiciones ambientales, especialmente temperatura y precipitación [7]. La temperatura mínima durante el desarrollo de la investigación osciló entre 4 y 8°C, la máxima entre 10 y 19°C con temperatura promedio entre 7 y 12,5°C. La temperatura estuvo en el promedio óptimo para quinua entre 6 y 17°C [6] lo mismo que la precipitación que alcanzó un máximo

de 494 mm durante el ciclo, que se acerca al máximo aceptado por el cultivo que oscila entre 250 y 500 mm para cubrir los requerimientos [10]. Se destaca que en los primeros días hubo agua suficiente para germinación y emergencia y hasta el día 30 se tuvieron casi 100 mm de precipitación, lo cual influyó en el buen desarrollo del cultivo, pero incidió en el desarrollo de enfermedades fungosas que atacaron las plántulas.

Debido al fenómeno del niño durante la investigación se observó plasticidad en el desarrollo de las plantas al presentar ritmos variables de crecimiento, crecieron cuando hubo humedad y detuvieron su crecimiento durante el déficit; pero hubo pronta recuperación después del período de sequía; se observó tolerancia a la desecación y a la deshidratación de los tejidos, al calor evitando escaldaduras y quemaduras de las hojas por los cristales de oxalato de calcio y asincronía en la floración de la panoja, coincidiendo con [8]. Una parte de las flores en los glomérulos estaba en pre antesis, otra en antesis y las demás en formación o llenado del grano. Además, se presentó germinación de las semillas por las altas presiones osmóticas [11], lo cual se comprobó al observar la germinación del grano en la propia panoja, cuando iniciaron las lluvias.

Se ha encontrado que la quinua mantiene la turgencia y cumple las principales funciones vitales, a pesar de la reducción del potencial hídrico, debido a la acumulación activa de solutos en respuesta al déficit de humedad, pre-acondicionamiento [11].

Con el fin de determinar cuáles ecotipos se diferenciaban se realizó prueba de promedios de Duncan, la cual permitió concluir que Aurora se diferenciaba significativamente de los otros tres ecotipos y que

Cuadro 1. Resultados promedios de la fenología de cuatro ecotipos de quinua bajo condiciones del municipio de Puracé, resguardo indígena de Paletará, Cauca.

		Etapa vegetativa						Etapa reproductiva						
Ecotipo		Vo	V1	V2	V3	V4	V5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
	*	Días después de siembra												
Blanca de Jericó	1	2	3,0	27,3	33,0	38,7	63,2	96,2	130,4	135,4	148,3	185,2	200,3	213,9
Punto Rojo	2	1	3,0	27,4	33,1	36,7	55,8	95,9	135,1	140,2	151,9	185,4	202,1	212,2
Tunkahuan	3	1	3,0	27,4	32,8	38,8	62,2	87,2	120,2	122,8	129,9	146,0	162,7	178,7
Aurora	4	1	3,0	27,0	33,0	38,8	62,6	61,4	89,7	94,9	102,1	126,2	136,1	154,5

*No. del ecotipo. V1: Emergencia. V2: aparición hojas verdaderas. V3: Cuatro hojas verdaderas. V4: Seis hojas verdaderas. V5: Ramificación. R6: Inicio de formación de panoja. R7: Formación de panoja. R8: inicio de floración. R9: Floración. R10: Grano Lechoso. R11: Grano pastoso. R12: Madurez fisiológica

Cuadro 2. Análisis de varianza para las fases reproductivas de 4 ecotipos de quinua bajo condiciones de Puracé, Cauca.

Fuente de variación		Suma de cuadrados	df	Cuadrados medios	F	Sig.
Inicio panoja	Entre ecotipos	14403,1	3,0	4801,0	66,7	*
	Dentro de cada ecotipo	4824,8	67,0	72,0		
	Total	19227,9	70,0			
Formación de panoja	Entre ecotipos	22517,4	3,0	7505,8	44,8	*
	Dentro de cada ecotipo	11386,6	68,0	167,4		
	Total	33904,0	71,0			
Inicio flor	Entre ecotipos	22284,6	3,0	7428,2	47,2	*
	Dentro de cada ecotipo	10693,1	68,0	157,3		
	Total	32977,7	71,0			
Floración	Entre ecotipos	28040,2	3,0	9346,7	50,5	*
	Dentro de cada ecotipo	12588,5	68,0	185,1		
	Total	40628,7	71,0			
grano lechoso	Entre ecotipos	47102,4	3,0	15700,8	65,0	*
	Dentro de cada ecotipo	16431,3	68,0	241,6		
	Total	63533,7	71,0			
grano pastoso	Entre ecotipos	54710,5	3,0	18236,8	63,0	*
	Dentro de cada ecotipo	19677,2	68,0	289,4		
	Total	74387,7	71,0			
Madurez fisiológica	Entre ecotipos	44155,3	3,0	14718,4	67,5	*
	Dentro de cada ecotipo	14823,4	68,0	218,0		
	Total	58978,7	71,0			
Rendimiento	Entre ecotipos	138300000	5	27650622,2	7,41	*
	Dentro de cada ecotipo	44768055	12	3730671,25		
	Total	183000000	17			

era el material más precoz en todas las fases reproductivas, seguido de Tunkahuan. (Cuadro 3).

En cuanto a rendimiento el mejor ecotipo fue Tunkahuan (cuadro 4) y el análisis de varianza detectó diferencias estadísticamente significativas entre ecotipos para rendimiento (cuadro 2), la prueba de Duncan (cuadro 3) clasificó a Tunkahuan y Aurora en el mismo grupo.

Determinación del contenido de saponinas

No se detectaron diferencias entre las repeticiones (cuadro 5). Blanca de Jericó y Aurora tuvieron contenidos de saponinas similares del 0,0012%, mientras Punto rojo y Tunkahuan tuvieron 0,0050%. Al evaluar el banco de germoplasma de la Estación Experimental Patacamaya en Bolivia, encontraron que las variedades amargas tuvieron concentración de saponinas superiores al 0,05% y granos grandes y las accesiones dulces presentaron concentración de saponinas igual o menor a 0,05 [12].

Se reporta que el contenido de saponina en la quinua es variable y depende aparentemente de un grupo de

genes en la planta, estimando contenidos de saponinas en algunos ecotipos de quinua los cuales estuvieron en un rango entre 0,0% y 1,2% [9]. Se ha demostrado que las variedades de quinua Sajama (1,7 %) y blanca (1,9%) presentan menor concentración de saponinas que las variedades amarillas (2,3%) y colorada (2,8%). Estos valores se obtuvieron después de lavar la quinua a temperatura de 50°C, donde se removió un 75 a 80 % de la saponina [13]. Las saponinas de la quinua son glucósidos triterpenoidales, localizadas en el pericarpio de las semillas y solubles en metanol y agua [14].

Se dice que el nivel máximo aceptable de saponina en la quinua para consumo humano oscila entre 0,06 y 0,12% [9]. Esto concuerda con los resultados de pruebas sensoriales realizadas en la Universidad de Ambato, Ecuador, en donde se determinó que el límite máximo de aceptación del contenido de saponina en el grano cocido, fue de 0,1% [15]. Lo anterior demuestra que los ecotipos evaluados están en el rango aceptado para consumo humano.

Cuadro 3. Prueba de Duncan ($P \leq 0,05$), para las fases reproductivas de 4 ecotipos de quinua.

Inicio Panoja				
ECOTIPO	N	Subgrupos para alpha = 0.05		
		1	2	3
4	18	61,39		
3	18		87,22	
2	18			95,94
1	18			96,17
Formación de Panoja				
4	18	89,67		
3	18		120,17	
1	18		130,39	130,39
2	18			135,11
Inicio Flor				
4	18	94,89		
3	18		122,83	
1	18			135,39
2	18			140,17
Floración				
4	18	102,11		
3	18		129,89	
1	18			148,33
2	18			151,94
Grano Lechoso				
4	18	126,17		
3	18		146,00	
1	18			185,17
2	18			185,39
Grano Pastoso				
4	18	136,11		
3	18		162,72	
1	18			200,33
2	18			202,11
Madurez Fisiológica				
4	18	154,50		
3	18		178,67	
2	18			212,22
1	18			213,89
Rendimiento				
2	18	1730.8		
1	18		2012.83	
4	18			4346.14
3	18			4485.04

1= Blanca de Jericó; 2= Punto Rojo; 3= Tunkahuan y 4= Aurora

Cuadro 4. Promedio de rendimiento para los ecotipos evaluados.

Ecotipo	Rendimiento/ en kg/ha
Blanca de Jericó	2012,83
Punto rojo	1730,8
Tunkahuan	4485,04
Aurora	4346,14

Cuadro 5. Altura de espuma y contenido de saponinas de 4 ecotipos de quinua.

Ecotipo	Repet.	Muestra de Quinua (g)	Altura de Espuma (cms)	% Saponina
Blanca de Jericó	1	0,5	0,17	0,0012
	2	0,5	0,17	0,0012
	3	0,5	0,17	0,0012
Punto rojo	1	0,5	0,2	0,005
	2	0,5	0,3	0,005
	3	0,5	0,2	0,005
Tunkahuan	1	0,5	0,2	0,005
	2	0,5	0,2	0,005
	3	0,5	0,2	0,005
Aurora	1	0,5	0,17	0,0012
	2	0,5	0,17	0,0012
	3	0,5	0,17	0,0012

CONCLUSIONES

El ciclo fenológico de los 4 ecotipos durante la etapa vegetativa fue similar y solo se detectan diferencias estadísticamente significativas en la etapa reproductiva, presentando el ciclo más corto el ecotipo Aurora, con una duración de 154 días y el más largo Blanca de Jericó con 214 días.

Se recomienda el ecotipo aurora para cultivar en condiciones de Puracé Cauca, como alternativa para rotación con papa, por buen comportamiento agronómico, bajo contenido de saponinas y buen rendimiento, lo que lo hace apto para consumo humano y puede aportar a la seguridad alimentaria regional.

El contenido de saponinas de Blanca de Jericó y Aurora permite clasificarlas como dulces (0,0012%) y Punto rojo y Tunkahuan como amargas (0,005%).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad del Cauca por el apoyo en la realización de la investigación, a la fundación de profesionales para el desarrollo integral (PRODESIC) y al resguardo indígena de Paletará.

REFERENCIAS

- [1] CURTI, R.N., DE LA VEGA, A.J., ANDRADE, A.J., BRAMARDI, S.J. and BERTERO, H.D. Adaptive responses of quinoa to diverse agro-ecological environments along an altitudinal gradient in North West Argentina. *Field Crops Research*, 189, 2016, p. 10–18.
- [2] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). Consideraciones sobre el manejo agronómico del cultivo de quinua en el departamento de Nariño: recopilación de experiencias con pequeños productores – proyecto integrado de transferencia de tecnología. Roma (Italia): FAO - Ministerio de agricultura y Desarrollo Rural, 2015, 44 p.
- [3] NASCIMENTO, A.C., MOTA, C., COELHO, I., GUEIFÃO, S., SANTOS, M., MATOS, A.S., GIMENEZ, A., LOBO, M., SAMMAN, N. and CAS-TANHEIRA, I. Characterisation of nutrient profile of quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus caudatus*), and purple corn (*Zea mays* L.) consumed in the North of Argentina: Proximates, minerals and trace elements. *Food Chemistry*, 148, 2014, p. 420–426.
- [4] CURTI, R.N., DE LA VEGA, A.J., ANDRADE, A.J., BRAMARDI, S.J. and BERTERO, H.D. Multi-environmental evaluation for grain yield and its physiological determinants of quinoa genotypes across Northwest Argentina. *Field Crops Research*, 166, 2014, p. 46–57.
- [5] MARCA-VILCA, S., ESPINOZA, P. y POBLETE, V.A. Multiplicación de semilla de variedades y ecotipos de quinua en valle de majes-Arequipa. *Journal of high Andean research*, 17(3), 2015, p. 355–368.
- [6] ALANOCA, C. y MACHACA, E. Caracterización agromorfológica de 10 accesiones y variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones del Valle Alto de Cochabamba. *Revista Científica de Investigación INFO-INIAF*, 1(5), 2015, p. 21–29.
- [7] VELOZA, R.C., ROMERO, G. y GÓMEZ, J.J. Respuesta morfoagronómica y calidad en proteína de tres accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la sabana norte de Bogotá. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(2), 2016, p. 325–332.
- [8] FIALLOS-JURADO, J., POLLIER, J., MOSES, T., ARENDT, P., BARRIGA, N., MORILLO, E., ARAHANA, V., TORRES, M., GOOSSENS, A. and REYES, A.L. Saponin determination, expression analysis and functional characterization of saponin biosynthetic genes in *Chenopodium quinoa* Leaves. *Plant Science*, 250, 2016, p. 188–197.
- [9] MURPHY, K.S., MATANGUIHAN, J. and WILEY & SONS, J. Quinoa: Improvement and Sustainable Production. New Jersey (USA): Wiley Blackwell, 2015, 400 p.
- [10] ADOLF, V.I., JACOBSEN, S.E. and SHABALA, S. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*, 92, 2013, p. 43–54.
- [11] MUJICA, A., SUQUILANDA, M., CHURA, E., RUIZ, E., LEÓN, A., CUTIPA, S. y PONCE, C. Producción Orgánica de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Puno (Perú): Sociedad Peruana para el Fomento y Competitividad de la Innovación Agraria (FINCAGRO), 56, 2013, p. 59–61.
- [12] LOZANO, M., TÍCONA, E., CARRASCO, C., FLORES, Y. y YALMANZA, G.R. Cuantificación de saponinas en residuos de quinua real (*Chenopodium quinoa* Willd). *Revista Boliviana de Química*, 29(2), 2012, p. 131–138.
- [13] GUZMÁN, B., TENORIO, R., CRUZ, D.L., ESPINAL, C., ALVARADO, J.A. and MOLLINEDO, P. Saponins from *Chenopodium quinoa* Willd and *Chenopodium pallidicaule* Ellen as biocontrollers of phytopathogen fungi and hemolysis agents. *Revista Boliviana de química*, 32(1), 2015, p. 8–14.
- [14] CARRILLO T., W.I., VILCACUNDO, R. y CARRPIO, C. Compuestos bioactivos derivados de amaranto y quinua. *Actualización en Nutrición*, 16(1), 2015, p. 18–22.
- [15] MORILLO, A.C., CASTRO, M.A. y MORILLO, Y. Caracterización de la diversidad genética de una colección de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *Revista biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 15(2), 2017, p. 49–56.

Desvinculación económica del sector extractivo en Colombia

Economic decoupling of the extractive sector in Colombia

Desvinculação econômica do setor extrativo na Colômbia

JULIANA SARMIENTO-CASTILLO¹, MARIO PÉREZ-RINCÓN²,
MAURICIO GÓMEZ-SÁNCHEZ³

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo aportar argumentos alrededor de los supuestos beneficios económicos que el modelo extractivista le ha dejado al país, después de más de dos décadas de ejecución en las que ha sido catalizador de pasivos sociales y ambientales, un tema de gran trascendencia académica y política para Colombia. Para tal fin se plantearon dos modelos logarítmicos, sometidos previamente a un análisis de cointegración que garantizó la obtención de regresiones no espurias. Los resultados del primer modelo econométrico arrojaron evidencias de la desvinculación entre

Recibido para evaluación: 6 de Diciembre de 2016.

Aprobado para publicación: 31 de Mayo de 2017.

- 1 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas, Departamento de Economía, Grupo de Investigación Entropía. PhD(c) en Ciencias Ambientales. Popayán, Colombia.
- 2 Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Instituto CINARA, Grupo de Investigación en Comunidad, Ambiente y Sustentabilidad. PhD en Ciencias Ambientales con Énfasis en Economía Ecológica y Gestión Ambiental. Cali, Colombia.
- 3 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas, Departamento de Economía, Grupo de Investigación Entropía. Magíster en Economía Aplicada. Popayán, Colombia.

Correspondencia: jsarmiento@unicauca.edu.co

el crecimiento económico del país y variables macroeconómicas del sector extractivo, tales como la inversión extranjera directa, el índice de precios internacionales y exportaciones de productos minero-energéticos. Los hallazgos del segundo modelo confirmaron la relación directa entre las exportaciones extractivas y el índice de precios internacionales de minerales e hidrocarburos, así como el comportamiento del PIB de economías emergentes y en vías de desarrollo, que demandan commodities colombianas, no obstante la relación entre estas variables no resultó tan fuerte. Es así como se rechaza la hipótesis de los efectos positivos asociados a la promoción de un modelo de desarrollo basado en la explotación masiva de recursos naturales agotables.

ABSTRACT

This article aims to provide arguments about the supposed economic benefits that the extractivist model has left to the country, after more than two decades of execution in which it has been a catalyst of social and environmental conflicts, a subject of academic and policy importance for Colombia. For this purpose two logarithmic models were submitted, previously submitted to a co-integration analysis that guaranteed non-spurious regressions. The results of the first econometric model showed evidence of the decoupling between the economic growth of the country and macroeconomic variables of the extractive sector, such as foreign direct investment, international price index and exports of mining-energy products. The discoveries of the second model confirmed the direct relationship between extractive exports and the international mineral and hydrocarbon price index, as well as the GDP behavior of emerging and developing economies that demand Colombian commodities, despite the relationship between these variables was not so strong. Thus, the hypothesis of the positive effects associated with the promotion of a development model based on the massive exploitation of exhaustible natural resources is rejected.

RESUMO

Este artigo tem como objetivo fornecer argumentos sobre os benefícios econômicos suposto que o modelo extrativista deixou o país depois de mais de duas décadas de execução, que tem sido um catalisador para os passivos sociais e ambientais, uma questão de grande importância acadêmica e política para a Colômbia. Para este efeito, dois modelos logit, previamente submetidos a uma análise de cointegração que garantiu regressões não espúrias. Os resultados do primeiro modelo econométrico evidenciaram a dissociação entre o crescimento econômico do país e as variáveis macroeconômicas do setor extrativista, como o investimento estrangeiro direto, o índice de preços internacionais e as exportações de produtos de mineração. Os achados do segundo modelo confirmaram a relação direta entre as exportações extrativas eo índice internacional de preços de minerais e hidrocarbonetos, bem como o comportamento do PIB das economias emergentes e em desenvolvimento que demandam commodities colombianas, apesar da relação entre essas variáveis não ser tão forte. Assim, é rejeitada a hipótese dos efeitos positivos associados à promoção de um modelo de desenvolvimento baseado na exploração massiva de recursos naturais exaustivos.

PALABRAS CLAVE:

Commodities, Crecimiento económico, Desindustrialización, Extractivismo, Modelos logarítmicos.

KEYWORDS:

Commodities, Deindustrialization, Economic growth, Extractivism, Logarithmic models.

PALAVRAS-CHAVE:

Commodities, Crescimento económico, Desindustrialização, Extrativismo, Modelos logarítmicos.

INTRODUCCIÓN

Aunque el modelo de desarrollo basado en la explotación de recursos naturales ha sido denominado de diversas maneras por la literatura especializada, un punto en común yace en el cuestionamiento de los aparentes beneficios para la sociedad y la economía. Beneficios que son proclamados por parte de empresas del sector minero-energético y gobiernos, que han encontrado en la promoción de este sector una fuente importante de rentas fiscales, a pesar de comprometer gravemente la base natural de aquellos territorios expuestos a extracciones masivas de sus recursos. El término “extractivismo” puede referirse a toda apropiación de recursos naturales en grandes volúmenes o bajo prácticas de alta intensidad, con fines de exportación hacia el resto del mundo [1], esto incluiría a sectores tan diversos como la minería o la industria forestal, pasando por el sector agroindustrial hasta los proyectos de infraestructura.

Si bien el grado de afectación sobre la base natural varía entre una y otra actividad, unas transforman el ambiente hasta cierto límite, ya que no se remueven elementos del entorno, pero otras lo alteran sobrepasando umbrales ecológicos, al extraer recursos por medios que implican mayores impactos sobre el entorno. A este último tipo de actividades hace referencia el presente artículo, por lo tanto, cuando se mencione al modelo extractivista, se estará aludiendo al modo de producción basado en la extracción masiva de hidrocarburos y minerales, tales como petróleo, carbón, ferromanganeso y metales preciosos como el oro.

La década de los noventa, marca un punto de inflexión en la dinámica productiva colombiana, al igual que gran parte de los países de la región, donde se consolida el protagonismo de la extracción de minerales, y especialmente, la explotación de hidrocarburos. La apertura económica fue uno de esos factores externos que suscitó dicho escenario, según Svampa y Slipak (2015) obedeciendo al cumplimiento de compromisos pactados en el marco del Consenso de Washington, el cual derivó en lo que denominan Consenso de los *Commodities* o productos básicos, caracterizado por combinar rentabilidad extraordinaria, reprimarización de la economía y conflictos ambientales, argumentando que la actual dinámica económica basada en la demanda internacional de *commodities* es, al mismo tiempo, imparable y también benéfica, para el conjunto de los países latinoamericanos [2].

La especialización de los países en desarrollo en bienes primarios o básicos y su dependencia de bienes industrializados ofrecidos en su mayoría por países desarrollados, necesarios para mantener la producción y el empleo, crea sin duda una relación asimétrica entre estos países, lo que Raúl Prebisch llamó el “intercambio desigual”, expresado en la tendencia a largo plazo de la caída de los términos de intercambio y generan la extracción de valor desde la periferia a los centros [3]. Esta especialización en el sector extractivo, está fundamentada en un postulado de la escuela clásica de pensamiento económico: las ventajas comparativas, desarrollado por David Ricardo (1772-1823), que constituye el argumento a favor del libre comercio entre las naciones. Bajo esta doctrina, un país debe especializarse en los sectores que usan recursos que abundan en sus territorios, correspondiendo ello a una estrategia ‘gana-gana’ para todos los que participan en el comercio.

Es así como en nombre de las “ventajas comparativas” se promueve la especialización de las economías latinoamericanas en productos primarios, lo cual produce un efecto escala que incrementa la cantidad de recursos naturales utilizados por la actividad económica, y con ello, la rematerialización de la economía mundial. Buena parte de estos recursos naturales, son generados por las economías del sur⁴, las cuales incrementan la exportación y explotación de sus recursos ambientales para soportar las relaciones de intercambio desiguales y el pago de sus compromisos financieros internacionales, incrementando con ello el efecto escala sobre su espacio biofísico [4]. Esto podría ayudar a explicar por qué en Colombia, desde la década de los noventa, se ha acentuado ese proceso de especialización hacia el sector minero-energético, impulsado además por las expectativas crecientes en la demanda internacional de *commodities* por parte de las potencias económicas emergentes: Brasil, Rusia, India y China, así como la firma de Tratados de Libre Comercio (TLC) con potencias económicas, consolidadas y emergentes [5].

El cambio estructural en el aparato productivo colombiano también puede identificarse cuando se analiza

4 El término “economías del sur” hace alusión a aquellos países suramericanos, con economías incipientes o en vía de desarrollo. El concepto está vinculado a la teoría centro-periferia promovida por Raúl Prebisch, en la que aborda el carácter asimétrico del desarrollo económico internacional.

la balanza comercial. La figura 1 presenta el origen de los productos exportables según su participación en el total de exportaciones, evolución quinquenal desde 1970 hasta 2014. Puede observarse que durante la década de los setenta, según registros del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), los productos de origen agropecuario representaban la mayor participación en la canasta exportable, con un 70% aproximadamente, siendo el café el primer renglón en el total de exportaciones con más del 60%; paulatinamente su participación se fue reduciendo en las siguientes décadas: alcanzó a finales de los ochenta promedios de participación del 40%; en los noventa descendió a 20%; para quedar relegados estos productos a un escaso diez por ciento del valor total exportado. De otro lado, se observa la poca dinámica en los productos de origen industrial en participaciones alrededor del 20% y 30%, alcanzando su máximo en el año 2001, con un 43% en el total de exportaciones, reduciéndose en la actualidad al 20%, mostrando la dinámica desindustrializadora del

país. Mientras que un comportamiento contrario presentó el sector minero-energético, cuya participación en el total de exportaciones aumentó 7 veces, pasando de un escaso 10% en los años setenta a un categórico 70% en el año 2014.

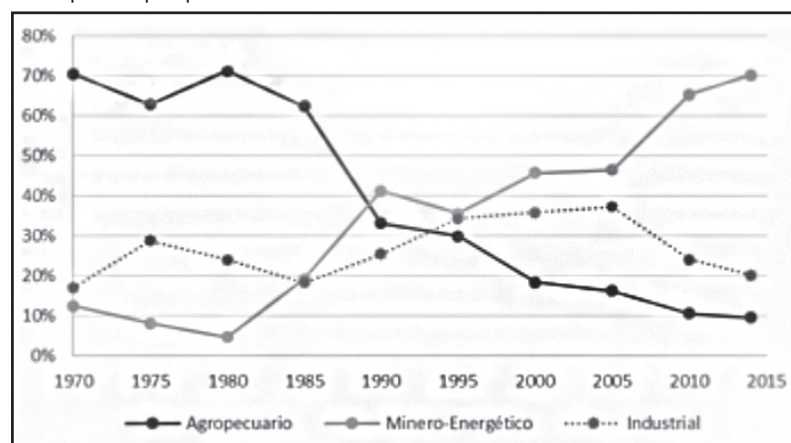
En términos económicos, las investigaciones relacionadas con las implicaciones del extractivismo se concentran, en general, hacia su efecto en el crecimiento económico como variable de interés. Desde comienzos de la década de los ochenta se publicaron los estudios pioneros que abordaron la relación entre dependencia de industrias extractivas (minería e hidrocarburos) y el desempeño económico de países en vía de desarrollo. Algunos autores, como Sachs y Warner que siguieron esta línea de investigación, detectaron una de las principales consecuencias de las economías soportadas en la exportación de recursos naturales o materias primas, la denominada "enfermedad holandesa", la cual implica la coexistencia de un *boom* en el comercio de bienes de un sector, y el declive o rezago de otros sectores debido a un proceso

de apreciación adicional de la tasa de cambio real [6]. Esta relación se utilizó para explicar el proceso de desindustrialización (contracción del sector agrícola y el industrial) de diversas economías dependientes de bienes primarios, no solamente de bienes derivados de actividades extractivas. Otros estudios mostraron evidencias sobre el lento crecimiento en aquellos países con abundancia de recursos naturales durante la década de los setenta y ochenta, respaldando la hipótesis de la paradoja "la maldición de los recursos", esto se comprobó al comparar un indicador de abundancia de recursos naturales con la Inversión Extranjera Directa, al hallar una correlación negativa [7].

Este marco histórico y analítico motivó la presente investigación, cuyo principal objetivo es identificar el aporte económico de este modo de apropiación de los recursos naturales (no renovables) al sistema productivo colombiano, así como los posibles determinantes de la dinámica exportadora extractiva. Se espera que los resultados logren aportar elementos al debate académico y político sobre la pertinencia de mantener esfuerzos e incentivos hacia el sector extractivo.

Para tal fin, el artículo se ha dividido en cuatro secciones. La primera está constituida por la presente introducción; la segunda explica el método implementado que permitió alcanzar los objetivos de la investigación, el cual está relacionado con técnicas econométricas aplicadas a series de tiempo de variables macroeconómicas, recopiladas para un horizonte temporal de 25 años; la tercera devela los resultados obtenidos a partir de la modelación econométrica, sobre la

Figura 1. Productos exportables colombianos según su origen. Participación quinquenal 1970-2014.



Fuente. Elaboración propia a partir de DANE (2015).

desvinculación del sector extractivo del sistema económico colombiano, haciendo énfasis en el escaso aporte al crecimiento económico y los posibles determinantes de las exportaciones de minerales e hidrocarburos; por último, se presentan algunas conclusiones sobre los principales hallazgos de ésta investigación.

MÉTODO

La intención es evidenciar a través de dos modelos logarítmicos el grado de asociación entre variables macroeconómicas relacionadas con el sector de minas y canteras y el crecimiento económico colombiano. Las series de tiempo que alimentaron los modelos fueron extraídas de las bases de datos abiertas que dispone el DANE, en un horizonte temporal comprendido entre 1990 y 2014, años que marcaron el antes y el después del *boom* extractivista en el país.

En este orden de consideraciones, el primer modelo propuesto es el siguiente:

$$LPIBT_t = \beta_1 + \beta_2 LIEDEX_t + \beta_3 LIPPIE_t + \beta_4 LPIBEX_t + \beta_5 MA(q)_t + \omega_t \quad (\text{Ec. 1})$$

LPIBT es el PIB total colombiano; LIEDEX hace alusión a la inversión extranjera directa al sector minero-energético. De otro lado, LIPPIE referencia el índice ponderado de precios internacionales de los principales productos exportados del sector extractivo (petróleo, carbón, níquel, oro y plata). La variable LPIBEX es el PIB extractivo del país. Para dar cuenta de eventuales choques aleatorios exógenos se introduce un promedio móvil $MA(q)$. Finalmente es el término aleatorio de error, el cual se supone bien comportado. Vale aclarar que la letra inicial L en todas ellas indica que se encuentran expresadas en logaritmos naturales (por tanto los parámetros se deben entender como elasticidades⁵) y además se encuentran expresadas en dólares a precios constantes del año 2005.

5 El coeficiente de la elasticidad, en la notación de cálculo, se define como $(dY/Y)/(dX/X) = [(dY/dX)/(X/Y)]$. Por tanto, β_2 , β_3 y β_4 son, en efecto, coeficientes de la elasticidad [8]. Así, los parámetros que acompañan las variables explicativas miden la elasticidad del PIBT con respecto a la IEDEX, al IPPIE y al PIBEX, en términos generales mide el cambio porcentual en Y ante un pequeño cambio porcentual en X dado.

Lo que se espera de los parámetros es que todos sean positivos, ya que todas las variables explicativas impulsarían el PIB colombiano, incluyendo los precios internacionales de productos extractivos exportados, aunque se desconoce a priori si la relación de causalidad será inelástica, elástica o unitaria.

De otro lado, se propone un segundo modelo que permita recoger la relación entre las exportaciones del sector extractivo con el índice de precios internacionales de las exportaciones y el PIB de las economías emergentes, el cual se especifica así:

$$LXEX_t = \alpha_1 + \alpha_2 LIPPIE + \alpha_3 LPIBEMER_t + \alpha_4 MA(q)_t + \varepsilon_t \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde LXEX son las exportaciones del sector extractivo del país, LIPPIE es el índice ponderado de precios internacionales de los principales productos exportados del sector extractivo (petróleo, carbón, níquel, oro y plata); la variable LPIBEMER hace referencia al PIB de aquellas economías emergentes y en vía de desarrollo, principales demandantes de productos extractivos de origen colombiano (China, India, Panamá, Perú y Venezuela), la cual fue construida bajo el método de componentes principales. Para recoger posibles choques aleatorios exógenos también se introduce un promedio móvil $MA(q)$. Finalmente denota los errores aleatorios, los cuales se suponen bien comportados. Como en el caso anterior, las variables están precedidas de la letra L indicando que están expresadas en logaritmos naturales, es decir, sus parámetros son elasticidades y además, se encuentran expresadas en dólares a precios constantes del año 2005.

Previo a la estimación de los modelos se hace necesario determinar si las variables incluidas en ambas modelaciones están cointegradas o no para evitar el problema de regresiones espurias. A continuación se presentan los resultados.

RESULTADOS

Análisis de cointegración

Para examinar el orden de integración de las variables, se implementó la prueba de raíces unitarias de Dickey-Fuller Aumentada (DFA) al igual que la KPSS

para reforzar los resultados. Los resultados resumidos se muestran en el cuadro 1.

Para ambas pruebas se encuentra que todas las variables incluidas en ambos modelos son integradas de orden uno $I(1)$, es decir requieren de una diferenciación para ser estacionarias. Este resultado permite implementar un análisis de cointegración toda vez que las series presentan el mismo grado de integración. Por tal razón se utilizará el Test de Johansen en ambos modelos propuestos bajo el método de la traza y del máximo valor propio. Los resultados por el método de la traza se muestran en el cuadro 2 y 3.

En el cuadro 2 se muestra que existen al menos tres vectores de cointegración para el caso del modelo 1, y en el cuadro 3, que existe al menos un vector para el caso del modelo 2. Esto permite afirmar que los modelos cointegrantes planteados en las ecuaciones 1 y 2 no son espurios o falsos. Siguiendo a Greene (2003):

“Si ambas series son $I(1)$, entonces la diferencia parcial entre ellas debería ser estable alrededor de la media ajustada. Lo cual implica que las series fluctúan aproximadamente a la misma tasa. Las dos series que satisfacen esta condición quiere decir que están cointegradas” [9].

En otras palabras, las variables por separado muestran comportamientos aleatorios, pero de forma agrupada establecen una combinación lineal estacionaria, que fortalece la relación a largo plazo entre las variables consideradas en ambos modelos. En este orden de ideas se pueden estimar ambos modelos sin caer en el problema de regresiones espurias.

Modelación logarítmica

Los resultados del modelo 1 se muestran en el Cuadro 4.

En este caso el modelo presenta un buen ajuste a nivel individual y conjunto, ya que los p-valores son todos cercanos a cero y R^2 es elevado (97,9%), adicionalmente, el p-valor del F estadístico es cero; frente a los signos esperados todos son correctos. En términos particulares bajo condiciones *ceteris paribus*, la inversión extranjera directa al sector minero energético guarda una relación inelástica frente al PIB total nacional (0,03), aunque llama la atención su bajo valor, el cual es cercano a cero. De otro lado, el índice de precios internacionales de productos extractivos

Cuadro 1. Ordenes de Integración. Pruebas Dickey Fuller y KPSS.

Variable	Primera Diferencia			
	ADF	p-valor	KPSS	p-valor
LPIBT	-2,873	0,064	0,179	0,135
LIEDEX	-4,858	0,001	0,374	0,184
LIPPIE	-4,979	0,001	0,200	0,257
LPIBEX	-3,516	0,017	0,107	0,153
LXEX	-4,467	0,002	0,235	0,180
LPIBEMER	-5,479	0,000	0,207	0,253

Cuadro 2. Test de Cointegración de Johansen (traza). Modelo 1.

No. de EC(s)	Eigen-value	Estadístico	Valor Crítico	Prob.**
Ninguna*	0,726	77,792	55,246	0,000
Más de 1*	0,658	49,279	35,011	0,001
Más de 2*	0,543	25,682	18,398	0,004
Más de 3*	0,319	8,441	3,841	0,004
* Sugiere rechazo de la hipótesis al 0,05				
** MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-valores				

Cuadro 3. Test de Cointegración de Johansen (traza). Modelo 2.

No. de EC(s)	Eigen-value	Estadístico	Valor Crítico	Prob.**
Ninguna *	0,969	90,445	35,011	0,000
Más de 1 *	0,585	21,169	18,398	0,020
Más de 2 *	0,163	3,567	3,841	0,059
* Sugiere rechazo de la hipótesis al 0,05				
**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-valores				

Cuadro 4. Estimación Modelo 1.

Variable	Coficiente	Desv. Estándar	P-valor
C	7,25	0,74	0,00
LIEDEX	0,03	0,01	0,03
LIPPIE	0,09	0,03	0,00
LPIBEX	0,48	0,08	0,00
MA(1)	0,71	0,13	0,00
R2	0,979	P-Valor F	0,000

Fuente. Cálculos propios. Estimaciones bajo consistencia Newey-West.

también se comporta de forma inelástica frente al PIB total (0,09) y su relación también es cercana a cero. El PIB extractivo sigue la tendencia de las dos anteriores variables, ya que la relación es inelástica, pero muestra una relación cercana a 0,5. Finalmente los choques aleatorios previos (un rezago) existen y afectan de forma positiva al PIB total contemporáneo. En

general, se puede concluir con todos estos resultados que el nivel de actividad económica nacional guarda una relación muy débil con el comportamiento del sector minero energético en los últimos 25 años.

En el caso de la segunda modelación, el resultado de la estimación se muestra en el cuadro 5

Como en el caso anterior, el modelo presenta una alta significancia estadística tanto a nivel individual como colectivo, pues los p-valores de la prueba t-student y F son todos cercanos a cero; los signos son correctos y la prueba de bondad de ajuste (R^2) es elevado (97,3%). Específicamente hablando bajo condiciones *ceteris paribus*, el índice de precios internacionales guarda una relación inelástica frente a las exportaciones del sector extractivo (0,37); en cuanto al PIB de los países emergentes y en vía de desarrollo la relación también es inelástica (0,16). En cuanto a los choques aleatorios exógenos también afectan al PIB actual de forma rezagada. En general, se observa que para este caso, la incidencia de las economías emergentes eleva de forma positiva, aunque sutil, la exportación de productos minero-energéticos en Colombia⁶.

El bajo valor de los parámetros, en ambos escenarios, podría deberse al poco peso que tienen las variables analizadas en el PIB nacional. Por tal razón, se estimaron ambos modelos con las variables normalizadas para que todas tengan media cero y varianza unitaria, y así, evitar el problema de la baja participación relativa, pero los resultados siguen siendo con-

cordantes con los establecidos anteriormente: todas las relaciones son inelásticas.

CONCLUSIONES

Los resultados de la investigación constituyen argumentos contundentes sobre las implicaciones para la economía que ha traído el modelo de desarrollo basado en la extracción de recursos naturales, específicamente la especialización de la economía colombiana en el sector minero-energético. Inicialmente se logró contextualizar al lector en el debate contemporáneo alrededor del extractivismo, donde además se explicaron algunos factores que han sido determinantes en la adopción del mismo, entre ellos las relaciones de dependencia a nivel mundial, en la cual el desgaste ambiental lo ponen los países del sur, que han abierto sus puertas a capitales foráneos interesados exclusivamente en el sector minero-energético.

A partir de la modelación econométrica, se encontró que Colombia a pesar de haberle apostado a un aparato productivo especializado en actividades extractivas, ha generado resultados contrarios a los esperados, donde el *boom* en los precios internacionales de los minerales y combustibles, a pesar de haber dinamizado el sector de minas y canteras, no ha logrado permear a la actividad económica en su conjunto. Se demostró a partir del modelo 1, que las variables del sector extractivo, como la inversión extranjera directa hacia el sector de minas y energía, los precios internacionales de los minerales e hidrocarburos, el PIB y las exportaciones extractivas, no tienen mayor peso en la explicación del PIB total colombiano. En general, se puede concluir que el nivel de actividad económica nacional ha guardado una relación muy débil con el comportamiento del sector minero-energético, en los últimos 25 años.

Se validan aquellos argumentos que califican al sector extractivo como una economía de enclave [10], en las que no ejercen los tan indispensables mecanismos de propagación del empleo y la diversificación productiva, con escasas relaciones y vinculaciones con el resto de la economía nacional. Esto se debe a que buena parte de sus insumos y tecnologías son importados, una proporción significativa de su personal técnico también es extranjero, y a su vez, no nutren cadenas industriales nacionales, sino que las exportan. Esto sumado a que la gran minería utiliza intensivamente capital que

6 Finalmente, los residuales estimados de ambos modelos son estacionarios de acuerdo a la prueba ADF, aunque de nuevo este resultado no debe causar sorpresa pues las series de este modelo están cointegradas con el mismo orden.

Cuadro 5. Estimación Modelo 2.

Variable	Coefficiente	Desv. Estándar	P-valor
C	1,591	0,381	0,000
LIPPIE	0,371	0,198	0,076
LPIBEMER	0,164	0,028	0,000
MA(1)	-0,694	0,214	0,004
R2	0,973	P-Valor F	0,000

Fuente: Cálculos propios. Estimaciones bajo consistencia Newey-West

desplaza el enganche de mano de obra, hace que las contribuciones a las economías locales o regionales sean muy limitadas, y el grueso de sus ganancias quede en los países de origen del capital.

El modelo 2 permitió además, confirmar la relación directa entre las exportaciones de productos de origen extractivo y el índice de precios internacionales de minerales e hidrocarburos, así como el comportamiento del PIB de economías emergentes y en vías de desarrollo, no obstante se esperaba a priori que la relación fuera más estrecha. Esto teniendo en cuenta que la firma de Tratados de Libre Comercio con potencias económicas, consolidadas y emergentes, se creía que podría estar dándole un aire adicional a las exportaciones de productos básicos. El caso más sorprendente se da con India que presentó la mayor tasa de crecimiento en la demanda de minerales e hidrocarburos colombianos, según el DANE, entre 2005 y 2006 incrementó en casi 400%. Así mismo, se esperaba que el comportamiento del índice de precios internacionales de la canasta minero-energética tuviera una mayor incidencia en la dinámica exportadora de productos extractivos nacionales.

Estos hallazgos darían cuenta del impacto que pudo tener la caída en el precio de éstas *commodities* a partir de 2012 en los mercados mundiales, cuyas razones son diversas; por un lado, se puede aducir una tendencia hacia la sobreproducción por parte de los principales países exportadores, aunque también disminuyó su demanda mundial en la medida en que los países lograron estabilizar sus economías. Lo anterior se puede explicar con el caso del oro, que es un depósito de valor, principalmente porque este metal es refugio para aquellos ahorradores expuestos a la incertidumbre financiera, especialmente europeos y estadounidenses fuertemente golpeados por la más reciente crisis económica mundial, contrario a otras inversiones, ya que no está ligado a la solvencia de un emisor o la estabilidad de un sistema financiero.

Resulta cuestionable sacrificar el sustrato natural con el fin de atender demandas especulativas de recursos agotables, más aún cuando no están logrando fortalecer el aparato productivo del país. Este artículo pudo corroborar que en realidad los supuestos beneficios económicos, que aparentemente permitirían saldar la creciente deuda social y ecológica del extractivismo, no se han materializado, lo cual no justifica seguir promoviendo al sector de minas e hi-

drocarburos como base del crecimiento y desarrollo económico de Colombia.

Se sugiere un viraje en el modelo de desarrollo dominante, en el que se promuevan aquellas ramas de actividad económica castigadas durante más de dos décadas de hegemonía del sector de minas y energía en el país, tales como la agricultura y la industria, potencialmente menos agresivas contra el medio ambiente e importantes focos de demanda laboral.

REFERENCIAS

- [1] GUDYNAS, E. *et al.* Teología de los extractivismos. *Tabula Rasa*, 24, 2016, p. 11-23.
- [2] SVAMPA, M. y SLIPAK, A. China en América Latina: Del consenso de los commodities al consenso de Beijing. *Revista Ensamblajes*, 3, 2015, p. 34-63.
- [3] ACOSTA, A. Post-extractivismo: entre el discurso y la praxis. Algunas reflexiones gruesas para la acción. *Ciencia Política*, 11(21), 2016, p. 287-332.
- [4] PÉREZ-RINCÓN, M. En: *Minería en Colombia: Control público, memoria y justicia socio-ecológica, movimientos sociales y posconflicto. Conflictos ambientales en Colombia: Inventario, caracterización y análisis*. 1 ed. Bogotá (Colombia): Contraloría General de la República, 2014, p. 253-318.
- [5] SARMIENTO-CASTILLO, J. y PÉREZ-RINCÓN, M. Caracterización del proceso de especialización de la economía colombiana hacia el sector extractivo. *Ambiente y Sostenibilidad*, 5, 2015, p. 118-130.
- [6] GODA, T. y TORRES, A. Flujos de capital, recursos naturales y enfermedad holandesa: el caso colombiano. *Ensayos Sobre Política Económica*, 33(78), 2015, p. 197-206.
- [7] CAMPO, J. y SANABRIA, W.A. Recursos Naturales y Crecimiento Económico en Colombia: ¿Maldición de los Recursos?. *Perfil de Coyuntura Económica*, 21, 2013, p. 17-37.
- [8] GUJARATI, D. y PORTER, D. *Econometría*. 5 ed. México D.F. (México): McGraw-Hill, 2010, 921 p.
- [9] GREENE, W. *Econometric Analysis*. 5 ed. New Jersey (USA): Prentice Hall, 2003, 959 p.
- [10] ESPITIA, J.E. En: *Minería en Colombia: Daños ecológicos y socio-económicos y consideraciones sobre un modelo minero alternativo. La distribución regional de la actividad agrícola, minera y no minera en Colombia 1975-2012*. 1 ed. Bogotá (Colombia): Contraloría General de la República, 2014, p. 381-437.

Estado de los recursos naturales en el parque nacional molino de flores Netzahualcóyotl

Natural resources status in the molino de flores Netzahualcóyotl national park

Estado da dos recursos naturais no parque nacional molino de flores Netzahualcóyotl

ALEJANDRO HERRERA-LLAMPALLAS¹, ARIANA LUQUE-DELGADILLO¹,
GUILLERMO RAMÍREZ-GARCÍA², ANASTASIO ESPEJEL-GARCÍA³,
ANTONIO VÁZQUEZ-ALARCÓN⁴, JESÚS D. GÓMEZ-DÍAZ⁴,
ALEJANDRO I. MONTERROSO-RIVAS⁴

RESUMEN

El Parque Nacional Molino de Flores Netzahualcóyotl es un área natural protegida que se encuentra en el municipio de Texcoco y es administrada por el Ayuntamiento. El área carece de un plan de manejo o alguna otra guía o documento de planeación que marque pauta en el manejo y conservación de sus recursos naturales. Con el

Recibido para evaluación: 28 de Febrero de 2018.

Aprobado para publicación: 25 de Julio de 2018.

- 1 Departamento de Suelos, Centro de Investigación en Recursos Naturales y Medio Ambiente – CIRENAM. Universidad Autónoma Chapingo. Ingeniero en Recursos Naturales. Texcoco, México.
- 2 Centro Regional Universitario del Noroeste, Centro de Investigación en Recursos Naturales y Medio Ambiente – CIRENAM Universidad Autónoma Chapingo. Doctor en Geografía. Ciudad Obregón, México.
- 3 Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo. Doctor. Texcoco, México.
- 4 Departamento de Suelos, Centro de Investigación en Recursos Naturales y Medio Ambiente – CIRENAM. Universidad Autónoma Chapingo. Doctor en Edafología. Texcoco, México.

Correspondencia: aimrivas@correo.chapingo.mx

objetivo de hacer un inventario y conocer su estado actual de conservación se analizó información obtenida en campo de 51 sitios de muestreo en sus 45 hectáreas de extensión. El método consistió en delimitar el parque y realizar un inventario y diagnóstico de los recursos naturales. Se tomaron datos sobre el estado actual del suelo (18 parámetros), vegetación (36 parámetros en 5 estratos) y agua (4 puntos, 16 muestras y 9 parámetros cada una). La información revela los problemas presentes y en gran mayoría con tendencias de deterioro que padece el parque: disminución de cobertura vegetal, contaminación de suelo y agua, descargas de aguas residuales contaminadas en el río Coxcacuaco, altas tasas por erosión hídrica, deforestación y extracción de recursos forestales. Los resultados permiten conocer las principales causas de la degradación de los recursos y a su vez las áreas de oportunidad para propiciar su rehabilitación, correcto manejo y administración del parque.

ABSTRACT

"Molino de Flores Netzahualcoyotl" National Park is a protected area located in Texcoco, Mexico and is managed by the municipality. The area lacks a management plan or any other guide or planning document that sets standards in management and conservation of its natural resources. The main goal was to make a natural resources inventory and current conservation status, thus information was obtained from 51 sampling sites in its 45 hectares of extension. The method was to delimit the park and carry out an inventory and diagnosis of natural resources. Data collected on the current state of the soil (18 parameters), vegetation (36 parameters in 5 strata) and water (4 points, 16 samples and 9 parameters each one). Information exposes the present problems and tendencies of deterioration in the National Park: decrease of vegetal cover, soil and water pollution, discharges of contaminated residual water in the Coxcacuaco river, high rates in soils by water erosion, deforestation and illegal extraction of forest resources. The results allow to know the main causes of the degradation of the natural resources and at the same time the areas of opportunity to propitiate their rehabilitation, correct management and administration of the park.

RESUMO

O Parque Nacional Molino de Flores Netzahualcoyotl é uma área natural protegida que está localizada no município de Texcoco e é administrada pela Câmara Municipal. A área não possui um plano de gerenciamento ou qualquer outro guia ou documento de planejamento que estabeleça diretrizes para o gerenciamento e conservação de seus recursos naturais. Para fazer um inventário e conhecer o estado atual de conservação, as informações obtidas no campo foram analisadas a partir de 51 locais de amostragem em seus 45 hectares. O método consistiu em delimitar o parque e realizar um inventário e diagnóstico dos recursos naturais. Os dados foram coletados sobre o estado atual do solo (18 parâmetros), vegetação (36 parâmetros em 5 estratos) e água (4 pontos, 16 amostras e 9 parâmetros cada). A informação revela os problemas presentes e em grande maioria com tendências de deterioração que o parque sofre: diminuição da cobertura vegetal, contaminação

PALABRAS CLAVE:

Estado de conservación,
Diagnóstico, Zonificación,
Inventario, Gestión ambiental.

KEYWORDS:

Conservation status, Diagnosis,
Zoning, Inventory, Environmental
management.

PALAVRAS-CHAVE:

Estado de conservação,
Diagnóstico, Zoneamento,
Inventário, Gestão ambiental.

do solo e água, descarga de água residual contaminada no rio Coxcacuaco, altas taxas por erosão da água, desmatamento e extração de recursos florestais. Os resultados permitem conhecer as principais causas da degradação dos recursos e, ao mesmo tempo, as áreas de oportunidade para propiciar sua reabilitação, gerenciamento correto e administração do parque.

INTRODUCCIÓN

Reconocer el estado actual de los recursos naturales es fundamental para proponer la estrategia de manejo y preservación de los parques en el tiempo. El inventario de los recursos forestales es importante para la toma de decisiones y el desarrollo de un plan de manejo [1]. Los parques nacionales deben cumplir con características específicas y estar bajo acciones concretas de manejo y cuidado [2]. En México, las reglas de funcionamiento de un parque se estipulan en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente [3]. El Parque Nacional Molino de Flores Netzahualcóyotl (PNMFN) tiene la categoría de "Parque Nacional" desde el 5 de noviembre de 1937, cuando se decretó por el presidente Lázaro Cárdenas. Esta categoría puede ser equivalente a la III de la UICN, conservación de los rasgos naturales, monumento natural o monumento histórico. Los parques nacionales se definen como representaciones biogeográficas, a nivel nacional, de uno o más ecosistemas [4] que signifiquen importancia por su belleza escénica, su valor científico, educativo, de recreo, su valor histórico, por la existencia de flora y fauna, por su aptitud para el desarrollo del turismo, o bien por otras razones análogas de interés general.

Desde enero de 1997 el PNMFN está bajo la administración del municipio de Texcoco desde dos dependencias: la Dirección de ecología, (que se encarga del personal administrativo, los planes de trabajo anuales, reforestación y actividades generales) y la Dirección de regulación comercial, que se encarga del cobro de cuotas (estacionamiento, pagos semanales y anuales de los comerciantes).

Existen serios problemas ambientales, ocasionados por el exceso de basura producida por los usuarios, vertido de aguas negras al río, contaminación del aire por las minas de arena, extracción de la vegetación e incendios [5], aunado a la falta de presupuesto y posible indiferencia por parte de las autoridades mu-

nicipales, que incrementa la vulnerabilidad del equilibrio ecológico del sitio.

Veinte años después de ser administrado por el municipio, surge el interés de evaluar la degradación y el estado actual, que implica realizar una comparación entre el estatus en un determinado momento, con un estado previo que es identificado como línea base o estado de referencia [6], que da relevancia a la recolección de información y la caracterización de las masas forestales y áreas naturales, tanto para conocer el avance de dicha degradación [7] como para conocer el resultado de posibles medidas a ser aplicadas.

El PNMFN destaca por su relevancia histórica, cultural y de esparcimiento para la comunidad local y turistas [8]. El objetivo del presente fue hacer un inventario y diagnóstico del suelos, vegetación y río en el PNMFN, con el propósito de conocer su estado actual de conservación y establecer las bases necesarias para elaborar una propuesta de manejo integral de sus recursos naturales. Lo anterior busca integrar la funcionalidad ecológica, así como la administrativa, con el fin de mejorar las prácticas actuales y por consiguiente el estado de los recursos naturales. La motivación para mantener áreas protegidas es cumplir con los objetivos de preservar en su condición original los recursos y ecosistemas para el uso y disfrute de las generaciones futuras y actuales [9].

La presente investigación pretende reconocer el estado que guardan los recursos naturales del área para comprender los procesos dominantes que se presentan en el área, como se ha sugerido previamente [10].

MÉTODO

Área de Estudio

El PNMFN se localiza al oriente del estado de México, en el municipio de Texcoco con una superficie de 45,6 h. Presenta cambio altitudinal de 40 m, al pasar de 2290 msnm y hasta los 2330 msnm. Se encuentra rodeado de lomeríos y dentro del área se pueden encontrar pendientes de 4,5% a más de 70% en la ribera del río [5]. El clima dominante es templado con temperatura media anual de 14°C y precipitación de 620 mm. Los vientos provienen del noroeste durante la estación seca de invierno y los del noreste en la estación de verano, manteniendo velocidad aproximada de 10

km/h. El río que lo atraviesa casi por la mitad se llama Coxcacuaco y lo hace de oriente a poniente, teniendo como abastecimiento principal los manantiales de San Francisco, San Juan Totolapa y el manantial de la Joya.

Zonificación

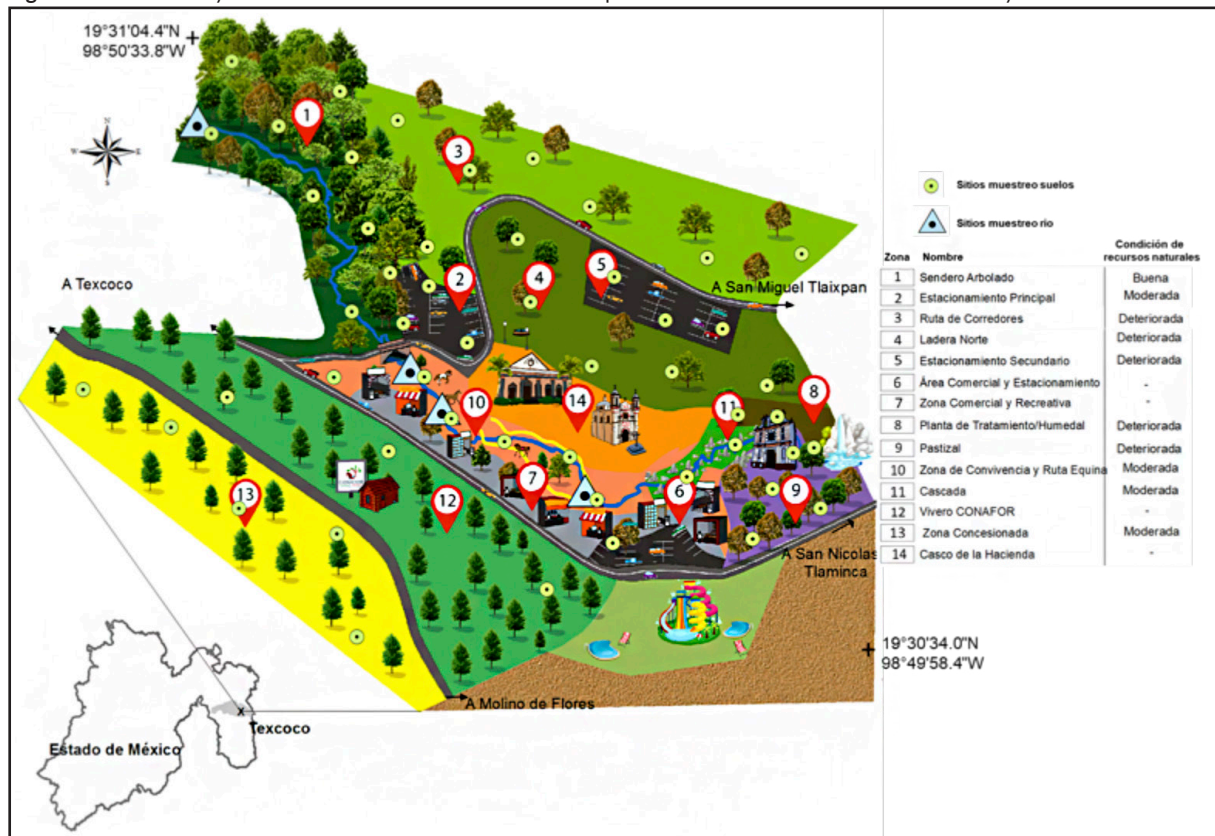
Dada la imprecisión en el lindero del parque se delimitó el perímetro de este. Se hicieron recorridos a pie y se obtuvieron coordenadas del polígono (en metros según UTM-14) con ayuda del sistema de posicionamiento Magellan Mobilmapper 6 [11, 12]. Después, se entrevistó al personal administrativo para corroborar la información y conocer su opinión respecto a los usos de suelos dominantes [13] y sobre las áreas que presentan mayor afluencia de visitantes. Además, se estimó la densidad de la vegetación y la pendiente del terreno como lo sugiere CONAFOR [14]. A partir de lo anterior y utilizando una imagen de satélite reciente como base (Google Earth, 2017) se delimitaron 14 zonas que fungen como áreas de manejo o gestión ambiental (Figura 1).

Estado Actual de la Conservación

Se obtuvo a partir del análisis del estado de los suelos, la vegetación y el río. Cabe señalar que no se abordó la fauna. El proceso se describe a continuación:

Suelos. Se realizó un muestreo a partir de una rejilla de puntos estratificados (20 x 20 m) tomando como base el mapa de zonificación generado. Para las 14 zonas se determinaron 51 sitios de muestreo. Se consideró una profundidad de 30 cm para la obtención de una muestra por cada sitio y se determinaron y registraron los siguientes parámetros: color, textura, pedregosidad, estructura, consistencia (en seco y en húmedo), pegajosidad, plasticidad, materia orgánica, carbonatos, permeabilidad, tipo de drenaje, pH, cantidad y tamaño de poros y raíces, la presencia de micro fauna en el suelo y la profundidad aproximada de cada punto de muestreo, según lo planteado por especialistas en el área [15].

Figura 1. Zonificación y estado actual de conservación en el Parque Nacional Molino de Flores Netzahualcóyotl.



Además, se registró evidencia de degradación del suelo en un área de 400 m² trazada a partir de cuatro transectos de 10 m cada uno medidos a partir del centro del sitio (punto donde se realizó el muestreo del suelo), tal como se recomienda en el Inventario Nacional Forestal y de Suelos y estudios de suelos [16, 17].

Vegetación. La vegetación se evaluó en cinco grupos o estratos: vegetación menor, sotobosque, repoblado, arbolado y material leñoso caído. Se determinó la siguiente superficie para la medición de cada estrato: vegetación menor (1 m²), material leñoso (transecto de 20 m) y vegetación menor, sotobosque, repoblado y arbolado (400 m²), con el fin de abarcar la mayor cantidad posible de individuos y características presentes en el PNMFN.

Para cada grupo se obtuvieron mediciones sobre: vegetación menor (porcentajes de cobertura ocupada por vegetación como: gramíneas (pastizales), helechos, musgos y líquenes; porcentaje de la superficie cubierto por hojas, suelo desnudo, rocas, gravas y piedras, y otros elementos que ocupen un determinado espacio en el área de medición); sotobosque (especie dominante, forma de vida, porcentaje de cobertura, frecuencia por alturas, vigor de cada individuo, daño presente y porcentaje de daño); repoblado (especie dominante, forma de vida, porcentaje de cobertura, frecuencia por alturas, vigor de cada individuo, daño presente y porcentaje de daño); arbolado (nombre científico, nombre común, forma de vida, forma de fuste, condición, diámetro normal (a 1,30 m), altura total, ángulo de inclinación > a 30°, vigor, diámetro basal (a 30 cm), cobertura del dosel, daño y dominancia); material leñoso caído (material de 1-10 h; material de 100 h; material de 1000 h; diámetro (cm), porcentaje de cobertura y grado de putrefacción) y arbustos y pastos (altura).

Evaluación del estado actual del parque. Se siguió un método de ponderación multicriterio [18] que consideró 17 variables y siete clases. Para cada variable y siguiendo juicio experto se asignó valor de importancia ponderada para ser integrado después en cinco clases finales. De acuerdo con el valor final unidimensional (de 0,5 a 5,5) se clasificaron como: excelente (0,5 a 1,5), buena (1,6 a 2,5), moderada (2,6 a 3,5), deteriorada (3,6 a 4,5) y muy deteriorada (4,6 a 5,5). Cabe subrayar que se excluyeron las áreas destinadas a uso comercial (zonas 6 y 7) y vivero forestal (zona 12), dado que no cuentan con la totalidad de resulta-

dos (suelo y vegetación) por ser de uso intensivo (suelos cubiertos de cemento, poco arbolado).

Evaluación del estado actual del río. Se realizó la identificación de los factores constitutivos del río, los cuales se clasificaron en cuatro ambientes: inmediato, generativo, degenerativo y esporádico. Se investigó si su ambiente es favorable [19], realizando muestreos sobre cuatro distintos puntos del río Coxcacuaco, uno de estos afuera y antes de ingresar al PNMFN con el fin de tener una referencia de calidad del agua que llega al parque. Para todos los sitios se realizaron cuatro muestreos (febrero 2016), dos el mismo día; uno en la mañana y otro en la tarde; y los otros dos tres días después también en ambos turnos. Se obtuvieron 16 muestras en total y a cada una se realizaron análisis en el laboratorio sobre: dureza, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales, sólidos solubles, turbidez, alcalinidad, cloruros y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) considerando el trabajo de especialistas [20, 21].

RESULTADOS

Se distinguen 14 zonas por diferencias en intensidad de uso, densidad de vegetación, pendiente del terreno y uso actual de suelo. Cabe señalar que la investigación en un sitio generalmente comienza por estudios descriptivos [22]. Así, las zonas obtenidas pueden ser consideradas zonas de manejo o zonas de gestión del parque. Fueron asignados nombres a las zonas de acuerdo con el uso principal del suelo (Figura 1).

Zona 1: Sendero Arbolado. Cubre una superficie de 5,5 ha donde los suelos tienen profundidades de 0,35 m a más de 1,50 m. La estructura del suelo que predomina es moderadamente desarrollada y la pedregosidad va de 0% a 10% aproximadamente, con una baja incidencia de afloramientos rocosos. En el sendero hay baja concentración de raíces y poros en el suelo, con diámetros que van de 1 mm a 5 mm aproximadamente en ambos casos. Las pruebas realizadas mostraron alto contenido de materia orgánica. La zona se clasifica con "alta" erosión ya que se encontraron canalillos de hasta 8 m de distancia y 15 cm de profundidad, así como también un par de cárcavas de entre 4 y 8 m de largo por 80 cm a 1,5 m de profundidad. Con relación a la cobertura vegetal, se encuentra vegetación riparia en la zona más cercana al río. Después, hacia el norte, los visitantes han trazado con el

paso de los años un sendero alrededor del cual se encuentran los árboles más viejos y altos de todo el PNMFN; entre ellos eucaliptos (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh y *Eucalyptus globulus* Labill), fresnos (*Fraxinus udhei* (Wenz.) Lingelsh), cedro blanco (*Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Endl.), casuarinas (*Casuarina equisetifolia* L.), pirúl (*Schinus molle* L.) y algunos pinos (*Pinus montezumae* Lamb.). La cobertura es baja en el estrato del sotobosque, las principales especies presentes son la uña de gato (*Mimosa aculeaticarpa* Hort.), trompetilla (*Bouvardia ternifolia* (Cav) Schl.), higuierilla (*Ricinus communis* L. 1753), escobilla (*Gymnosperma glutinosum* Cerv.) y mora (*Morus alba* L.). El repoblado se compone de fresnos jóvenes, pino (*Pinus montezumae* Lamb.), pirúl y algunos eucaliptos. En cuanto a la vegetación menor hay pasto blanco (*Andropogon saccharoides* Sw.), pasto búfalo (*Buchloe dactyloides* Nutt engelm), zacate amor (*Eragrostis mexicana* Link) y espiga negra (*Hilaria cenchroides* H.B.K.).

Es la zona que mantiene la mejor condición actual de conservación en el PNMFN, encontrándose clasificada como "Buena", esto principalmente por la alta concentración de materia orgánica que presenta el suelo, el porcentaje de cobertura en la zona, la variación de especies vegetales, poseer algunos de los especímenes de mayor altura del PNMFN, el DN medido, entre otras características. Gran parte del área resulta de difícil acceso para los visitantes, por lo que el impacto que estos generan no es tan alto [4].

Zona 2: Estacionamiento principal. Tiene un área de 0,94 ha y suelos con profundidades de 0,35 m a 0,50 m. La pedregosidad del suelo se clasifica como ligeramente pedregoso, existiendo además pocos afloramientos rocosos. La permeabilidad es moderada y el suelo se encuentra imperfectamente drenado. La zona se encuentra clasificada con erosión "moderada", principalmente por casos de erosión laminar. Un factor de degradación del suelo a considerar es la compactación, producto del uso que se le da a la zona. Aunque el área tiene como objetivo principal servir de estacionamiento de los visitantes, hay presencia relevante de eucaliptos (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh y *Eucalyptus globulus* Labill) y roble sedoso (*Grevillea robusta* A. Cunn.) que brindan sombra a automóviles y visitantes. También existe una muy pequeña área destinada a juegos infantiles que cuenta con una franja de casuarinas (*Casuarina equisetifolia* L.) que la separa de una zona más árida al norte. En el estrato

de vegetación menor es posible encontrar pasto búfalo (*Buchloe dactyloides* (Nutt engelm)) y navajita azul (*Bouteloua gracilis* (H.B.K.) Lag). En el sotobosque se encuentran principalmente moras (*Morus alba* L) y mejorana de campo (*Brickellia veronicaefolia* (H.B.K)), como repoblado casuarinas (*Casuarina equisetifolia* L.), eucaliptos (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh), pirúl (*Schinus molle* L.) y capulín (*Prunus serotina* Cav.).

El estado actual de conservación de la zona dos se clasificó como moderada, presenta algunos de los árboles de mayor porte y una buena cobertura arbórea (31,9%), al igual que algunas áreas de la zona con un buen estado de vegetación y suelos. La erosión fue clasificada como moderada, teniendo el mayor impacto en las áreas descubiertas que son usadas como estacionamiento o zona de juegos.

Zona 3: Ruta de corredores. Se desplaza en ocho hectáreas con suelos arcillo arenosos, profundidad promedio de 0,3 m que la ubica como la segunda zona con menor profundidad dentro del parque. El suelo es ligeramente pedregoso con presencia moderada de afloramientos rocosos. La concentración de la materia orgánica es alta y el pH va de 7,5 a 8,5. No presenta problemas de erosión. Esta zona tiene una cobertura de dosel muy baja, la vegetación menor se compone principalmente por herbáceas como zacate amor (*Eragrostis mexicana* Link), pasto búfalo (*Buchloe dactyloides* Nutt engelm) y navajita azul (*Bouteloua gracilis* (H.B.K.) Lang). En el sotobosque se encuentra nopal (*Opuntia streptacantha* Lemaire), palo dulce (*Eysenhardtia polystachya* (Ort.)), Hierba del carbonero (*Baccharis conferta* Kunth) y uña de gato (*Mimosa aculeaticarpa* Hort.). En el repoblado es posible encontrar nopal (*Opuntia streptacantha* Lemaire) y algunos eucaliptos (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh y *Eucalyptus globulus* Labill) y pirules (*Schinus molle* L.). Finalmente, los pocos individuos de estrato arbóreo son eucaliptos, pirules y nopales (*Opuntia streptacantha* Lemaire). Los visitantes suelen utilizar esta zona como pista para correr o caminar.

Se clasificó como "deteriorada", a pesar de que la presión de los visitantes no es tan elevada, la falta de acciones de manejo ha promovido el deterioro constante del sitio. Muchos de los individuos arbóreos presentan daño por plaga o por incendio. La zona es una de las que presenta mayor cobertura herbácea (89,4%).

Zona 4: Ladera norte. Tiene un área de 5,18 ha. El suelo tiene profundidades que van de 0,10 m a más de 1,50 m. La clase textural dominante es migajón arcillo arenosa, la estructura del suelo se encuentra débilmente desarrollada, la pedregosidad del suelo va de ligeramente pedregoso a muy pedregoso dependiendo del sitio de muestreo, presenta afloramientos rocosos. La permeabilidad es moderada, mientras que la clase de drenaje del suelo va de pobremente drenado a imperfectamente drenado. Baja presencia de raíces y poros en el suelo siendo en su mayoría finos o muy finos, para ambos casos. Se muestra “muy alta” concentración de materia orgánica en un suelo no calcáreo. El pH de la zona va de 7,16 a 8,3. La erosión es “Baja” debido a que no se encontraron señales de canalillos o cárcavas en los sitios medidos. La vegetación se compone en su mayoría por la vegetación menor de pasto búfalo (*Buchloe dactyloides*) y escobilla (*Aristida adscensionis*). El sotobosque está compuesto por especies como nopal (*Opuntia streptacantha* Lemaire), uña de gato (*Mimosa aculeaticarpa* Hort), mejorana de campo (*Brickellia veronicaefolia* (H.B.K)) y agave. El arbolado es escaso, compuesto por pirules (*Schinus molle* L.) y algunos eucaliptos y casuarinas. No se encontraron individuos de repoblado. Los individuos del estrato arbóreo encuentran dispersos en la zona, se encontrarán especies como acacia, eucalipto (*Eucaliptus camaldulensis* Dehnh), casuarina (*Casuarina equisetifolia* L.) y pirúl (*Schinus molle* L.), siendo este último el más abundante. La condición actual de conservación se clasificó como “deteriorada”. El estrato arbóreo, además de tener una cobertura baja (5,4%) presenta daño por plaga en la mayoría de los especímenes y un bajo diámetro normal.

Zona 5: Estacionamiento secundario. Tiene un área de 1,3 ha. La densidad de vegetación es muy baja debido a la alta presión que recibe por el tránsito de autos. Se observó una diferencia de profundidad en el suelo de tan solo 5 cm entre sitio y sitio. Presenta un suelo migajón arcillo arenoso, con estructura débilmente desarrollada. Hay poca incidencia de afloramientos rocosos y un porcentaje importante de pedregosidad (del 5 al 20%). Existe una baja incidencia de poros y raíces, la materia orgánica es moderada y es un suelo ligeramente calcáreo. El pH promedio es de 8,3, mientras que el rango de la zona va de 7,9 a 8,6. La erosión es moderada, encontrando principalmente señales de erosión laminar con una extensión de hasta 30 m de largo por 5 m de ancho. Es posible encontrar quintonil (*Amarantus hybridus* L.),

acahual amarillo (*Simsia amplexicaulis* Cav) y pasto búfalo (*Buchloe dactyloides*) como vegetación menor, prácticamente no existe sotobosque. Además, se tienen individuos de repoblado principalmente de pirúl (*Schinus molle* L.) y Thuja (*Platycladus orientalis* (L.) Franco). En cuanto al arbolado la especie dominante es el pirúl (*Schinus molle* L.). La profundidad del suelo es de 0,34 m que imposibilita el correcto desarrollo de especies arbóreas, repoblado y sotobosque. La zona tiene una clasificación de su condición actual de conservación de “deteriorada”, debido a la baja presencia de arbolado y repoblado, aunado a la cobertura de pastos apenas está arriba del 50%.

Zona 6: Área comercial y estacionamiento. No considerada en la evaluación.

Zona 7: Zona comercial. No considerada en la evaluación.

Zona 8: Planta de tratamiento/humedal. La zona posee un área de 0,51 ha siendo la más pequeña del parque. El suelo presenta dos clases texturales diferentes: arcillo arenoso y migajón arcillo arenoso. Se pudo identificar una estructura de suelo débilmente desarrollada. En uno de los sitios de muestreo se encontró afloramiento rocoso así como un porcentaje importante de pedregosidad (1 a 20%). La permeabilidad va de lenta a moderada y se encuentra imperfectamente drenado en general. Existe una baja presencia de poros y raíces, clasificados como “pocos” para ambos casos. La materia orgánica se clasifica en la zona como “Moderada” y la aplicación de ácido clorhídrico muestra un suelo no calcáreo. El pH promedio es de 7,15 con rango que puede ir de 6,83 a 7,42. La erosión del suelo es moderada pero encontrando señales de erosión laminar. Alrededor de la zona crece pasto búfalo (*Buchloe dactyloides* (Nutt engelm)), en el sotobosque se puede encontrar mejorana de campo (*Brickellia veronicaefolia* (H.B.K)), tronadora (*Tecoma stans* H.B.K) y siempreviva (*Sedum praealtum* B), en el repoblado solo se encuentra nopal (*Opuntia streptacantha* Lemaire) y el estrato arbóreo se compone por yuca (*Yuca filifera* (Chabaud, 1976)), pirul (*Schinus molle* L.), casuarina y nopal (*Opuntia streptacantha* Lemaire).

La clasificación del estado actual de conservación de la zona es deteriorada. Los principales problemas son la pérdida de suelo por erosión y los daños que presentan los individuos del estrato arbóreo, la baja presencia de sotobosque y repoblado coadyuvan a

que la zona mantenga esta clasificación, así como el daño presente en estos últimos.

Zona 9: Pastizal. Se refiere a un área de 1,82 ha y es una de las zonas de menor actividad por parte de los visitantes. En esta zona el suelo va de 10 a 60 cm y presenta textura migajón arcillo arenoso con una estructura moderadamente desarrollada. La incidencia de afloramientos rocosos va de pocos a medios, mientras que el porcentaje de pedregosidad va del 1 al 20%. La zona posee una permeabilidad moderada y se encuentra imperfectamente drenada. Existe una baja presencia de poros y raíces para ambos casos. La materia orgánica se clasifica con contenido moderada, y es un suelo no calcáreo. El rango de pH va de 7,16 a 7,57. La pérdida de suelos por erosión es moderada, además de encontrar señales de compactación del suelo. Tiene poca pendiente del terreno y el estrato de vegetación menor es el dominante. En este se encuentra como especie dominante la escobilla (*Aristida adscensionis* L.), en el sotobosque hay uña de gato (*Mimosa aculeaticarpa* Hort), mejorana de campo (*Brickellia veronicaefolia* (H.B.K.) y nopal (*Opuntia streptacantha* Lemaire), el repoblado y el arbolado es con eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn). Esta zona se clasificó en su condición actual de conservación como “deteriorada”, ya que, a pesar de tener una cobertura herbácea del 65%, existe una baja densidad de individuos de los estratos arbustivos y arbóreos, y los pocos individuos presentes de estos estratos presentan daños por agentes abióticos, fuego principalmente. La situación es similar para el poco repoblado existente, que además de eso enfrenta escasez de agua provocando que la supervivencia sea muy baja. La elevada cobertura de pastos aunada al poco o nulo manejo genera que sean un potencial combustible para incendios en la época de secas, generando daño a los individuos de otros estratos que logran establecerse.

Zona 10: Zona de convivencia y ruta equina. La zona posee un área de 3,02 ha, siendo una de las más concurridas del parque por los visitantes. Aquí se realizaron siete sitios de muestreo. Se observó suelos con profundidad promedio de 0,97 m, con rango de 0,70 a 1,20 m. La zona presenta un suelo migajón arcillo arenoso con estructura débilmente desarrollada, la incidencia de afloramientos rocosos es baja y presenta pedregosidad cambiante (desde 1 y hasta 75%). La zona posee una permeabilidad moderada y se encuentra imperfectamente drenado en general.

Hay baja presencia de materia orgánica en un suelo no calcáreo. El rango de pH va de 7,31 a 8,2. La erosión medida en la zona se encuentra clasificada como “alta”, debido a que el mal manejo del sitio y las actividades que se desarrollan han contribuido a acentuar algunas áreas que presentan señales de erosión hídrica. Se observó compactación del suelo y degradación físico – química. Los recorridos a caballos y los residuos sólidos que ahí se generan producen mayor presión en la zona. A pesar de esto, el hecho de que el río atraviese la zona favorece a la vegetación. Es posible encontrar pasto blanco (*Andropogon saccharoides* Sw.), espiga negra (*Hilaria cenchroides* H.B.K.) y pasto búfalo (*Buchloe dactyloides* (Nutt engelm)) como vegetación menor, el sotobosque se compone por cabello de ángel (*Calliandra grandifolia* (L'Hér.) Benth) y capulín (*Prunus serótina* Cav.). El repoblado por eucaliptos (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn), fresnos (*Fraxinus udhei* (Wenz.) Lingelsh), roble sedoso (*Grevillea robusta* A. Cunn.), Acacia (*Acacia retinoides* Schltdl.), thuja (*Platycladus orientalis* (L.) Franco), pirúl (*Schinus molle* L.), tepozán (*Buddleia cordata* H.B.K.) y cedro blanco (*Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Endl). Por último, en el arbolado se encuentra encino, tepozán (*Buddleia cordata* H.B.K.), fresno (*Fraxinus udhei* (Wenz) Lingelsh)), eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill y *Eucalyptus camaldulensis* Dehn), ahuehuetes (*Taxodium mucronatum* Ten.) y acacia (*Acacia retinoides* Schltdl.). La zona se calificó con condición moderada en su estado de conservación, aunque es una de las que posee los árboles de mayor altura, diámetro normal y mayor variación de especies. Se encuentra bajo presión constante de los visitantes dado que las actividades que ahí se realizan han generado un daño extendido a la mayoría de los individuos; la erosión del suelo es alta y existen evidencias de compactación del suelo en distintas áreas.

Zona 11: Cascada. La zona se refiere a una extensión de 0,87 ha y se encuentra al pie de la zona comercial donde la incidencia de visitantes es relativamente baja la mayor parte de la semana. Aquí se observaron profundidades que van de 50 cm a 90 cm. El suelo es de textura arena migajosa sin estructura aparente. La presencia de afloramientos rocosos es alta y el porcentaje de pedregosidad resulta ser uno de los mal altos del parque. La permeabilidad del suelo resulta ser rápida y se encuentra bien drenado. Existe una baja presencia de poros y raíces, y la materia orgánica es baja. El pH va de 6,98 a 7,67. La erosión se clasifica como media, siendo uno de los tres sitios

evaluados el que concentra los rasgos más pronunciados de erosión. Crecen especies herbáceas como el pasto blanco (*Andropogon saccharoides* Sw), trébol y la navajita azul (*Bouteloua gracilis* (H.B.K.) Lag), el sotobosque se compone de palo dulce (*Eysenhardtia polystachya* (Ort.)), mora (*Morus alba* L.) y hierba del carbonero (*Baccharis conferta* Kunth). Como repoblado se encuentra cedro blanco (*Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Endl.), pirúl (*Schinus molle* L.), tejocote (*Crateagus pubescens* (Kunth) Steud) y fresno (*Fraxinus udhei* (Wenz.) Lingelsh). Por último, como arbolado crece pirul (*Schinus molle* L.), aile (*Alnus acuminata* H.B.K.), tejocote (*Crateagus pubescens* (Kunth) Steud), ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.) y fresno (*Fraxinus udhei* (Wenz.) Lingelsh). La zona se ubicó como moderadamente conservada, dado el desarrollo de vegetación arbórea, así como la reducción del espacio que se generó con la construcción de la ex hacienda y la baja presencia de materia orgánica en el suelo.

Zona 12: Vivero CONAFOR. La zona es un área de 9,18 ha de extensión y está administrada por CONAFOR. Es utilizada para la producción de árboles en vivero. La profundidad del suelo va de 1,6 m a 2,1 m. El suelo es de textura migajón arenoso, con una estructura débilmente desarrollada y pedregosidad que va del 1 al 20%. La zona posee permeabilidad moderada y es imperfectamente drenado. Existe baja presencia de materia orgánica en un suelo que se clasifica como ligeramente calcáreo. El pH promedio es de 7,91. La erosión se clasifica como baja debido a las constantes actividades realizadas para la conservación del suelo, y las actividades de nivelación para el establecimiento del vivero y las especies a producir. La vegetación menor se compone por pasto búfalo (*Buchloe dactyloides* (Nutt engelm)) principalmente y el arbolado por eucaliptos (*Eucaliptus camaldulensis* Dehnh) y pirules (*Schinus molle* L.).

Zona 13: Zona concesionada. La zona es de un área de 7,69 ha y la profundidad de suelo que van de 60 a 90 cm. El suelo es de textura migajón arcillo arenosa con estructura que va de débilmente desarrollada a moderadamente desarrollada. No se encuentran afloramientos rocosos y se clasifica como ligeramente pedregoso. El suelo es imperfectamente drenado con permeabilidad moderada. Existe baja presencia de poros y raíces. La materia orgánica es moderada y es de tipo no calcáreo. El rango de pH va de 6,46 a 7,72. La pérdida de suelos por erosión es baja ya que es una de las áreas menos perturbadas del parque,

aunque es posible encontrar algunas zonas compactadas. Es la segunda zona de mayor superficie, la vegetación menor se compone por pastos caducifolios como el pasto búfalo (*Buchloe dactyloides* (Nutt engelm)) y la espiga negra (*Hilaria cenchroides* H.B.K.), el sotobosque por uña de gato (*Mimosa aculeaticarpa* Hort), escobilla (*Aristida adscensionis* L.) y hierba del carbonero (*Baccharis conferta* Kunth), el repoblado por eucaliptos (*Eucaliptus camaldulensis* D.) en su mayoría y algunos cedros blancos (*Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Endl.) y pirules (*Schinus molle* L.) en la parte más alta. En el estrato arbóreo se observa un gran porcentaje de eucaliptos (*Eucaliptus camaldulensis* Dehnh) y algunos pirules (*Schinus molle* L.) y nopales (*Opuntia streptacantha* Lemaire). La zona se catalogó con condición de moderadamente conservada, es la zona más alejada de parque y la incidencia de visitantes es casi nula. Sin embargo, posee una cobertura de arbolado baja, apenas un 8,60%, los cuales tienen un vigor moderado y una altura pobre con relación a los individuos de algunas otras zonas.

Zona 14: Casco de hacienda. No considerada en la evaluación.

El estado actual de conservación del PNMFN

De las 14 zonas de manejo se calificaron 11, y de estas las de **mayor deterioro** son cinco: 3, 4, 5, 8 y 9 que representan el 34% del PNMFN. La problemática recurrente es la falta de manejo y reglamentación, que genera problemas tanto al suelo como a la vegetación. En el caso de la vegetación se puede mencionar el daño por plaga, daño por incendio, diversos problemas en su desarrollo, como: porte pobre, alturas que se encuentran por debajo del promedio, inviabilidad del repoblado, daño generado por visitantes, entre otros. Aunado a esto la falta de agua incrementa las dificultades de supervivencia de las especies vegetales.

En lo que se refiere a un grado de **conservación media** se tiene a cuatro zonas: 2, 10, 11, y 13 para el 25% de la superficie del PNMFN. La principal característica que tienen en común es que mantienen un buen nivel de cobertura de vegetación, aunque ciertas zonas e individuos presentan problemas de alguna índole, e incluso la zona presenta áreas con niveles de degradación en suelos y vegetación importantes.

La zona que resultó con la **mejor conservación** fue la 1 que representa el 11% del parque. Se debe princi-

palmente a que las condiciones de suelo y agua resultan benéficas para una gran variedad de especies, además de que el porcentaje de visitantes no es tan alto como para generar el mismo impacto generado a otras zonas del PNMFN que se encuentran cercanas al área comercial y el casco de la hacienda, especialmente en la ribera del río. Conocer el estado actual de los recursos naturales permite programar y presupuestar los recursos financieros, humanos y materiales para su conservación, mejoramiento e incluso fundamentar su manejo [10, 23].

El Estado del Río Coxcacuaco

La caracterización a lo largo del río consistió en 4 puntos de muestreo previamente indicados y descritos a continuación:

Punto 1. En este punto el río ya ha recibido descargas de aguas residuales de algunas poblaciones pero los factores contaminantes más significativos aun no lo afectan. Se encontró un aumento en el pH llegando hasta 7,1. La conductividad eléctrica llega casi a los 700 μS , los sólidos totales se mantienen entre los 525 y 995 mg/L, con excepción del sábado por la mañana, cuando llegan hasta 15 635 mg/L. La turbidez alcanza 70 UNF y la alcalinidad de HCO_3 es la predominante. La cantidad de cloruros es baja y la dureza total se considera alta, llegando hasta 350 mg/L. La DBO presentó su máximo en 60,8 mg/L.

Punto 2. El punto de muestreo se ubicó después de donde las fuentes del ambiente generativo y degenerativo se incorporan, mucho delante del punto 1. Las características organolépticas son poco favorables, el pH bajó considerablemente y la conductividad eléctrica llegó casi a los 1001 μS . Los sólidos totales aumentaron drásticamente con respecto al primer punto, siendo el valor más bajo de 2 550 y el más alto de 8 850 mg/L. La turbidez alcanzó casi 700 UNF y de nuevo la alcalinidad de HCO_3 es la que predominó. La cantidad de cloruros fue baja y la dureza total se consideró alta, ligeramente menor que en el punto anterior al llegar hasta los 262 mg/L. La DBO5 llegó a su máximo con 328 mg/L.

Punto 3. El lugar se seleccionó donde se desecha el agua que los comercios establecidos dentro del parque vierten. El pH se mantiene entre 6,7 y 7,2, y la conductividad eléctrica superó a los 1050 μS . Los sólidos totales disminuyeron ligeramente con respecto al

punto 2, siendo el valor más bajo de 985 y el más alto de casi 2600 mg/L. La turbidez alcanza 195 UNF y la alcalinidad de HCO_3 es la que predomina, la cantidad de cloruros se consideró baja y la dureza total llegó hasta los 275 mg/L. La DBO5 llegó a su máximo valor con 170 mg/L. Las características organolépticas son poco favorables al igual que en los anteriores puntos.

Punto 4. Se encuentra hacia la salida del polígono del parque aparentemente ya no existen descargas de aguas residuales. Las características organolépticas de nuevo no son favorables, el pH fue estable, manteniéndose entre 6,8 y 7,2, la conductividad eléctrica disminuyó ligeramente y no superó los 866 μS , Los sólidos totales alcanzaron un valor hasta de 2 270 mg/L, la turbidez en cambio no superó las 47 UNF y la alcalinidad de HCO_3 es la que predomina, la dureza total se ubicó entre 150 y 225 mg/L y es considerada alta. La DBO5 llega a su máximo valor con 36 mg/L.

Los resultados obtenidos en laboratorio se compararon con las normas de calidad de agua de referencia (NOM127, SSA1994, OMS, NOM001-ECOL1996), casi todos los parámetros muestran que la calidad de agua rebasa los niveles permitidos y la ubicación de los puntos de muestreo permitió identificar y comprobar las fuentes de contaminación para el río.

El pH solamente infringe la norma en solo un momento del muestreo, con un valor de 6,4. La baja variabilidad en el pH indica que el río no está recibiendo descargas de desechos industriales. La conductividad eléctrica puede indicar contenido de sólidos disueltos, entre ellos sales en el agua, en todos los momentos de muestreo se rebasa la norma. Esto puede deberse a que la pendiente disminuye en este tramo, y los sólidos (en este caso solubles) se concentran aquí. Los sólidos no solubles tienden a sedimentarse, por lo que el comportamiento de este parámetro alcanza su valor máximo en el punto 2 y de inmediato comienza una disminución, ya que se acumulan en el fondo por el estancamiento del agua. El agua también se encuentra con la máxima turbiedad en el punto 2 y el máximo valor de DBO. Los sólidos, la turbidez y la DBO5, tienen como fuente los desagües vertidos de aguas residuales y acumulación de partículas producto de la erosión; los efectos incluyen la reducción de la efectividad en el tratamiento del agua; el desprendimiento de magnesio y hierro favorecen la presencia de amoníaco. La alcalinidad al HCO_3 y por los valores de dureza se puede clasificar

esta agua como muy blanda. La cantidad de cloruros no rebasa el límite permisible.

Habiendo identificado que el punto dos resultó ser el más contaminado es posible definir que el proceso de tratamiento de las aguas residuales tanto de las comunidades cuenca arriba y del reclusorio no son los más adecuados, no están siendo eficientes y eficaces. Lo anterior es importante para considerar riesgos como la pérdida de hábitat o cambio climático [24]ecological niche models (ENMs).

CONCLUSIONES

Los resultados muestran deterioro en las áreas zonificadas dentro del parque nacional Molino de Flores Netzahualcóyotl, con mayor impacto en aquellas con mayor presencia de visitantes. La condición actual de los recursos naturales del parque muestra la urgencia en implementar acciones que restauren los ciclos ecológicos deteriorados, así como poner en marcha políticas y prácticas en pro de la conservación del medio natural. A veinte años de ser administrado por el municipio de Texcoco la conservación de los recursos parecen venir a la baja mientras que la presión por el turismo y comerciantes al alza. Ante el evidente deterioro resulta necesario promover la participación de autoridades, comerciantes y visitantes en cualquier plan de acción que se pretenda llevar a cabo por parte de la administración. Debe considerarse la elaboración participativa de un programa de manejo del parque.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo a través del Centro de Investigación en Recursos Naturales y Medio Ambiente (CIRENAM). Se agradece a los revisores anónimos que mejoraron el manuscrito.

REFERENCIAS

[1] TOLEDO, D., SANDERSON, M., JOHNSON, H., REEVES, J. L., DERNER, J. D., VERMEIRE, L., and HENDRICKSON, J. Evaluating plant biodiversity measurements and exotic species *detection* in National Resources Inventory Sampling protocols using examples from the Northern Great Plains of the

USA. *Ecological Indicators*, 46, 2014, p. 149-155 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.06.020>

[2] PINEDA-LÓPEZ, M.R., RUELAS I. E., SÁNCHEZ V. L., ESPINOZA G.M., ROJO A.A. y VÁSQUEZ M.S. Dinámica de uso y cobertura del suelo en un parque nacional mexicano. *Madera y Bosques*, 23(3), 2017, p. 87-99, <https://doi.org/10.21829/myb.2017.233149>

[3] LGEEPA. Ley general de equilibrio ecológico y protección al ambiente. Diario Oficial de la Federación DOF enero 28, 1988. Gobierno de la República. México. 135 p., <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgeepa.htm>

[4] GLYNN, P.D., VOINOV, A.A, SHAPIRO, C.D. and WHITE, P.A. From data to decisions: Processing information, biases, and beliefs for improved management of natural resources and environments. *Earth's Future*, 5(4), 2017, p. 356-378

[5] RAMÍREZ, A. Plan de Restauración Ecológica para el Área de Conservación del Parque Nacional Molino de Flores [Tesis de maestría]. Texcoco (México): Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, 2013, 118 p.

[6] LEYVA-OVALLE, Á., VALDEZ-LAZALDE, J., DE LOS SANTOS-POSADAS, H., MARTÍNEZ-TRINIDAD, T., HERRERA CORREDOR, J., LUGO-ESPINOSA O., y GARCÍA-NAVA J. Monitoreo de la degradación forestal en México con base en el inventario nacional forestal y de suelos (INFyS). *Madera y Bosques*, 23(2), 2017, p. 69-83, <http://dx.doi.org/10.21829/myb.2017.2321431>

[7] ROSETE-VERGÉS, F.A., JL PÉREZ-DAMIÁN, M VILLALOBOS-DELGADO, E.N. NAVARRO-SALAS, E. SALINAS-CHÁVEZ y R. RERNOND-NOA. El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera y Bosques*, 20(1), 2014, p. 21-35

[8] FERNÁNDEZ-LANDERO, A., y VAZQUEZ-GARCÍA, D. Diagnóstico integral de conservación del parque nacional Molino de Flores, Texcoco [Tesis de maestría en conservación y restauración de bienes culturales]. Ciudad de México (México): Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2014, 264 p.

[9] DÁVALOS, R. El papel de la investigación científica en la creación de las áreas naturales protegidas. *Madera y Bosques*, 22(1), 2016, p. 7-13.

[10] BENAVIDES, H., y FERNÁNDEZ D. Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de Chapultepec. *Madera Bosques*, 18(2), 2012, p. 51-71.

- [11] MAGUELLAN. MobileMapper 6. Guía básica de utilización. Santa Clara (USA): 2008 p. 30
- [12] SUN, L., y ZESHENG Z. Modelling yield of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) using satellite and GPS sensors. 6th International Conference on Agro-Geoinformatics, 2017, p. 1–5
- [13] HANNAH, L., DONATTI, C., HARVEY, C., ALFARO, E., RODRIGUEZ, D., BOURONCLE, C., CASTELLANOS, E., DIAZ, F., FUNG, E., HIDALGO, H., IMBACH, P., LÄDERACH, P., LANDRUM J., and SOLANO A. Regional modeling of climate change impacts on smallholder agriculture and ecosystems in Central America. *Climatic Change*, 41, 2016, p. 29–45, <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1867-y>
- [14] MÉXICO. COMISIÓN NACIONAL FORESTAL. Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Procedimiento de muestreo. Guadalajara (México): CONAFOR, 2015, p. 261
- [15] ESTRADA-HERRERA, I., HIDALGO-MORENO, C., GUZMÁN-PLAZOLA, R., ALMARAZ-SUÁREZ, J., NAVARRO-GARZA H., y ETCHEVERS-BARRA J. Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia*, 51(8), 2017, p. 813–831
- [16] CHAMIZO, S., RODRÍGUEZ-CABALLERO, E., ASENSIO C., and DOMINGO, F. Penetration resistance of biological soil crusts and its dynamics after crust removal: relationships with runoff and soil detachment. *Catena*, 126, 2016, p. 164–172
- [17] MIRALLES, I., ORTEGA, R., CANTÓN Y., and ASENSIO, C. Soil degradation from excess salt and its relation to the topography on an area of Southern Spain. *Agrochimica*, 46(6), 2002, p. 270–279
- [18] VÁZQUEZ-MARTÍNEZ, G. y VÁZQUEZ-SOLÍS V. Evaluación de recursos naturales y culturales para la creación de un corredor turístico en el altiplano de San Luis Potosí, México. *Investigaciones Geográficas*, (94), 2017, p. 1–15
- [19] FRANCH-PARDO, I. y CANCER-POMAR, L. El componente visual en la cartografía del paisaje. Aptitud paisajística para la protección en la cuenca del río Chiquito (Morelia, Michoacán). *Investigaciones Geográficas*, 93, 2017, p. 42–60
- [20] ARRIAGA-VÁZQUEZ, A. Estado Actual y Propuestas de Restauración del Río Coxcacuaco [Tesis de licenciatura]. Texcoco (México): Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, 2012, 93 p.
- [21] VÁZQUEZ-ALARCON, A. Manual de prácticas del curso de contaminación ambiental. 1 ed. Chapingo (México): Universitaria, 2017, 75p.
- [22] PAREDES-GONZALEZ, A., MONTERROSO-RIVAS, A., RODRÍGUEZ-ESPARZA L. and ZAMUDIO-SÁNCHEZ F. Projection and probability of land use change in Zoquiapan, Mexico: considerations for forest management. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 24(1), 2018, p. 59–71.
- [23] GÓMEZ-DÍAZ, J.D., MONTERROSO-RIVAS, A.I., LECHUGA-GAYOSSO, L., ARCE-ROMERO A.R., and RUIZ-GARCIA P. Impact of Climate Change on Soil Organic Carbon Content on Agricultural Soils of Mexico. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018. p. 58–69. doi:10.1007/978-3-319-70187-5_5
- [24] PRIETO-TORRES, D.A., NAVARRO-SIGÜENZA, A., SANTIAGO-ALARCON D. and ROJAS-SOTO O. Response of the endangered tropical dry forests to climate change and the role of Mexican Protected Areas for their conservation. *Global Change Biology*, 2016, 22(1), 364–379. <http://doi.org/10.1111/gcb.13090>

Estudios de estabilidad térmica sobre el ingrediente farmacéutico activo de la vacuna gavac[®]

Thermal stability studies over active pharmaceutical ingredient of gavac[®] vaccine

Estudos de estabilidade térmica de ingrediente farmacêutico ativa da vacina gavac[®]

RUTDALI M. SEGURA-SILVA¹, ARLENIS ALFARO-MARTÍNEZ²,
DIASMARYS SALINAS-RODRIGUEZ³, ALAIN MOREIRA-RUBIO⁴, AMAURY PÉREZ-SÁNCHEZ⁵

RESUMEN

En la actualidad los estudios de estabilidad térmica constituyen etapas fundamentales dentro del desarrollo de procesos biotecnológicos, ya que mediante ellos se determinan las condiciones óptimas a tomar en cuenta durante el manejo y almacenamiento de las diferentes vacunas obtenidas. En el presente trabajo se llevan a cabo 2 estudios de estabilidad térmica sobre el Ingrediente Farmacéutico Activo

Recibido para evaluación: 7 de Noviembre de 2017.

Aprobado para publicación: 31 de Abril de 2018.

- 1 Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología de Camagüey, Departamento de Producción. Magíster en Análisis de Procesos Químicos. Camagüey, Cuba.
- 2 Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología de Camagüey, Departamento de Mantenimiento. Ingeniero Químico. Camagüey, Cuba.
- 3 Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología de Camagüey, Departamento de Control de Calidad. Licenciada en Química. Camagüey, Cuba.
- 4 Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología de Camagüey, Departamento de Control de Calidad. Magíster en Medio Ambiente. Camagüey, Cuba.
- 5 Universidad de Camagüey, Facultad de Ciencias Aplicadas, Departamento de Ingeniería Química. Ingeniero Químico. Camagüey, Cuba.

Correspondencia: amauryps@nauta.cu

(IFA) de la vacuna Gavac[®], relacionados con: 1) Incremento del tiempo de vigencia del IFA hasta un período de 30 días a una temperatura entre 2 y 8°C, y 2) Establecimiento el número de veces que el IFA se puede congelar y descongelar por un período de 90 días a una temperatura de - 20°C, todo ello sin afectar los parámetros de calidad establecidos por el sistema de Control de Calidad del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB) de Camagüey. De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que el IFA de la vacuna Gavac[®] es estable por un período de 30 días a una temperatura de 2 - 8°C, y que puede ser sometido a 5 congelaciones y descongelaciones por un período de tiempo de 90 días a - 20°C sin que se afecten negativamente sus principales parámetros de calidad.

ABSTRACT

Currently the thermal stability studies constitute fundamental stages during the development of biotechnological processes, since through them the optimum conditions that must be taken into account during the storage and handling of the different vaccines obtained are determined. In the present work two thermal stability studies are carried out on the Active Pharmaceutical Ingredient (API) of Gavac[®] vaccine, related with: 1) Increment of the validity time of the API to 30 days at a storage temperature of 2 - 8°C, and 2) Implementation of the number of times that the API can be frozen/defrosted over a time period of 90 days at a temperature of - 20°C, without affecting the quality parameters established by the Quality Control system of the Center of Genetic Engineering and Biotechnology of Camagüey. According to the results obtained it can be concluded that the API of Gavac[®] vaccine is stable for 30 days at a temperature of 2 - 8°C, and that it can be subjected to 5 freezing/defrosting operations for a time period of 90 days at - 20°C of temperature without affecting negatively its main quality parameters.

RESUMO

Hoje estudos de estabilidade térmica são elementos fundamentais para o desenvolvimento de processos biotecnológicos, porque através deles as condições ideais estão determinadas a ter em conta durante o manuseio e armazenamento de diferentes vacinas obtidas. Neste trabalho realizado dois estudos de estabilidade térmica do ingrediente farmacêutico ativo (IFA) da vacina Gavac[®] relacionada com: 1) aumentar a vida útil da IFA até um período de 30 dias a uma temperatura de 2 - 8°C, e 2) definir o número de vezes que o IFA pode congelar e descongelar durante um período de 90 dias a uma temperatura de - 20°C, sem afectar todos os parâmetros de qualidade estabelecidos pelo sistema de controle de qualidade de Centro de Engenharia Genética e Biotecnologia (CIGB), em Camagüey. De acordo com os resultados pode concluir-se que a IFA de vacina Gavac[®] é estável durante um período de 30 dias a 2 - 8°C, e podem ser sujeitas a 5 congelamento e descongelamento durante um período de tempo 90 dias - 20°C, sem afetar negativamente seus principais parâmetros de qualidade.

PALABRAS CLAVES:

Estabilidad térmica,
Ingrediente Farmacéutico Activo,
Control de calidad.

KEYWORDS:

Thermal stability, Active
Pharmaceutical Ingredient,
Quality control.

PALAVRAS-CHAVE:

Estabilidade térmica,
Ingrediente Farmacêutico Activo,
Qualidade.

INTRODUCCIÓN

Las vacunas constituyen productos biológicos complejos que pueden degradarse debido a su almacenamiento bajo condiciones inadecuadas de temperatura, lo cual se intensifica a menudo con la aplicación de altas temperaturas. Un número elevado de productos farmacéuticos y biológicos utilizados a nivel mundial – tales como insulina, vacunas, agentes quimioterapéuticos, antibióticos – son sensibles a la temperatura [1].

Consecuentemente, estos requieren condiciones especiales de producción, almacenamiento, y transporte para evitar su exposición a factores medioambientales inadecuados, con el fin de garantizar el mantenimiento de su estabilidad en el tiempo [2]. De esta manera, el establecimiento de los parámetros de estabilidad térmica de estos productos durante su almacenamiento constituye un factor de gran importancia para asegurar su eficacia a lo largo del tiempo de vigencia establecido. El objetivo de un estudio de estabilidad radica en suministrar evidencias acerca de cómo varían ciertos parámetros de calidad de un Ingrediente Farmacéutico Activo (IFA) o de un Producto Farmacéutico Terminado (PFT) en el tiempo, bajo la influencia de determinados factores medioambientales tales como temperatura, humedad y luz. El programa de estabilidad de una vacuna también puede incluir la evaluación de la interacción existente entre el IFA y determinados factores tales como los excipientes y adyuvantes usados, los sistemas de sellado y cierre de los envases, así como también los materiales de empaque [2]. También se puede evaluar la interacción entre sí de dos o más IFA contenidas en un mismo PFT. Como resultado del estudio de estabilidad térmica se conoce la durabilidad en el tiempo del PFT, así como también las condiciones de almacenamiento más adecuadas [3].

En años recientes los estudios de estabilidad han estado relacionados con el desarrollo de métodos para extender la estabilidad de antígenos en vacunas. Esto resulta específicamente importante en países en vías de desarrollo en los cuales el acceso a equipos y medios de refrigeración adecuados no siempre resulta factible. En la actualidad, tanto el personal médico como los investigadores y científicos se encuentran desarrollando nuevas rutas o vías para prolongar la estabilidad térmica y el tiempo de vida de las vacunas, usualmente mediante la adición de aditivos y compuestos adyuvantes, entre los cuales se pueden

mentonar nanopartículas de oro aniónicas y polietilenglicol en vacunas conteniendo adenovirus tipo 5 [4], o excipientes tales como L-leucina, lactosa-trehalosa y manitol/dextrana en vacunas conteniendo el vector adenoviral humano recombinante tipo 5 [5].

La estabilidad térmica de vacunas ha sido evaluada por diferentes autores. Por ejemplo, se evaluó la termoestabilidad de la vacuna contra la fiebre amarilla, tanto en su forma liofilizada como después de la reconstitución, exponiéndolas a temperaturas en el rango de 8 a 45°C [6]. Por otro lado, emplearon el ensayo de hemoaglutinación para determinar la estabilidad térmica a 36°C de las cepas Hitchner-B1 (B1), LaSota (L) y Komarov (K) de la vacuna contra la enfermedad de Newcastle [7]. También estudiaron la influencia de la humedad residual sobre la estabilidad térmica de 61 lotes de la vacuna contra el Sarampión, las Paperas y Rubeola, empleando un método acelerado consistente en mantener las vacunas a 37°C de temperatura por 7 días [8]. En otro estudio se evaluó la termoestabilidad del virus de la enfermedad de Newcastle, a partir de la aplicación de tres ciclos de temperatura: 1) 25°C por 36 días; 2) 37°C por 29 días, y 3) 56°C por un período de tiempo oscilando entre 5 minutos y 8 horas [9]. Por último, efectuaron estudios de estabilidad térmica acelerada (30°C por 7 días) y en tiempo real (– 20°C por 24 meses) sobre un candidato vacunal contra la malaria, obteniendo como resultado que la misma era termoestable para ambos estudios efectuados [10].

En la actualidad el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB) de Camagüey produce el inmunógeno Gavac® empleada para erradicar las especies de garrapata (*Boophilus microplus*) presentes en el ganado vacuno. A menudo se presentan contingencias durante la ejecución del plan de operaciones, lo cual traía consigo paradas productivas que afectaban el cumplimiento del cronograma de producción del inmunógeno Gavac®, derivándose de ello el incumplimiento del tiempo de vigencia del IFA Gavac®, tanto en el número de descongelaciones, como en el tiempo de conservación a 4°C (15 días), incurriéndose en no conformidades y por consiguiente en reensayos de los lotes de IFA. Debido a esto se desea incrementar el tiempo de vigencia del IFA de esta vacuna desde los 15 días actuales hasta 30 días a una temperatura de almacenamiento de 2 – 8°C, mientras que también se desea conocer el número de veces que el IFA puede ser congelado y descongelado por

un período de tiempo de 90 días a una temperatura de almacenamiento de -20°C . De esta forma, el presente trabajo tiene como objetivo principal mostrar los resultados obtenidos con relación a dos estudios de estabilidad térmica efectuados sobre el IFA del inmunógeno Gavac[®], consistentes en: 1) Incrementar el tiempo de vigencia del IFA hasta un período de 30 días a una temperatura de $2 - 8^{\circ}\text{C}$, y 2) Establecer el número de veces que el IFA puede ser congelado y descongelado sin afectar negativamente los parámetros de calidad establecidos por el sistema de Control de Calidad, para un periodo de tiempo de 90 días y a una temperatura de -20°C .

MÉTODO

Estudio de estabilidad No. 1: Incremento del tiempo de vigencia del IFA

Para llevar a cabo el estudio de estabilidad número 1 (EE1) se emplearon 3 lotes de IFA (14.1505-2, 14.1505-3 y 14.1505-4), a los cuales se les tomaron 9 muestras por lote de 10 mL cada una, durante la etapa de Filtración Estéril del proceso productivo. Las muestras fueron vertidas en tubos roscados de polipropileno de 15 mL de capacidad, y colocadas a continuación en una cámara frigorífica a -20°C de temperatura por 30 días. En el momento de comenzar el estudio, las muestras fueron colocadas en otra cámara frigorífica a una temperatura de $2 - 8^{\circ}\text{C}$ y, una vez ubicadas allí, se procedió a tomar muestras a los 15, 20 y 30 días. A las muestras tomadas en estos días se le realizaron los ensayos físico-químicos establecidos en la Especificación de Calidad con Número de Parte (NP) 4046 [11], tomando como tiempo cero los ensayos de calidad realizados por el Departamento de Control de Calidad durante el proceso de liberación de los 3 lotes seleccionados.

Estudio de estabilidad No. 2: Número de veces que el IFA puede ser congelado y descongelado

Los lotes de IFA 14.1505-5; 14.1505-6 y 14.1505-1 fueron los seleccionados para efectuar el estudio de estabilidad número 2 (EE2). En este caso, y de forma semejante al EE1, las muestras fueron colectadas durante la etapa de Filtración Estéril, tomándose 9 muestras de 150 mL por lote, las cuales fueron verti-

das en tubos roscados de 300 mL de capacidad. Una vez tomadas, las muestras fueron ubicadas en una cámara frigorífica a -20°C de temperatura por un tiempo de 90 días. Cumplido este tiempo, las muestras presentes en esta cámara frigorífica fueron colocadas en otra cámara frigorífica a una temperatura de $2 - 8^{\circ}\text{C}$ 24 horas antes de comenzar el EE2, para proceder a su descongelamiento. Una vez descongeladas, las muestras fueron homogenizadas con movimientos suaves del tubo por parte del analista, antes de proceder a la toma de muestra para la realización de los ensayos según la Especificación de Calidad NP 4046. El EE2 fue efectuado por un período de tiempo de 90 días, llevándose a cabo 5 congelaciones/descongelaciones en total durante ese lapso de tiempo, y tomando también como tiempo cero los ensayos realizados por el Departamento de Control de Calidad durante el proceso de liberación de los 3 lotes seleccionados.

Parámetros a controlar durante los estudios de estabilidad

A cada una de las muestras tomadas en los dos estudios de estabilidad efectuados se le realizaron los siguientes ensayos físico-químicos de acuerdo con la especificación NP 4046:

- Concentración de proteínas totales
- Pureza
- pH
- Concentración de timerosal
- Características organolépticas y de esterilidad

Determinación de la concentración de proteínas totales

La concentración de proteínas totales fue determinada por el método de Lowry, según se describe en el Procedimiento Patrón de Operación (PPO) 4.09.002.91 [12].

Determinación de la pureza

La pureza de las muestras tomadas fue determinada por densitometría SDS-Page, según se describe en el PPO 4.09.004.91 [13] y el PPO 4.09.005.91 [14].

Determinación del pH

Se toman 3 muestras de 10 mL cada una y se les mide el valor de pH en un medidor digital de pH (Mettler Toledo®, modelo Seven Compact PH/ION S220). El resultado final se obtiene calculando el promedio de los tres valores de pH determinados [15].

Determinación de la concentración de timerosal

La concentración de timerosal fue determinada mediante el PPO 2.31.226.11 [16].

Características organolépticas y esterilidad

Se determinan evaluando el color y el aspecto cualitativo del Ingrediente Farmacéutico Activo del inmunógeno, el cual debe comportarse como un líquido transparente de color amarillo, sin partículas o microorganismos en suspensión que denoten crecimiento microbiano.

RESULTADOS

Resultados del Estudio de Estabilidad No. 1

Concentración de Proteínas Totales. En la figura 1 se muestran los resultados obtenidos durante la determinación de la Concentración de Proteínas Totales (CPT) para los lotes empleados, así como también el criterio de aceptación aprobado para este parámetro según norma NP 4046. Según se puede observar en esta figura, desde el tiempo cero y hasta los 30 días, la CPT se mantuvo siempre por encima del valor mínimo establecido según norma (1 mg/mL), lo cual es un indicativo de que la vacuna puede permanecer por 30 días a una temperatura entre 2 – 8°C sin que se afecte negativamente la CPT.

A los valores de CPT obtenidos para cada lote en los diferentes tiempos del estudio, se les determinó la Desviación Estándar Promedio, obteniéndose de esta manera la dispersión de los valo-

res determinados de este parámetro con respecto a la media. Como se puede observar en el cuadro 1, la dispersión de los valores obtenidos es muy pequeña, por lo que se puede decir que hubo consistencia en los valores de CPT obtenidos a lo largo del estudio de estabilidad efectuado.

Pureza. En la Figura 2 se muestran los resultados obtenidos por SDS-PAGE para el parámetro Pureza, los cuales demuestran que todos los lotes evaluados cumplen con el requisito de calidad especificado según Especificación de Calidad NP 4046 para este parámetro, es decir, banda de 89 kDa $\geq$ 85% de pureza. Se comprueba que durante todo el

Cuadro 1. Resultados del Promedio y la Desviación Estándar Media de los valores obtenidos de CPT para los lotes evaluados en el EE1.

Lote	PROMEDIO (mg/mL)	DESVEST.M
14.1505-2	3,433	0,06761841
14.1505-3	2,666	0,04261455
14.1505-4	4,183	0,06344026

Figura 1. Resultados de la concentración de proteínas totales para los lotes evaluados durante el EE1.

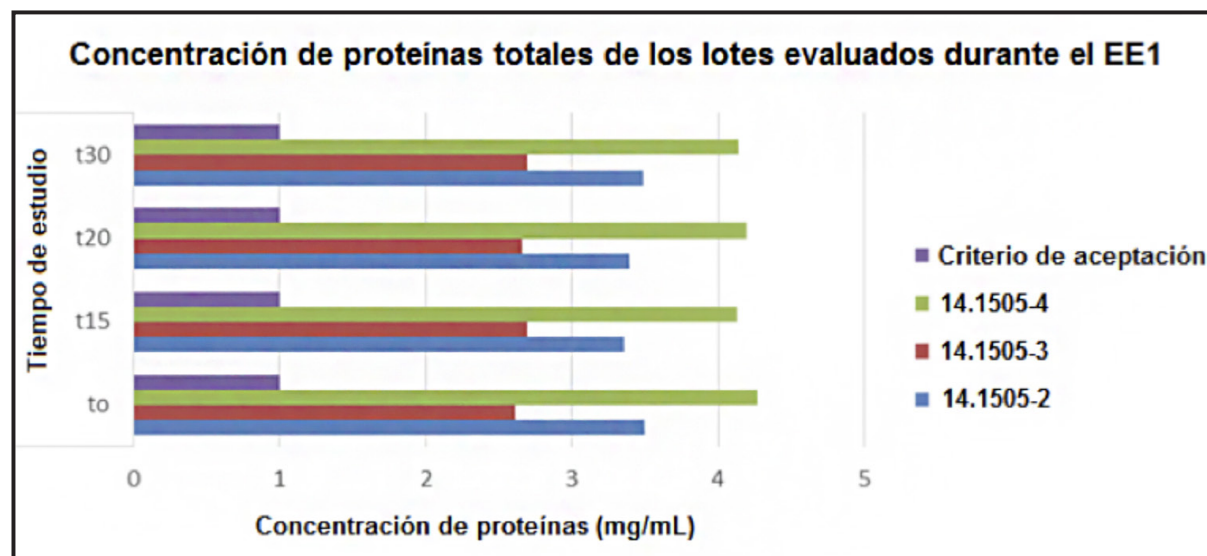
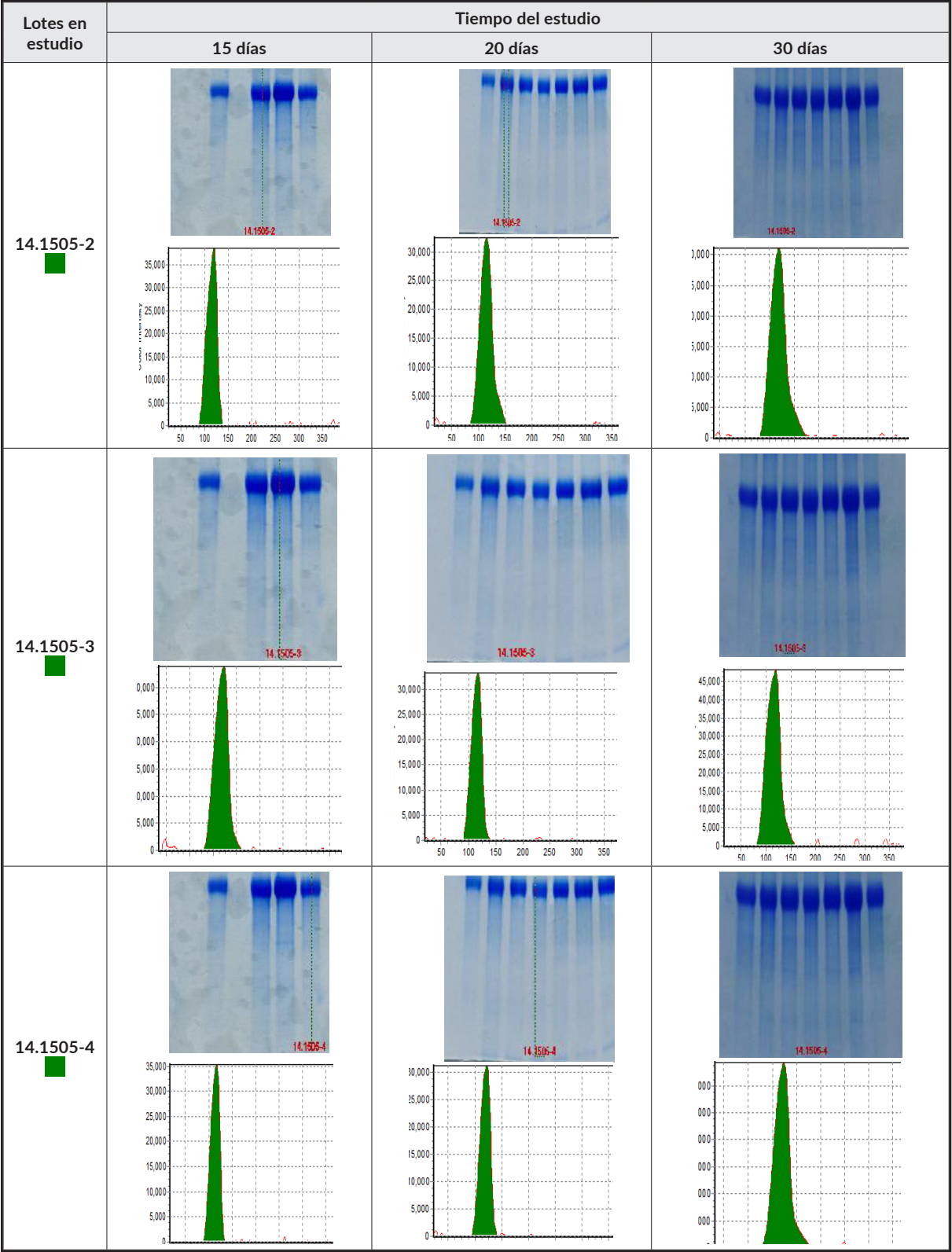


Figura 2. Resultados de la pureza para los lotes evaluados en el EE1.



estudio de estabilidad, se mantuvo la presencia de la banda de la proteína Bm86, mientras que la pureza se mantuvo superior al 85 %. Lo anterior indica que la pureza del IFA no se afecta al ser almacenada esta por espacio de 30 días a una temperatura entre 2 y 8°C.

pH y concentración de timerosal. Según se puede observar en las Figura 3 y 4, tanto el pH como la concentración de timerosal se mantuvieron dentro del rango establecido de acuerdo con la especificación de calidad vigente (NP 4046), la cual es 7,80 – 8,50 para el pH y menor que 0,05 mg/mL para la concentración de timerosal. De acuerdo con estos resultados, se puede concluir que el almacenamiento del IFA entre 2 y 8°C por 30 días no afecta negativamente tanto el pH como la concentración de timerosal.

Características organolépticas y esterilidad. Durante todo el EE1, las muestras tomadas presentaron las características organolépticas y de esterilidad exigi-

Figura 3. Resultados pH para los lotes evaluados durante el EE1.

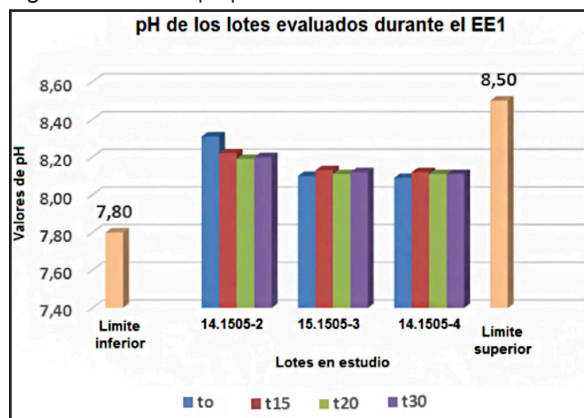
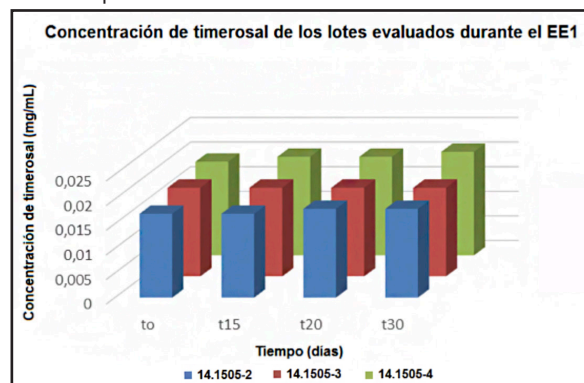


Figura 4. Influencia del tiempo sobre la concentración de timerosal para los lotes evaluados durante el EE1.



das por la norma NP 4046, es decir, mostraron un aspecto de líquido transparente de color amarillo homogéneo sin partículas en suspensión que denoten crecimiento microbiano, por lo que se puede decir que el almacenamiento entre 2 y 8°C por 30 días del IFA de la vacuna Gavac no afectarán tanto sus características organolépticas como de esterilidad.

Resultados del Estudio de Estabilidad No. 2

Concentración de Proteínas Totales. En la figura 5 se observan los resultados obtenidos de Concentración de Proteínas Totales (CPT) para los lotes seleccionados en este estudio, así como también el criterio de aceptación aprobado de acuerdo con la especificación NP 4046. Según se puede apreciar, las 5 congelaciones /descongelaciones (C/D) efectuadas no afectaron la CPT, obteniéndose siempre valores de CPT por encima del límite mínimo exigido (1 mg/mL). Cuadro 2

A los valores de CPT obtenidos para cada lote en los diferentes puntos de C/D realizados se les calculó la Desviación Estándar Promedio, a partir de la cual se obtuvo la dispersión de los valores obtenidos con respecto a la media. Como se puede observar en el cuadro 1, la dispersión resultante es muy pequeña, por lo que se puede decir que hubo consistencia en los valores de CPT obtenidos a lo largo del EE2.

Comportamiento de la pureza. Los resultados de control por SDS-PAGE obtenidos muestran que todos los lotes cumplen con el requisito de calidad especificado en el NP 4046, es decir banda de 89 kDa $\geq$ 85% de pureza, lo cual puede corroborarse a través de la Figura 6. En la misma se puede observar la elevada pureza del IFA obtenido en los lotes en estudio, donde el porcentaje de pureza estuvo en todos los casos por encima del 95%. Todo esto indica que no hay afectación de la pureza del IFA al efectuarle 5 congelaciones/ descongelaciones a una temperatura de - 20°C por un período de tiempo de 90 días.

Cuadro 2. Resultados del Promedio y la Desviación Estándar Media de los valores obtenidos de CPT para los lotes evaluados en el EE2.

Lote	PROMEDIO (mg/mL)	DESVEST.M
14.1505-5	3,494	0,041643730
14.1505-6	3,109	0,081769187
14.1506-1	3,496	0,032634338

Figura 5. Efecto del tiempo sobre la concentración de proteínas para los lotes evaluados en el EE2.

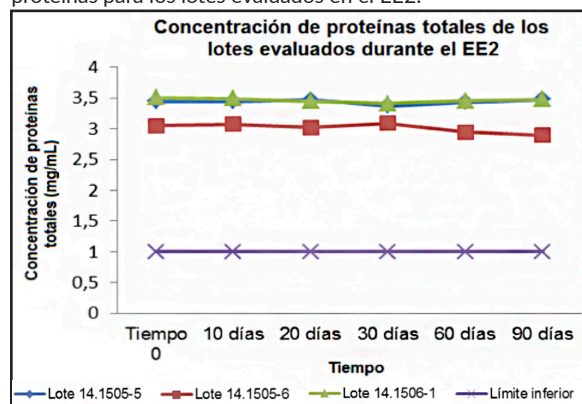


Figura 6. Efecto del tiempo sobre el % de pureza para los lotes evaluados en el EE2.

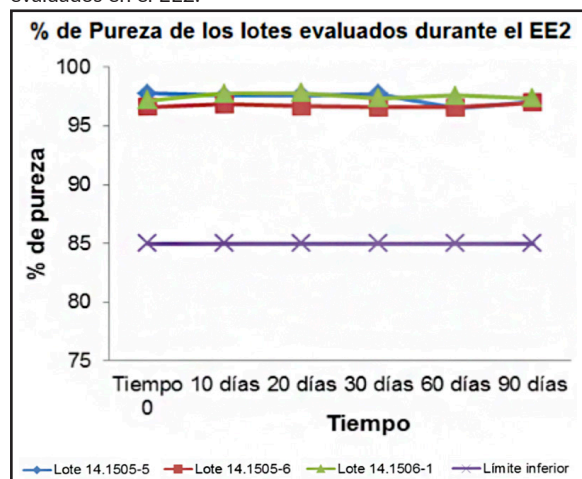


Figura 7. Influencia del tiempo sobre el valor de pH para los lotes evaluados en el EE2.

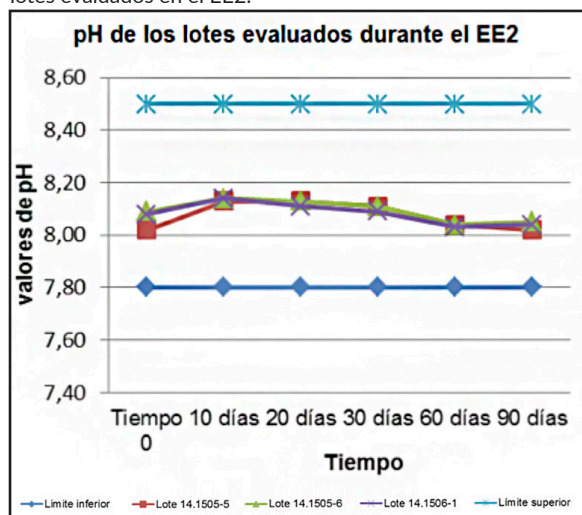
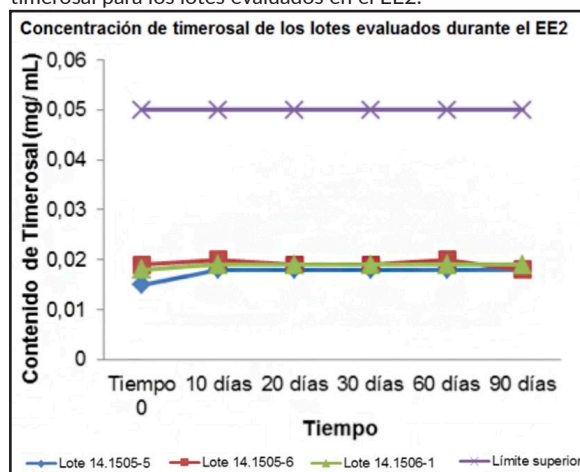


Figura 8. Influencia del tiempo sobre la concentración de timerosal para los lotes evaluados en el EE2.



pH y concentración de timerosal. De acuerdo con lo mostrado en las figuras 7 y 8, tanto el pH como la concentración de timerosal estuvieron dentro del intervalo establecido por la norma NP 4046 (rango de 7,80 – 8,50 para el pH y menor de 0,05 mg/mL para la concentración de timerosal). De esta manera se puede establecer como conclusión que la estabilidad del IFA en cuanto a pH y concentración de timerosal no se afecta al realizarle 5 procedimientos de congelación/descongelación durante 90 días de almacenamiento a – 20°C de temperatura.

Características organolépticas y esterilidad. Durante todo el EE2, las características organolépticas y de esterilidad exigidas por la especificación NP 4046 fueron cumplidas, comportándose siempre las muestras tomadas como un líquido transparente de color amarillo homogéneo, sin partículas en suspensión ni indicios de crecimiento microbiano. De esta manera se puede concluir que la realización de 5 congelaciones/descongelación del IFA por un tiempo de 90 días no afecta las características organolépticas y de esterilidad exigidas por las normas de calidad para un producto de este tipo.

Los resultados mostrados en este trabajo concuerdan con los reportados por Canales y colaboradores [17] con respecto a la estabilidad térmica de la vacuna Gavac®.

CONCLUSIONES

El Ingrediente Farmacéutico Activo de la vacuna Gavac® es estable por un período de tiempo de 30 días a una temperatura de 2 a 8°C. El Ingrediente Farmacéutico Activo de la vacuna Gavac® es estable por un período de 90 días a -20°C sometido a 5 congelaciones y descongelaciones.

REFERENCIAS

- [1] GALAZCA, A., MILSTIEN, J. and ZAFFRAN, M. Thermostability of vaccines. Geneva (Italy): World Health Organization, 1998.
- [2] WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Stability testing of active pharmaceutical ingredients and finished pharmaceutical products. Ginebra (Switzerland): WHO Report No: 953, World Health Organization, 2009.
- [3] CHEN, D. and KRISTENSEN, D. Opportunities and challenges of developing thermostable vaccines. *Expert Review of Vaccines*, 8(5), 2009, p. 547-557.
- [4] PELLICCIA, M., ANDREZZI, P., PAULOSE, J., CAGNO, V. and DONALISIO, M. Additives for vaccine storage to improve thermal stability of adenoviruses from hours to months. *Nature Communications*, 7(13520), 2016, p. 1-7.
- [5] LECLAIR, D.A., CRANSTON, E.D., XING, Z. and THOMPSON, M.R. Evaluation of excipients for enhanced thermal stabilization of a human type 5 adenoviral vector through spray drying. *International Journal of Pharmaceutics*, 506, 2016, p. 289-301.
- [6] ISHAK, R. and HOWARD, C.R. The thermal stability of yellow fever vaccines. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 85(3), 1990, p. 339-345.
- [7] NSSIEN, M.A.S., and ADENE, D.F. Thermostability of Reconstituted Newcastle Disease Virus Strains at 36 °C Temperature. *African Journal of Biomedical Research*, 5, 2002, p. 87-89.
- [8] SHAHKARAMI, M.K., TAQAVIAN, M., SHAFYI, A., ALIREZAIE, B., ESNA-ASHARI, F., SOLEIMANI, S. and SHAHBAZI, R. Investigation of the Relationship between the Residual Moisture and Thermal Stability of Lyophilized MMR Vaccine. *Iranian Journal of Virology*, 3(1), 2009, p. 25-28.
- [9] CHAKRABORTY, D., GUHA, C., BISWAS, U., CHATTERJEE, A., JANA, P.S., BISWAS, S. and NAHA, B.C. Studies on Thermo stability of Newcastle Disease Virus (Local Isolate) for Preparation of Vaccine. *Journal of Veterinary Science & Technology*, 5(2), 2014, p. 1-12.
- [10] FABER, B.W., HELLWIG, S., HOUARD, S., HAVELANGE, N., DROSSARD, J., MERTENS, H. and REMARQUE, E.J. Production, Quality Control, Stability and Pharmacotoxicity of a Malaria Vaccine Comprising Three Highly Similar PfAMA1 Protein Molecules to Overcome Antigenic Variation. *PLoS ONE*, 11(10), 2016, p. 1-32.
- [11] CUBA. CENTRO DE INGENIERÍA GENÉTICA Y BIOTECNOLOGÍA DE CAMAGÜEY (CIGB). Ingrediente Farmacéutico Activo (Bm86) de Gavac®. NP 4046. Camagüey (Cuba): Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, 2016.
- [12] CUBA. CENTRO DE INGENIERÍA GENÉTICA Y BIOTECNOLOGÍA DE CAMAGÜEY (CIGB). Determinación de la concentración de proteínas. Método de Lowry. PPO 4.09.002.91. Camagüey (Cuba): Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, 1991.
- [13] CUBA. CENTRO DE INGENIERÍA GENÉTICA Y BIOTECNOLOGÍA DE CAMAGÜEY (CIGB). Separación de proteínas por electroforesis en geles de poliacrilamida en presencia de SDS. PPO 4.09.004.91. Camagüey (Cuba): Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, 1991.
- [14] CUBA. CENTRO DE INGENIERÍA GENÉTICA Y BIOTECNOLOGÍA DE CAMAGÜEY (CIGB). Tinción de proteínas en geles de policarilamida usando azul de Coomassie. PPO 4.09.005.91. Camagüey (Cuba): Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, 1991.
- [15] CUBA. CENTRO DE INGENIERÍA GENÉTICA Y BIOTECNOLOGÍA DE CAMAGÜEY (CIGB). Determinación de pH. PPO 4.09.068.92. Camagüey (Cuba): Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, 1992.
- [16] CUBA. CENTRO DE INGENIERÍA GENÉTICA Y BIOTECNOLOGÍA DE CAMAGÜEY (CIGB). Determinación de la concentración de timerosal. PPO 2.31.226.11. Camagüey (Cuba): Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, 2011.
- [17] CANALES, M., ENRIQUEZ, A., RAMOS, E., CABRERA, D., DANDIE, H., SOTO, A., FALCÓN, V., RODRIGUEZ, M. and FUENTE, J. Large-scale production in *Pichia pastoris* of the recombinant vaccine Gavac® against cattle tick. *Vaccine*, 15(4), 1997, p. 414-422.

Evaluación de características de calidad en barras de cereales con alto contenido de fibra y proteína

Evaluation of quality characteristics in cereal bars with high fiber and protein content

Avaliação das características de qualidade nas barras de cereais com fibra alta e contenido à proteína

LUIS FRANCISCO MÁRQUEZ-VILLACORTA¹, CARLA CONSUELO PRETELL-VÁSQUEZ¹

RESUMEN

La utilización subproductos agroindustriales y cereales andinos en elaboración de alimentos funcionales se evidencian en actuales investigaciones. Las barras de cereales se destacan como comidas rápidas de elevado valor nutricional. El objetivo de la investigación fue formular barras de cereales con ingredientes de estudio salvado de avena, polvo de cáscara de piña y copos de quinua; con valores adecuados de proteína, firmeza, aceptación sensorial, fibra dietética y compuestos fenólicos. Se aplicó diseño de mezclas simplex con centroide ampliado con rango de trabajo de 0 – 31,34%. Encontrándose efecto significativo del salvado de avena, polvo de cáscara de piña y copos de quinua, sobre las variables respuesta. El modelo apropiado para representar el comportamiento de las variables respuestas fue seleccionado

Recibido para evaluación: 26 de Febrero de 2018.

Aprobado para publicación: 12 de Mayo de 2018.

- 1 Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación de Tecnología Postcosecha y Utilización de Subproductos Agroindustriales. M.Sc. Tecnología de Alimentos. Trujillo, Perú.

Correspondencia: imarquezv@upao.edu.pe

considerando valores $p < 0,05$; $R^2 > 0,80$ y falta de ajuste $> 0,05$; siendo el modelo especial cúbico el que mejor ajustó datos para proteína y aceptabilidad general; mientras que para fibra dietética fue el modelo cuadrático. Se determinó que el tratamiento óptimo fue constituido por 4,12% salvado de avena; 10,04% polvo cáscara de piña y 17,18% copos de quinua, presentando contenido de proteína (11,37%), fibra dietética (13,28%) y aceptabilidad general (7,47 puntos) que equivale a percepción muy bueno.

ABSTRACT

The utilization of agro-industrial by-products and andean cereals in the elaboration of functional foods is evidenced in current research. Cereal bars stand out as fast foods with high nutritional value. The objective of the research was to formulate cereal bars counting as ingredients of oat bran study, pineapple peel powder and quinoa flakes; with adequate values of protein, firmness, sensory acceptance, dietary fiber and phenolic compounds. A simplex mix design with expanded centroid with a working range of 0 – 31,34% was applied. A significant effect of oat bran, pineapple peel powder and quinoa flakes was found on the response variables. The appropriate model to represent the behavior of the response variables was selected considering the values of $p < 0,05$; $R^2 > 0,80$ and lack of fit $> 0,05$; being the cubic special model the one that better adjusted the data for protein and general acceptability; while for dietary fiber it was the quadratic model. It was determined that the optimal treatment was constituted by 4,12% oat bran; 10,04% pineapple shell powder and 17,18% quinoa flakes, having a protein content (11,37%), dietary fiber (13,28%) and general acceptability (7,47 points) which is equivalent to a very good perception.

RESUMO

A utilização de subprodutos agroindustriais e cereais andinos na elaboração de alimentos funcionais é evidenciada na pesquisa atual. As barras de cereais destacam-se como alimentos rápidos com alto valor nutricional. O objetivo da pesquisa foi formular barras de cereais contando como ingredientes do estudo de farelo de aveia, casca de abacaxi e flocos de quinua; com valores adequados de proteína, firmeza, aceitação sensorial, fibra dietética e compostos fenólicos. Foi aplicado um projeto de mistura simples com centróide expandido com uma faixa de trabalho de 0 a 31,34%. Um efeito significativo do farelo de aveia, da casca de abacaxi e dos flocos quinua foi encontrado nas variáveis de resposta. O modelo apropriado para representar o comportamento das variáveis de resposta foi selecionado considerando os valores de $p < 0,05$; $R^2 > 0,80$ e falta de ajuste $> 0,05$; sendo o modelo especial cúbico o que melhor ajustou os dados de proteína e aceitabilidade geral; enquanto que para fibras alimentares era o modelo quadrático. Determinou-se que o tratamento ótimo foi constituido por 4,12% de farelo de aveia; 10,04% de pó de abacaxi e 17,18% de flocos de quinua, com maior teor de proteína (11,37%), fibra dietética (13,28%) e aceitabilidade geral (7,47 pontos), o que equivale a uma percepção muito boa.

PALABRAS CLAVES:

Cáscara de piña, Fibra dietética, Quinoa, Snack saludable, Diseño de mezcla.

KEYWORDS:

Pineapple peel, Dietary fiber, Quinoa, Healthy snack, Mix design.

PALAVRAS-CHAVE:

Casca de abacaxi, Fibra dietética, Quinoa, Lanche saudável, Design de mistura.

INTRODUCCIÓN

La demanda de alimentos, nutritivos y seguros está creciendo en todo el mundo, y una ingesta equilibrada de alimentos es la forma correcta de prevenir o incluso remediar problemas de salud, como la obesidad, diabetes, desnutrición, cardiopatías y otros, que en gran medida se origina a partir de errores dietéticos [1]. En la población universitaria se asocia el comportamiento alimentario y estilo de vida con la irregularidad en el patrón de comidas, que unido a un incremento de los requerimientos nutricionales, dificultarán el seguimiento de dietas sanas y equilibradas [2].

Frente a este problema, se hace necesario modificar los hábitos alimentarios en las personas, promoviendo el aumento de actividad física y alimentación saludable consumiendo frutas, cereales, alimentos con bajo contenido de azúcar y alto aporte de fibra dietética para inducir mayor saciedad [3, 4]. En los últimos años, la demanda y el consumo de alimentos que contienen nutrientes y otros compuestos con propiedades beneficiosas para la salud han aumentado rápidamente; estos son conocidos como alimentos funcionales [5]. Actualmente, los consumidores prefieren alimentos en los cuales se perciba propiedades de salud y, al mismo tiempo, convenientes para un fácil consumo, almacenamiento y manipulación. En este sentido, los productos listos para consumir, como las barras de cereal, son muy apreciadas por esta conveniencia [6].

Las barras de cereales representan un producto alternativo que podría usarse para introducir nutrientes y compuestos funcionales beneficiosos para la salud en la dieta. Las barras de cereal son productos relacionados con alimentos con propiedades benéficas, y son obtenidos de la compresión de cereales, que contienen frutos secos, nueces, saborizantes e ingredientes aglutinantes. Ingredientes usualmente contenidos en barras de cereales son mezclas de cereales (trigo, maíz, avena, arroz), frutas secas y nueces, jarabe de maíz, miel, azúcar, lecitina y saborizantes. Por lo tanto, es posible obtener este tipo de producto con mayor calidad nutricional y funcional eligiendo y complementando las materias constituyendo una opción de comida con beneficios [5, 7, 8].

Comercialmente hay varios tipos de barras alimenticias disponibles, como barras de reemplazo de comidas, barras orientadas a las necesidades nutricionales

de los diabéticos, mujeres y niños, altas en proteínas, fibra, calorías, minerales y ricas en vitaminas, barras con aditivos funcionales como prebióticos, etc. También se han hecho populares debido a las ventajas nutricionales asociados con ellas [9]. Un número de estudios relacionados al consumo de barras de cereales como sustitutos de la comida han demostrado su efectividad, así mismo, se están investigando el desarrollo de barras bajas en calorías, que producen saciedad o con baja índice glucémico [10].

Actualmente, hay un creciente interés en diferentes países, especialmente en Europa, para introducir la quinua. La quinua es un pseudocereal con alto contenido en proteínas, lípidos, fibra, vitaminas y minerales que puede usarse como reemplazo de productos de cereales en barras de alimentos. Este cultivo andino presenta un buen equilibrio de ácidos grasos esenciales y aminoácidos. La quinua también contiene numerosos fitoquímicos: fitoesteroles, compuestos fenólicos y péptidos bioactivos [5, 11]. La industria alimentaria desarrolla rutinariamente nuevos productos como una estrategia para conquistar nuevos mercados; en este contexto, las barras de cereales se destacan con un mercado que crece en un volumen anual de 20% [12].

Los residuos agroindustriales a menudo no se aprovechan adecuadamente (los principales destinos de estos residuos orgánicos generados son la alimentación animal o el desecho en vertederos) y plantean un problema importante de eliminación para las partes interesadas. Los desechos de procesamiento de alimentos son fuentes prometedoras de compuestos valiosos como fibra dietética, antioxidantes, ácidos grasos esenciales, antimicrobianos, minerales; existiendo una gran variedad de materias primas disponibles (cáscara, semilla, bagazo, frutas y vegetales dañados o con problemas de madurez y calidad) [13]. En consecuencia, se viene prestando mucha atención al uso de subproductos vegetales que no son de uso común por la industria alimentaria y la población. El uso de estos subproductos agrega valor a la producción, además de contribuir a la formulación de nuevos productos alimenticios y minimizar las pérdidas [14].

Los residuos generados por el sistema de procesamiento de la fruta, como la cáscara, la semilla y el bagazo, se pueden usar en la dieta humana mediante técnicas apropiadas, evitando así el desperdicio de materiales que se pueden utilizar, al agregarles valor, y este material puede tener como base algunos sustratos, que

no tienen ningún valor comercial. Como un ejemplo del uso de estas materias primas, es utilizar tanto la cáscara y el corazón de piña en formulaciones de barras de cereales, jarabe (utilizado en conservas), vinagre, mermeladas y galletas. Así mismo, los residuos de piña son de interés general ya que presentan altos niveles de fibra dietética soluble e insoluble [15, 16].

Las técnicas de optimización se pueden aplicar a un producto en desarrollo como intento por encontrar la formulación ideal, o incluso para investigar cómo las variables independientes afectan a una o más variables dependientes. Por lo tanto, la metodología del diseño de mezcla es adecuada para productos alimenticios que requieren una composición o combinación de ingredientes clave, ya que las proporciones de los ingredientes en la mezcla y sus niveles dependen uno del otro, y la suma de todos los componentes es siempre 1 ó 100% [17].

Por ello el objetivo planteado en esta investigación fue evaluar el efecto de los componentes base salvado de avena, polvo de cáscara de piña y copos de quinua sobre el contenido de proteína, fibra dietética total, firmeza, aceptabilidad general, y compuestos fenólicos; en barras de cereales.

MÉTODO

Ingredientes

Los ingredientes base para las barras de cereales (copos de quinua, kiwicha y arroz, salvado de avena, pasas, ajonjolí, azúcar blanca) fueron obtenidos en el Mercado Zonal Palermo del Distrito de Trujillo-Perú. La maltodextrina, lecitina de soya, gelatina, ácido cítrico, glucosa de maíz y esencia de vainilla; utilizados para la elaboración del jarabe aglutinante fueron adquiridos en la empresa Linros Interinsumos E.I.R.L., Trujillo-Perú.

Obtención de polvo de cáscara de piña

Se elaboró a partir de los residuos de piña variedad Golden producidos en la sección de jugos y ensaladas de frutas en el Mercado Zonal Palermo de Trujillo. Para ello, las cáscaras fueron enjuagadas con agua potable, escurridas y luego colocadas en un secador híbrido (solar-eléctrico) de capacidad 30 kg/lote, a 60°C durante 12 h, hasta alcanzar una hume-

dad del 10%. Finalmente la cáscara seca se sometió a molienda en un molino de martillos (marca Nawel, modelo F-180) para reducir su tamaño en una malla Mesh N° 100 (150 µm).

Formulación base para barras de cereales

En la Cuadro 1, se presenta la formulación base para la elaboración de barras de cereales, a partir de la cual se sustituyó porcentajes de salvado de avena por polvo de cáscara de piña y copos de quinua para la obtención de los tratamientos.

Elaboración de barras de cereales

El jarabe aglutinante se preparó en un recipiente de acero inoxidable para inicialmente fundir y disolver el azúcar, agua y ácido cítrico hasta obtener el azúcar invertido, seguido por la adición de glucosa, maltodextrina, gelatina pre-disueltas y lecitina. Los ingredientes se mantuvieron bajo calentamiento y agitación constante, y el contenido de sólidos solubles se comprobó periódicamente con un refractómetro de mano (marca Atago 58-90%, modelo Master 3M) hasta que se obtuvo una concentración de 82°Brix. Los ingredientes secos se incorporaron en el jarabe de aglutinación a una temperatura de aproximadamente 95°C, y la masa se mezcló constantemente hasta que se homogenizó por completo. Luego se procedió a verter la masa en un molde de acero inoxidable de 30 x 27 x 1,5 cm, con la ayuda de un cilindro de acero inoxidable se laminó uniformemente para compactar. El molde con la masa se secó en el secador hí-

Cuadro 1. Formulación base para barras de cereales.

Ingredientes	(%)
Copos arroz	5,70
Copos kiwicha	11,40
Salvado avena	31,34
Ajonjolí	4,75
Maltodextrina	6,65
Lecitina soya	0,19
Pasas	2,85
Gelatina	7,03
Ácido cítrico	0,04
Vainilla	0,06
Glucosa	15,00
Azúcar invertido	15,00
Total	100,00

brido durante 1 h a 60°C para después dejar enfriar a temperatura ambiente. Finalmente se cortaron las barras en unidades de 9 cm x 3 cm x 1,5 cm, las cuales tuvieron un peso de 20 a 25 g y se envolvieron en una película flexible.

MÉTODO

Contenido de proteína

Se determinó por el método micro Kjeldahl (equipo marca J.P. Selecta, digestor con neutralizador de gases y destilador) utilizando el factor de conversión de nitrógeno a proteína de 6,25 [18].

Firmeza

Se evaluó con ayuda del texturómetro Universal Instron, serie 3342 (Massachusetts, USA) y software Bluehill 2. El accesorio empleado para medir la fuerza de corte fue un punzón tipo guillotina. El equipo operó bajo las siguientes condiciones: velocidad antes de la prueba de 1 mm/s; velocidad de ensayo 2 mm/s; y después de la prueba de velocidad de 1 mm/s, con distancia de corte 10 mm. La distancia entre los dos puntos de soporte fue de 5 cm [19].

Aceptabilidad general

Se evaluó en base a las características sensoriales de color visual, firmeza táctil y sabor de las barras de cereales usando una escala hedónica de 9 puntos, donde 1: extremadamente malo, 3: malo, 5: aceptable y límite de aceptabilidad, 7: bueno y 9: excelente. Se trabajó con 50 panelistas no entrenados entre 18 y 35 años, representativos del público consumidor. A cada panelista se le presentó cinco muestras debidamente codificadas al azar con 3 dígitos, luego de 10 min, se mostró las cinco muestras faltantes. Se le colocó un vaso con agua para que entre muestra no exista saturación al momento de emitir el juicio [14, 20].

Contenido de fibra dietética total, soluble e insoluble

Se trabajó de acuerdo al método descrito por la Association of Official Analytical Chemists - AOAC (2005) [21].

Compuestos fenólicos

Se utilizó la metodología descrita por Rezende *et al.* (2015) [1] con modificaciones. La extracción de los compuestos fenólicos fue desarrollada con alcohol etílico al 80%, por agitación magnética durante 2 h a temperatura ambiente, en proporción 1:25 (p/v). Los extractos fueron evaporados hasta 25 mL y sujetos a determinación, usando el reactivo Folin-Ciocalteu. El ácido gálico fue usado como estándar.

Diseño estadístico

Se empleó un diseño de mezclas, para evaluar el efecto de tres ingredientes y sus combinaciones: salvado de avena (SA), polvo de cáscara de piña (CP) y copos de quinua (CQ); en el 31,34% de la formulación base sobre el contenido de proteína, fibra dietética total, firmeza, aceptabilidad general y compuestos fenólicos con un total de 10 tratamientos como se observa en el Cuadro 2, los mismos que fueron corridos en tres repeticiones. El análisis de varianza, se aplicó con un nivel de confianza del 95%, para validar los modelos obtenidos se consideró $R^2 > 0,80$, valor $p < 0,05$ y la falta de ajuste mayor a 0,05. Se utilizó el programa Minitab Statistical Software, versión 17,0 (Minitab Inc., 2014) para obtener las ecuaciones, generar las figuras de superficie de respuesta y optimizar las variables independientes.

En el Cuadro 2 se presentan las mezclas de ingredientes que constituyen los tratamientos para elaborar las barras de cereales.

Cuadro 2. Mezclas de ingredientes para elaborar las barras de cereales.

Tratamiento	SA (%)	CP (%)	CQ (%)
1	0,00	0,00	31,34
2	31,34	0,00	0,00
3	0,00	31,34	0,00
4	15,67	0,00	15,67
5	0,00	15,67	15,67
6	15,67	15,67	0,00
7	10,45	10,44	10,45
8	5,22	5,22	20,90
9	20,90	5,22	5,22
10	5,22	20,90	5,22

RESULTADOS

Contenido de proteína

El contenido de proteína que presentaron las barras de cereales estuvo entre 10,65 – 15,88%; correspondiendo los valores más elevados a los tratamientos con mayor contenido de copos de quinua (Cuadro 3). Así mismo, otras investigaciones en barras de cereales con alto contenido proteico reportaron valores de 18,1% [22]; 14,37% [23]; 12,63% [24]; 12,30% [9]; 2,02% [18] y 7,77% [25].

El contenido de proteína en barras de cereales está en función de la cantidad incorporada de sus ingredientes en las formulaciones, así como, a la calidad de las proteínas que estos presentan [26]. La kiwicha, quinua y kañiwa son cereales procedentes de los andes de América del Sur, donde se han mantenido como una materia prima básica desde la época prehispánica, debido a su cantidad y calidad proteica (comparable a la caseína), y a un alto contenido en fibra y compuestos bioactivos [27].

El uso de quinua inflada o en copos en las barras alimenticias mejora los valores nutricionales (como el contenido de proteínas) y funcionales, en comparación, con el uso de productos tradicionales como el arroz u otros cereales inflados [5].

Firmeza

La firmeza para las muestras analizadas varió entre 23,9 a 33,8 N; denotándose los valores más altos en los tratamientos con mayor contenido de salvado de avena y cáscara de piña en polvo (Cuadro 3). Otras investigaciones en barras cereales reportan 63,60 - 135,33 N [28]; 73,53 N [29]; 56,47 [1]; 44,05 N [30]; 44,13 N [31]; 24,20 N [32] y 13,31 N [33]. Lo cual evidencia la amplia gama de firmeza en estos productos alimenticios.

En general, los productos elaborados con alto contenido de fibra resultan en productos más densos y duros, lo que no implica una menor aceptación del producto [6]. La adición de ingredientes fibrosos influye en la textura de los alimentos en general, mejorando la dureza, la masticabilidad y la adhesividad [17]. Las propiedades de textura están fuertemente influenciadas por el tamaño o la estructura de las partículas de las harinas u otras sustancias a granel. Además,

los atributos de la textura sin duda contribuyen enormemente a la frescura de la percepción del producto por parte de los consumidores [29].

El aumento en la resistencia al corte o firmeza en las barras de cereales puede explicarse por la compactación del producto causado por la presencia de la fibra dietética, además de las diferencias granulométricas entre los insumos agregados en la elaboración [1]. En el análisis de firmeza instrumental de barras de cereales existe una gran variación de fuerzas ejercidas por el texturómetro para romper el producto, esto debido a la diversidad de estructuras presentes en las formulaciones como son los copos de arroz, quinua, castañas, pasas, y otros componentes [19].

Aceptabilidad general

La aceptabilidad general para las muestras analizadas varió entre 5,0 a 7,9; denotándose el valor más alto en el tratamiento con contenido equitativo de copos de quinua y cáscara de piña en polvo (15,67%), seguido del tratamiento combinado con 20,90% de copos de quinua; 5,22 de cáscara de piña en polvo y 5,22 de salvado de avena (Cuadro 3). Otros investigadores reportan que los mayores resultados de aceptabilidad general utilizando una escala hedónica de 9 puntos en barras de cereales con fibra fueron de 7,25 [29]; 7,11 [34]; 6,9 [17] y 6,7 [5].

La incorporación de ingredientes de subproductos agroindustriales de frutas que contienen carbohidratos y fibra soluble como la pectina repercuten en su sabor, olor agradable y adecuada consistencia de las barras de cereales, haciéndolos más aceptados por los consumidores [18]. El efecto positivo de la mezcla de los tres componentes (harina de cáscara de plátano, copos de arroz y harina de avena) en la aceptabilidad sensorial puede estar relacionado con el hecho de que las barras de cereales se formulan con una mezcla de varios ingredientes secos y aglutinantes; sugiriendo que la harina o polvos de subproductos agroindustriales pueden ser potenciales ingredientes para ser utilizados en estos productos [17].

Las características de textura como masticabilidad y crocantes son las de mayor relevancia para los panelistas en las pruebas sensoriales de barras de cereales; y en cuanto a la intensión de compra y aceptabilidad es el flavor y apariencia los que más influyen [23]. En los resultados de la presente investigación se pudo obser-

var que los panelistas demostraron mayor aceptación en las barras que presentaron cantidades intermedias de polvo de cáscara de piña, debido a que ésta aporta un agradable aroma intenso a fruta, mejor que el salvado de avena que es usado como fuente convencional de fibra en este tipo de productos. Además, en altos niveles de copos de quinua se obtuvieron mejores comentarios en cuanto a masticabilidad y firmeza.

Contenido de fibra dietética

El contenido de fibra dietética total varió entre 8,30 a 14,13%; denotándose los valores más elevados en los tratamientos con mayor contenido de cáscara de piña en polvo y su combinación equitativa con salvado de avena (15,67%) (Cuadro 4). Elevados valores de fibra dietética en alimentos son esenciales para mantener la buena salud y reducir el riesgo

de varias enfermedades tales como la enfermedad del corazón y diabetes. Las barras de cereales con contenido mayor del 6% pueden clasificarse como productos ricos en fibra, pudiendo ser denominados alimentos funcionales. También se menciona que los elevados contenidos en fibra pueden explicarse por la adición de ingredientes con elevada concentración de este componente [1]. Las barras de cereales con alto contenido de fibra se caracterizan como alimentos prebióticos debido a que la presencia de la fibra permite un cambio en la actividad y composición de la flora microbiana intestinal con perspectiva de la promoción de la salud de la persona que ingiere el producto [35]. Otras investigaciones referidas a barras de cereal con alto contenido de fibra dietética total reportaron valores entre 12,72 – 22,04% [24]; 18,79 – 20,77% [6]; 19,78% [18] y 14,60% [36].

Cuadro 3. Efecto del salvado de avena, polvo de cáscara de piña y copos de quinua sobre las características fisicoquímicas y aceptabilidad general de barras de cereales.

Tratamiento	SA (%)	CP (%)	CQ (%)	Contenido proteína (%)	Firmeza instrumental (N)	Aceptabilidad general (puntos)
1	0,00	0,00	31,34	15,88	23,9	7,20
2	31,34	0,00	0,00	13,73	28,1	5,00
3	0,00	31,34	0,00	10,65	26,7	6,80
4	15,67	0,00	15,67	14,67	32,3	7,40
5	0,00	15,67	15,67	13,68	24,1	7,90
6	15,67	15,67	0,00	12,37	37,8	6,40
7	10,45	10,44	10,45	12,41	30,9	6,80
8	5,22	5,22	20,90	13,68	22,8	7,60
9	20,90	5,22	5,22	12,84	33,4	6,20
10	5,22	20,90	5,22	11,60	27,2	7,00

Cuadro 4. Efecto del salvado de avena, polvo de cáscara de piña y copos de quinua sobre la fibra dietética total, soluble e insoluble, y compuestos fenólicos totales de barras de cereales.

Tratamiento	SA (%)	CP (%)	CQ (%)	Fibra dietética total (%)	Fibra dietética soluble (%)	Fibra dietética insoluble (%)	Compuestos fenólicos (g AG/100 g)
1	0,00	0,00	31,34	8,30	6,23	2,07	0,20
2	31,34	0,00	0,00	11,97	8,38	3,59	0,26
3	0,00	31,34	0,00	14,13	5,65	8,48	1,82
4	15,67	0,00	15,67	10,71	7,50	3,21	0,31
5	0,00	15,67	15,67	12,26	5,03	7,54	0,71
6	15,67	15,67	0,00	12,67	5,52	6,74	1,17
7	10,45	10,44	10,45	11,75	5,29	6,46	1,23
8	5,22	5,22	20,90	10,52	6,31	4,21	0,47
9	20,90	5,22	5,22	11,55	6,58	4,97	0,64
10	5,22	20,90	5,22	12,93	5,56	7,37	1,36

Cada año se producen miles de millones toneladas de subproductos agrícolas a lo largo de los procesos agroindustriales. Es necesario tomar medidas adicionales para explorar el potencial interno de los agro-residuos para usarlos como ingredientes alimentarios sustituyendo parcial o totalmente, los presentes en la lista tradicional de alimentos. Algunos de los residuos agrícolas contienen los nutrientes más valiosos de la planta y es realmente un desperdicio eliminarlos [13].

Una opción de aporte en fibra en barras de cereales es adicionar ingredientes obtenidos de subproductos industriales como residuos obtenidos del procesamiento de piña tales como corazón y cáscara [15]. Ha sido reportado un contenido de fibra dietética total de 62,54%, soluble de 21,66% e insoluble de 40,88% en polvo de cáscara de piña [37].

El salvado es la capa comestible más externa del grano (subcapa de la aleurona, capa de aleurona y la contigua al endospermo amiláceo del embrión) de avena y se produce moliendo granos limpios o avena triturada para separar la harina luego del tamizado, cernido vibratorio y otros medios adecuados. Tiene un total de β -glucanos y fibra dietética no inferior a 5,5 y 16,0%; respectivamente, con al menos un tercio de la fibra dietética total en forma de fibra soluble [38]. Las barras alimenticias son productos versátiles hechos a menudo con avena, un cereal reconocido por sus características tecnológicas, que también proporciona beneficios para la salud y propiedades reductoras del colesterol asociadas con los β -glucanos, una fibra soluble [24].

Compuestos fenólicos

El contenido de compuestos fenólicos totales varió entre 0,20 a 1,82 g AG/100 g, denotándose el valor más alto en el tratamiento con mayor contenido de cáscara de piña en polvo, seguido del tratamiento con 20,90 de cáscara de piña en polvo; 5,22% con copos de quinua y 5,22% de salvado de avena (Cuadro 4). Otras investigaciones referidas a barras de cereales reportaron valores entre 0,51 g AG/100 g [5]; 1,60 g ácido tánico/100 g [1].

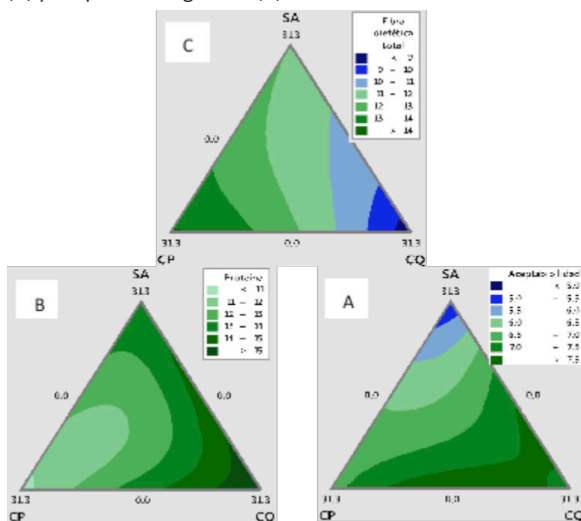
Se ha demostrado interés en la aplicación de subproductos agroindustriales como ingredientes alimentarios funcionales, ya que son ricos en fibra dietética y compuestos bioactivos. Los compuestos fenólicos de los subproductos de plantas superiores pueden

actuar como antioxidantes o agentes de otros mecanismos como por ejemplo de acción anticarcinogénica o cardioprotectora. Los polifenoles vegetales son multifuncionales y pueden actuar como agentes reductores, antioxidantes donantes de hidrógeno y extintores de oxígeno singlete [13]. Los principales subproductos del procesamiento reportan un contenido de compuestos fenólicos totales de 2787,09 mg AG/ 100 g en residuos liofilizados de piña [18].

En granos de cereales los compuestos fenólicos están localizados principalmente en el pericarpio, pudiendo ser concentrados mediante el descascarillado del grano obteniéndose el salvado, que puede ser incorporado en productos alimentarios tales como panes, galletas, tortillas y barras, incrementando sus propiedades nutraceuticas. Se ha reportado un contenido de compuestos fenólicos totales de 480 mg AG/ 100 g de salvado de avena [40].

El consumo generalizado de productos a base de cereales implica que pequeños cambios en la concentración de compuestos específicos pueden tener efectos positivos en la salud humana. Algunos cultivos subutilizados, como trigo mediterráneo, alforfón, quinua y amaranto, contienen cantidades relevantes de moléculas nutricionalmente valiosas, especialmente compuestos antioxidantes como ácidos fenólicos, polifenoles, carotenoides y tocoferoles [41].

Figura 1. Superficie de contornos del diseño de mezcla para el contenido de contenido de fibra dietética total (A), proteína (B) y aceptabilidad general (C).



Diseño experimental y modelos de superficie de respuesta

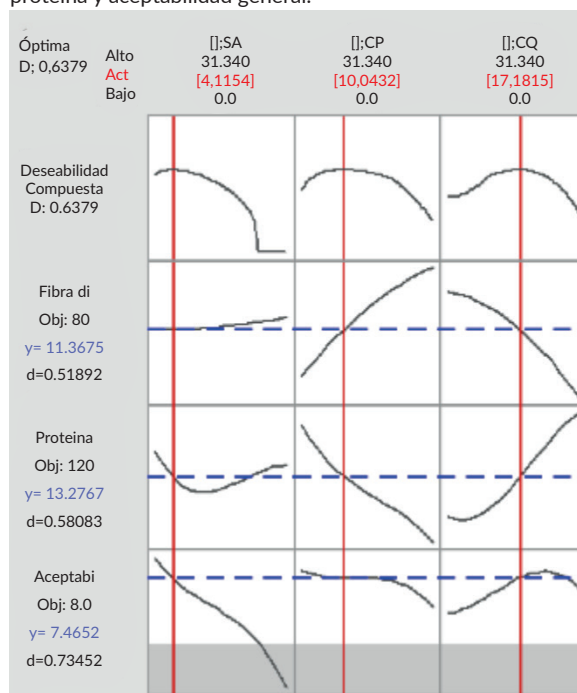
Los resultados analizados con el diseño de mezcla, determinaron que el modelo cuadrático para proteína y firmeza, especial cúbico para fibra dietética total y aceptabilidad general y lineal para fenoles fueron los que mejor ajustaron los datos, en base al análisis de varianza que mostró la significancia del modelo ($p < 0,05$), valor más elevado de coeficiente de determinación (R^2) y a la falta de ajuste del modelo ($p > 0,05$). Además, se determinó los coeficientes de regresión y su significancia usados para establecer la ecuación del modelo seleccionado como se puede observar en el Cuadro 5.

En la Figura 1 se muestra los contornos generados por el diseño de mezcla, donde se está representado por la zona que corresponde a los límites de combinación de salvado de avena, polvo de cáscara de piña y copos de quinua entre 0 a 15,67%; 0 a 5,22% y 15,67 a 31,34%; respectivamente. Se aprecia la región de interés que indica el mayor contenido de proteína en el producto, Sin embargo el efecto simple de los tres ingredientes, efecto binario de salvado de avena-cáscara de piña y copos de quinua-cáscara de piña contribuyeron de forma positiva en el modelo obtenido. En la Figura 1B se muestra los contornos generados por el diseño de mezcla, donde se aprecia la región de interés que indica el mayor contenido de fibra dietética total, el cual está representado por la zona que corresponde a los límites de combinación de salvado de avena, polvo de cáscara de piña y copos de quinua entre 0 a 5,22%; 15,67 a 31,34% y 0 a 15,67%; respectivamente. Así mismo, se observó que el efecto simple de los tres ingredientes, así como, la combinación de salvado de avena-copos de quinua y copos de quinua-cáscara de piña contribuyó de forma positiva en el modelo obtenido. En la Figura

1C se aprecia la región de interés que indica la mayor aceptación sensorial, estando representado por la zona que corresponde a los límites de combinación de salvado de avena, polvo de cáscara de piña y copos de quinua entre 0 a 5,22%; 0 a 15,67% y 15,67 a 31,34%; respectivamente. Los contornos en la figura indicó que el efecto simple y binario de los tres ingredientes, contribuyeron en el modelo obtenido para la aceptabilidad general.

En la Figura 2 se observa la optimización de las variables independientes sobre las respuestas contenido de proteína, fibra dietética total, y aceptabilidad general, consideradas como más importantes por el aporte nutri-

Figura 2. Optimización de contenido de fibra dietética, proteína y aceptabilidad general.



Cuadro 5. Modelos y bondad de ajuste para el contenido de proteína, fibra dietética total y aceptabilidad general.

Variable	Ecuación	R ² (%)	Valor-p	Falta de ajuste
Proteína	$y = 0,44*SA + 0,34*CP + 0,50*CQ + 0,0008*SA*CP - 0,0007*SA*CQ + 0,002*CP*CQ - 0,001*SA*CP*CQ$	97,25	0,019	0,997
Fibra	$y = 0,38*SA + 0,45*CP + 0,27*CQ - 0,002*SA*CP + 0,002*SA*CQ + 0,004*CP*CQ - 0,00003*SA*CP*CQ$	99,27		0,016 0,992
Aceptabilidad	$y = 0,16*SA + 0,22*CP + 0,23*CQ + 0,002*SA*CP + 0,005*SA*CQ + 0,004*CP*CQ - 0,0006*SA*CP*CQ$	99,04		0,006 0,999
Firmeza	$y = 0,91*SA + 0,84*CP + 0,74*CQ + 0,04*SA*CP + 0,03*SA*CQ - 0,01*CP*CQ - 0,003*SA*CP*CQ$	82,83		0,042 0,611
Fenoles	$y = 0,01*SA + 0,06*CP + 0,01*CQ + 0,001*SA*CP + 0,0002*SA*CQ - 0,001*CP*CQ + 0,0004*SA*CP*CQ$	95,15		0,003 0,951

cional según la Organización Mundial de Salud (OMS) y acompañadas de una evaluación de aceptabilidad para una posible compra por parte de los consumidores

Al superponer las regiones de interés de las superficies de contorno, se determinó que las áreas óptimas corresponden a cantidades de 4,12% de salvado de avena, 10,04% de polvo de cáscara de piña y 17,18% de copos de quinua, logrando las mejores características de calidad con 13,28% de contenido de proteína, 11,37% de fibra dietética; y aceptabilidad general de 7,47 puntos; que equivale a una percepción de muy bueno.

CONCLUSIÓN

Existió efecto significativo de la concentración de salvado de avena, copos de quinua y polvo de cáscara de piña sobre el contenido de proteína, fibra dietética, firmeza, aceptabilidad general, y compuestos fenólicos en las barras de cereales. Se encontró la región de interés para un adecuado contenido de proteína, fibra dietética y aceptabilidad general en la barra de cereales. Los resultados permiten concluir que el uso de subproductos agroindustriales de frutas y copos de quinua puede ser una buena alternativa de aplicación en alimentos de baja humedad que además aporten beneficios a la salud.

REFERENCIAS

- [1] REZENDE, T., DUARTE, A., DE CARVALHO, A., ASSAID, A., MARQUES, A. and DE OLIVEIRA, V. Cereal bars enriched with antioxidant substances and rich in fiber, prepared with flours of acerola residues. *Journal Food Science Technology*, 52(8), 2015, p. 5084–5092.
- [2] OSCUVILCA, E., SOSA, W., CÁCERES, O., PEÑA, W. y PALACIOS, J. Hábitos alimentarios y estado nutricional de los estudiantes de las universidades de la región Lima – 2015. *Big Bang Faustiniiano*, 2016, 5(3), p. 18–22.
- [3] QUITRAL, V., ATALAH, E., JARA, M., ECHEVERRÍA, F., VIVANCO, J. y LÓPEZ, X. Estudio de aceptabilidad y saciedad de barritas de cereal altas en fibra dietética en escolares de una escuela rural de Chile. *Revista Chilena de Nutrición*, 43(1), 2016, p. 68–74.
- [4] PERESSINI, D., FOSCHIA, M., TUBARO, F. and SENSIDONI, A. Impact of soluble dietary fibre on the characteristics of extruded snacks. *Food Hydrocolloids*, 43, 2015, p. 73–81.
- [5] RIOS, F., LOBO, M. and SAMMAN, N. Acceptability of beehive products as ingredients in quinoa bars. *Journal Science Food Agriculture*, 98, 2018, p. 174–182.
- [6] RAMÍREZ-JIMÉNEZ, A., GAYTÁN-MARTÍNEZ, M., MORALES-SÁNCHEZ, E. and LOARCAPIÑA, G. Functional properties and sensory value of snack bars added with common bean flour as a source of bioactive compounds. *LWT - Food Science and Technology*, 89, 2018, p. 674–680.
- [7] LEITE, C., AVELLANEDA, R., TAÍS, V., SANJINEZ, E., AIKO, P. and RODRIGUES, M. Preparation of a cereal bar containing bocaiuva: physical, nutritional, microbiological and sensory evaluation. *Acta Scientiarum Technology*, 36(3), 2014, p. 553–560.
- [8] COVINO, R., GIRIBONI, A., SILVA, M., RODRIGUES, D. and BENOSI, L. Manufacturing cereal bars with high nutritional value through experimental design. *Acta Scientiarum Technology*, 37(1), 2015, p. 149–154.
- [9] RAWAT, N. and DARAPPA, I. Effect of ingredients on rheological, nutritional and quality characteristics of fibre and protein enriched baked energy bars. *Journal Food Science Technology*, 52(5), 2015, p. 3006–3013.
- [10] ARRUDA, V., DE OLIVEIRA, T., DE SOUZA, M., DELLA, S., FERNANDES, L., RODRIGUES, V. and BRESSAN, J. Influence of package and health-related claims on perception and sensory acceptability of snack bars. *Food Research International*, 101, 2017, p. 103–113.
- [11] CERÓN-FERNÁNDEZ, C., GUERRA-MORCILLO, L., LEGARDA-QUINTERO, J., ENRÍQUEZ-COLLAZOS, M. y PISMAG-PORTILLA, Y. Efecto de la extrusión sobre las características físico-químicas de harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 2016, p. 92–99.
- [12] APPELT, P., ALVES, M., GUERRA, A., KALINKE, C. and APARECIDO, V. Development and characterization of cereal bars made with flour of jabuticaba peel and okara. *Acta Scientiarum Technology*, 37(1), 2015, p. 117–122.
- [13] LAI, W., KHONG, N., LIM, S., HEE, Y., SIM, B., LAU, K. and LAI, O. A review: modified agricultural by-products for the development and fortification

- of food products and nutraceuticals. *Trends in Food Science & Technology*, 59, 2017, p. 148-160.
- [14] FRITSCH, C., STAEBLER, A., HAPPEL, A., CUBERO, M., AGUILO-AGUAYO, I., ABADIAS, M., GALLUR, M., CIGOINI, I., MONTANARI, A., LOPEZ, M., SUAREZ-ESTRELLA, F., BRUNTON, N., LUENGO, E., SISTI, L., FERRI, M. and BELOTTI, G. Processing, valorization and application of bio-waste derived compounds from potato, tomato, olive and cereals: A review. *Sustainability*, 9, 2017, p. 2-46.
- [15] GARCÊZ DE CARVALHO, M., CORREIA-DA COSTA, J., PASSOS- RODRIGUES, M., MACHADO-DE SOUSA, P. and CLEMENTE, E. Formulation and sensory acceptance of cereal-bars made with almonds of chichá, sapucaia and gurgueia nuts. *The Open Food Science Journal*, 5, 2011, p. 26-30.
- [16] HOYOS, D. y PALACIOS, A. Utilización de harinas compuestas de maíz y garbanzo adicionadas con fibra de cáscara de piña para sustitución de harina de trigo en productos de panificación [Tesis Ingeniero de Alimentos]. Cali (Colombia): Universidad del Valle, 2015, 116 p.
- [17] SILVA, V. and CONTISILVA, A. Cereal bars produced with banana peel flour: evaluation of acceptability and sensory profile. *Journal Science Food Agriculture*, 98, 2018, p. 134-139.
- [18] SILVA, J., MARQUES, T., SIMÃO, A., CORRÊA, A., PINHEIRO, A. and SILVA, R. Development and chemical and sensory characterization of pumpkin seed flour-based cereal bars. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 34(2), 2014, p. 346-352.
- [19] SALAZAR, D., ACURIO, L., PÉREZ, L., VALENCIA, A. y PEÑAFIEL, J. Efecto de la utilización de emulsificantes en la textura de barras energéticas de amaranto. *Revista Alimentos Hoy*, 23(36), 2015, p. 97-111.
- [20] OZORES, B., STORCK, C. e DE OLIVEIRA, A. Aceitabilidade e características tecnológicas de bolo enriquecido com farinha de maracujá. *Disciplinarum Scientia*, 16(1), 2015, p. 61-69.
- [21] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). AOAC 985.29 Total Dietary Fiber in Foods Enzymatic-Gravimetric Method. Rockville (USA): 2005.
- [22] TRAMUJAS, J., DE CARLI, C., VIEIRA, N., LUCCHETTA, L. and BENEDETTI, I. Assessment of nutritional and lipid quality of salted cereal bars prepared with different binding agents. *Revista Chilena de Nutrición*, 44(4), 2017, p. 350-359.
- [23] ZENTENO, S. Barras de cereales energéticas y enriquecidas con otras fuentes vegetales. *Revista de Investigación Universitaria*, 3(2), 2014, p. 58-66.
- [24] RAMÍREZ-JIMÉNEZ, A., GAYTÁN-MARTÍNEZ, M., MORALES-SÁNCHEZ, E. and LOARCA-PIÑA, G. Functional properties and sensory value of snack bars added with common bean flour as a source of bioactive compounds, *LWT - Food Science and Technology*, 89, 2017, p. 674-680.
- [25] BCHIR, B., JEAN-FRANCOIS, T., RABETAFIKA, H. and BLECKER, C. Effect of pear apple and date fibres incorporation on the physico-chemical, sensory, nutritional characteristics and the acceptability of cereal bars. *Food Science and Technology International*, 0(0), 2017, p. 1-11.
- [26] OSORIO, P., ISLAS, J., AGUIRRE, A. y CARMONA, R. Elaboración de una barra de trigo con harina de plátano y amaranto. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 2016, p. 734-738.
- [27] RAMOS, J., SUURONEN, J., DEEGAN, K., SERIMAA, R., TUORILA, H. and JOUPPILA, K. Physical and sensory characteristics of corn-based extruded snacks containing amaranth, quinoa and kaniwa flour. *LWT - Food Science and Technology*, 64, 2015, p. 1047-1056.
- [28] YADAV, L. and BHATNAGAR, V. Effect of legume supplementation on physical and textural characteristics of ready to eat cereal bars. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 36(3), 2017, p. 246-250.
- [29] SILVA, E., SIQUEIRA, H., DAMIANI, C. and VILAS, E. Physicochemical and sensory characteristics of snack bars added of jerivá flour (*Syagrus romanzoffiana*). *Food Science and Technology*, 36(3), 2016, p. 421-425.
- [30] SUN-WATERHOUSE, D., TEOH, A., MASSAROTTO, C., WIBISONO, R. and WADHWA, S. Comparative analysis of fruit-based functional snack bars. *Food Chemistry* 119, 2010, p. 1369-1379.
- [31] WANG, Y., ZHANG, M. and MUJUMDAR, A. Influence of green banana flour substitution for cassava starch on the nutrition, color, texture and sensory quality in two types of snacks. *LWT - Food Science and Technology*, 47, 2012, p. 175-182.
- [32] NADEEM, M., REHMAN, S., ANJUM, F., MURTAZA, M. and MUEEN-UD-DIN, G. Development, characterization, and optimization of protein level in date bars using response Surface methodology. *The Scientific World Journal*, 2012, p. 1-10.

- [33] SU-AH, J., AHMED, M. and EUN, J-B. Physicochemical characteristics, textural properties, and sensory attributes of low-calorie cereal bar enhanced with different levels of saccharin during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), 2017, p. 1–7.
- [34] SILVA, E., SIQUEIRA, H., DAMIANI, C. and VILLAS, E. Effect of adding flours from marolo fruit (*Annona crassiflora* Mart) and jervá fruit (*Syagrus romanzoffiana* Cham Glassm) on the physicals and sensory characteristics of food bars. *Food Science and Technology*, 36(1), 2016, p. 140–144.
- [35] MENDES, M. Desenvolvimento de barra de cereal com alto teor de fibras [Tese Mestre em Ciências Farmacêuticas]. Sorocaba (Brasil): Universidade de Sorocaba, 2014, 74 p.
- [36] WOLEVER, T., VAN KLINKEN, J., BORDENAVE, N., KACZMARCZYK, M., JENKINS, A., CHU, Y. and HARKNESS, L. Reformulating cereal bars: high resistant starch reduces in vitro digestibility but not in vivo glucose or insulin response; whey protein reduces glucose but disproportionately increases insulin. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 104 (4), 2017, p. 995–1003.
- [37] CHAVEZ-CEPEDA, L., CRUZ-MENDEZ, G., GRACIA DE CAZA, L., DIAZ-VELA, J. y PEREZ-CHABELA, M. Utilización de subproductos agroindustriales como fuente de fibra para productos cárnicos. *Nacameh*, 3(2), 2009, p. 71–82.
- [38] PAUCEAN, A., MAN, S. and POP, A. Development of oat based-food formulation and quality characteristics. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 21(3), 2015, p. 261–266.
- [39] MOO-HUCHIN, V., MOO-HUCHIN, M., ESTRADA-LEÓN, R., CUEVAS-GLORY, L., ESTRADA-MOTA, I., ORTIZ-VÁZQUEZ, E., BETANCUR-ANCONA, D. and SAURI-DUCH, E. Antioxidant compounds, antioxidant activity and phenolic content in peel from three tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry*, 166, 2015, p. 17–22.
- [40] ALRAHMANY, R. and TSOPMO, A. Role of carbohydrases on the release of reducing sugar, total phenolics and on antioxidant properties of oat bran. *Food Chemistry* 132, 2012, p. 413–418.
- [41] HIDALGO, A., FERRARETTO, A., DE NONI, I., BOTTANI, M., CATTANEO, S., GALLI, S. and BRANDOLINI, A. Bioactive compounds and antioxidant properties of pseudocereals-enriched water biscuits and their in vitro digestates. *Food Chemistry*, 240, 2018, p. 799 – 809.

Evaluación *in vitro* de la actividad antiplasmodial y citotóxica de plantas del sur pacífico colombiano (Tumaco, Nariño)

In vitro antiplasmodial and cytotoxic activity assessment of plants from the colombian southern pacific region (Tumaco, Nariño)

Avaliação *in vitro* da atividade citotóxica antiplasmódica e plantas colombiano pacífico sul (Tumaco, Nariño)

ANDRÉS FELIPE VARGAS-SINISTERRA¹, ADRIANA PABON²-VIDAL,
ALEXANDRA RIOS²-ORREGO, GUSTAVO RAMIREZ², ENA PATRICIA LÓPEZ- BARRIOS²

RESUMEN

La malaria es una enfermedad parasitaria con impacto negativo para la salud humana mundial, lo que motiva la búsqueda de nuevos antimaláricos a partir de plantas medicinales que han mostrado gran potencial en experimentos in vivo e in vitro. Este estudio tuvo por objetivo la evaluación in vitro de la actividad antimalárica y la citotoxicidad de nueve extractos crudos preparados a partir de las hojas de las plantas: Piper tricuspe, Plantago major, Solanum nudum, Gliricidia sepium del sur pacífico colombiano Tumaco Nariño. La actividad antiplasmódica se evaluó en las cepas 3D7 Y FCR3 de Plasmodium falciparum y se encontró que los extractos preparados con

Recibido para evaluación: 26 de Enero de 2017.

Aprobado para publicación: 11 de Abril de 2018.

- 1 Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Programa de Licenciatura en Biología y Química, cuarto piso Edificio Orlando Sierra Hernández Universidad de Caldas, Manizales-Colombia
- 2 Grupo malaria, Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia, Medellín-Colombia

Correspondencia: andres.201121724@ucaldas.edu.co

etanol de *P. tricuspe* y *S. nudum* tuvieron una CI_{50} 24,41 y 16,59 mg/mL para la cepa FCR3 y 27,1 y 23,26 mg/mL para la cepa 3D7 respectivamente; la actividad citotóxica se valoró en la línea celular HepG2, siendo ambos extractos bajamente tóxico. Cabe resaltar la importancia de la intención por encontrar nuevos medicamentos antipalúdicos a partir de las plantas informadas por las comunidades del sur de Colombia

ABSTRACT

Malaria is a parasite disease with negative impact for the worldwide human health. This motivates research in new anti-malaric natural medicine, which have proved high potential in in vitro and in vivo experiments. The objective of this research in the in vitro evaluation is: taking into account the antimalaric activity, its cytotoxicity with 9 raw extracts are prepared after some of this plant leaves: *Piper tricuspe*, *Plantago major*, *Solanum nudum*, *Gliricidia sepium* found in the Colombian south Pacific in Tumaco, Nariño. The antiparasmodic activity was evaluated for the 3D7 Y FCR3 strains prepared with *P. tricuspe* y *S. nudum*. Ethanol had a CI_{50} 24,41 y 16,59 mg/mL for the strain FCR3 and 27,1 y 23,26 mg/mL for the strain 3D7, this, The cytotoxic activity valued in the cell line HepG2, bot extracts being low toxic. It should be noted also, the importance in the intention to find new antimalaric from the plants found in the communities in south Colombia.

RESUMO

A malária é uma doença parasitária com impacto negativo para a saúde humana global, o que motiva a busca por novos medicamentos antimaláricos a partir de plantas medicinais têm mostrado grande potencial in vivo e experimentos in vitro. Este estudo tem como objetivo avaliar a atividade in vitro contra a malária e citotoxicidade nove extratos preparados a partir de folhas de plantas: *Piper tricuspe*, *Plantago major*, *Solanum nudum*, *Gliricidia* Pacífico Sul colombiano Tumaco Nariño. A atividade foi avaliada em antiparasmodica as estirpes falciparum 3D7 e FCR3 Plasmodium. Verificou-se que os extractos de etanol preparada a partir de *S. nudum* *P. tricuspe* e tinha um IC_{50} 24,41 e 16,59 mg / mL e 27,1 para a estirpe FCR3 e 23,26 mg / mL para a estirpe 3D7, respectivamente; A atividade citotóxica foi avaliada na linha celular HepG2, ambos os extratos são baixos tóxicos. Deve destacar a importância da intenção de encontrar novas drogas antimaláricas de plantas relatados pelas comunidades do sul da Colômbia

INTRODUCCIÓN

La Malaria ha sido clasificada como una enfermedad de control epidemiológico, causada por un protozooario parásito del género *Plasmodium*; los miembros de esta especie que infectan al hombre son *P. falciparum*, *P. vivax*, *P. ovale*, *P. malarie*, destacándose los dos primeras en salud pública, por ser *P. falciparum* el más letal y *P. vivax* la de mayor prevalencia [1].

PALABRAS CLAVES:

Extractos de plantas, Etnobotánica, *Plasmodium falciparum*, Malaria

KEYWORDS:

Extracts of plants, Ethnobotany, *Plasmodium falciparum*, Malaria

PALAVRAS-CHAVE:

Extractos de plantas, Etnobotânica, *Plasmodium falciparum*, Malária

Esta enfermedad es endémica en gran parte del territorio nacional, se encuentra localizada en áreas por debajo de los 1500 m.s.n.m [2]. En Colombia se reporta que durante la 31 semana epidemiológica del 2014, se presentaron 295 casos de malaria, de estos 166 por *P. falciparum*, 123 por *P. vivax* [3], mostrando así una alta morbilidad en las poblaciones humanas afectadas. Un factor que impide el control de la malaria es la resistencia a drogas antimaláricas, que es comúnmente vista en infecciones por *P. falciparum* aunque constantemente han sido reportados casos de resistencia en *P. vivax*, motivo por el cual la cloroquina permanece como la droga seleccionada para el tratamiento de la malaria, resistencia que también se ha extendido a otras drogas antimaláricas [4, 5, 6, 7].

El artesunato, entre otros medicamentos para la cura de la malaria, es un derivado de la artemisinina; un compuesto extraído de la planta *Artemisia annua*, la cual ha permitido la nueva búsqueda de antipalúdicos partiendo de los conocimientos de la medicina ancestral y todo lo relacionado con la curación por medio de plantas medicinales, las cuales son una de las valiosas tradiciones de muchas comunidades [8, 9, 10].

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), el 80% de la población mundial, principalmente de países en vía de desarrollo, utilizan las plantas para el cuidado de su salud y más del 50% de los fármacos, actualmente utilizados en el mundo, tienen su origen en los productos naturales y sus derivados. Además, existe un gran potencial para encontrar nuevos medicamentos, debido a que solo el 1 % de las especies tropicales han sido estudiadas para valorar su potencial farmacéutico y la proporción es mucho menor para las especies nativas de zonas lluviosas tropicales; representando una gran reserva de posibles fármacos [11]. Éstas son una fuente de recursos terapéuticos para la obtención de compuestos utilizados para el tratamiento de diversas enfermedades parasitarias como la malaria, contribuyendo en su quimioterapia, ya sea como agentes antipalúdicos o como cabezas de serie o plantillas para el desarrollo de antimaláricos más potentes [12, 13].

Tumaco es un municipio que cuenta con una gran diversidad de plantas medicinales, las cuales han sido usadas por los ancestros durante muchos años para tratar sus enfermedades. De estas plantas se han reportado estudios de actividad antiplasmodial *in vitro* en *P. falciparum*, *P. vivax*; e *in vivo* en *P. berghei*

[14,15]. En el presente trabajo, se evaluó la actividad citotóxica y antiplasmodica *in vitro* de extractos crudos preparados con solventes de diferente polaridad (etanol, metanol, diclorometano, acetato de etilo y hexano), a partir de las plantas *Piper tricuspe*, *Plantago major*, *Solanum nudum*, *Gliricidia sepium* usadas en la medicina tradicional de Tumaco- Nariño, para el tratamiento de malaria y fiebre relacionada a esta y lo reportado por Blair *et al* 2005 en su libro plantas antimaláricas de Tumaco costa pacífica colombiana.

MÉTODO

Recolección y secado de las plantas

Tomando como base los saberes etnobotánicos de algunos curanderos de Tumaco-Nariño y según lo reportado por algunos autores [16, 17, 18, 19], fueron seleccionadas cuatro especies de plantas; distribuidas en las siguientes familias botánicas: Fabaceae: *Gliricidia sepium*, Plantaginaceae: *Plantago major*, Piperaceae: *Piper tricuspe*, Solanaceae: *Solanum nudum*. Las cuales fueron recolectadas en el corregimiento de Tangareal (Latitud: 1.73333 Longitud: -78.5), zona rural del municipio de Tumaco-Nariño, Posteriormente, el material vegetal (hojas y tallos) fue sometido a un proceso de lavado y secado en horno a una temperatura de 40°C durante 48 horas, para luego ser molido con ayuda de una licuadora.

Preparación de extractos

Para la obtención de los extractos, se tomaron 20 g del material vegetal seco y molido y se sometieron a extracción por Soxhlet [20, 21], durante cuatro horas, empleando 250 mL de solvente (etanol, metanol, Diclorometano, acetato de etilo y hexano), con el fin de garantizar la mayor extracción de todos los metabolitos de interés presentes en la planta. Posteriormente, se concentraron los diferentes extractos a presión reducida en un rotaevaporador para obtener cada uno de los extractos crudos; luego se procedió a rotular cada uno de los extractos obtenidos *P. tricuspe* (PT), *P. major* (PM) *S. nudum* (SN), *G. sepium* (GS₁, GS₂, GS₃, GS₄, GS₅, GS).

Análisis cualitativo

Se hizo una marcha fitoquímica de los extractos por CPF (Cromatografía en Capa Fina), con fase estacio-

naria de silica gel 60 F₂₅₄ Merck®. Las placas cromatográficas se eluyeron en diferentes sistemas de eluciones tales como (Diclorometano–Metanol 20:1, Diclorometano–Metanol 20:2, Hexano–Acetato de Etilo 7:3 y Hexano–Acetato de Etilo 9:1). Consecutivamente, las placas fueron reveladas con lámpara ultravioleta UVGL-58 a 254 nm y con el revelador universal (ácido sulfúrico, ácido acético y agua 50:30:20), reactivo Dragendorff y Yodo [22].

Para completar la detección de los metabolitos de los extractos, se realizaron pruebas cualitativas en tubos con Magnesio en limaduras y gotas de HCl, el cual nos permite la identificación de flavonoides, Cloruro férrico para la identificación de fenoles y reactivo Dragendorff el cual permite la identificación de alcaloides [23, 24, 25,26].

Evaluación *in vitro* de los extractos

Ensayos de citotoxicidad. Con el fin de evaluar la actividad citotóxica de los extractos, se utilizaron las células HepG2 las cuales son una de las líneas celulares más usadas para la evaluación de la citotoxicidad [27, 28]. Estas células se cultivaron en medio DMEN (Dulbecco's Modified Eagle's Medium/Nutrient Mixture F-12), suplementado con 10% de suero fetal bovino inactivado, mantenidas a 37°C y CO₂ al 5% [29, 30].

En cámara de Neubauer se contaron las células HepG2, y se procedió a su siembra en placas de 96 pozos de fondo plano (Falcon®) 200.000 células/mL, adicionando 100µL a cada pozo [31], haciendo uso de un control para cada uno de los ensayos. Para lo anterior se evaluó una concentración de 200 mg/mL de cada extracto, por duplicado, de la cual se realizaron diluciones seriadas.

Seguidamente, fue analizada la viabilidad celular siguiendo el método MTT (Este método se fundamenta en la reducción del bromuro 3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difenil tetrazolio), descrito por (Mosmann, 1983) con algunas modificaciones [32, 33]. El método MTT pretende medir células viables en relativo, observar su alto rendimiento (en placas 96); determinado de esta manera la citotoxicidad de medicamentos o extractos en varias concentraciones, además de la actividad mitocondrial de las células, convirtiendo el MTT en formaciones de cristales, la cual es una reacción de oxidación del MTT mediante la actividad metabólica que realiza la mitocondria [34].

Las placas microtituladoras de 96 pozos fueron medidas en un lector de Elisa, el cual expresa la cuantificación óptica de cada pozo; estas mediciones fueron usadas para determinar la CT₅₀ de los extractos.

En aras de clasificar la citotoxicidad de los extractos, el Grupo de Malaria de la Universidad de Antioquia estableció un consenso para las muestras evaluadas: altamente toxico ≤ 5, promisorio 6-15 µg/mL, moderadamente toxico 16-30 µg/mL, baja toxicidad 31-50 µg/mL y no toxico ≥ 50.

Actividad Antiplasmodial. La evaluación de la actividad antiplasmodial de los extractos fue efectuada *in vitro* con cepas 3D7 (sensible a cloroquina) y FCR3 (resistente a cloroquina) de *Plasmodium falciparum*, las cuales fueron mantenidas a un cultivo continuo a 37°C en una atmósfera de mezcla de gases de 5% de O₂ 6% de CO₂ y N₂ balanceado, según lo descrito por Trager W, et al 1976 [35], con algunas modificaciones [36, 37].

Los ensayos para la actividad antiplasmodial de los extractos se realizaron en placas de 96 pozos de fondo plano (Falcon®), evaluándose una concentración 500 µg/mL para cada extracto por duplicado, realizándose así diluciones seriadas. A modo de control del ensayo se usó la Cloroquina a una concentración de 150nM para la cepa 3D7 y 2000 nM para la cepa FCR3. Una suspensión de glóbulos rojos parasitados fue preparada con un hematocrito del 2% y una parasitemia del 1%. Con adición final de 22 µL de hipoxantina radio marcada para cada placa [38, 39]. En consecuencia, el cultivo con los tratamientos fue incubado a 37°C durante 48 horas en atmósfera de 5% CO₂, 5% O₂ y 90% de N₂. Las placas de 96 pozos fueron congeladas a -20°C durante 14 horas, generando así la hemólisis de los eritrocitos. La lectura del ensayo se realizó mediante el contador de centelleo. En aras de clasificar la actividad antiplasmodial se considera lo siguiente, un extracto activo cuando la CI₅₀ fuese <5 µg/mL, promisorio 6-15 µg/mL, moderadamente activo 16-30 µg/mL, baja actividad 31-50 µg/mL e inactivo >50 µg/mL según [40], y modificación realizadas por el grupo Malaria.

Análisis estadístico. Los datos de absorbancia de la prueba de citotoxicidad, obtenidas por el lector de Elisa, se analizaron en una hoja de cálculo electrónico para la determinación de los porcentajes de toxicidad, y el programa *GraphPadPrism*TM, versión 5.01, para la determinación de la concentración toxica 50(CT₅₀).

Los datos arrojados por el contador de centelleo en la evaluación de la actividad antiplasmodial de igual forma se analizaron en una hoja de cálculo electrónico para la determinación de los porcentajes de inhibición, y el programa *GraphPadPrism™*, versión 5.01, para la determinación de la concentración inhibitoria 50 (CI₅₀).

RESULTADOS

Los resultados de la marcha fitoquímica indican la presencia de flavonoides en los extractos de las cuatro plantas estudiadas, presencia de compuestos fenólicos para *P. tricuspe*, *S. nudum* y *G. sepium*. En cuanto a la presencia de alcaloides, se presentó poca cantidad en *P. major*, para la especie *P. tricuspe*, en la cual se observó una abundancia de estos metabolitos (véase cuadro 1).

Con respecto a la citotoxicidad, los extractos etanólicos de *P. tricuspe* y *S. nudum* (PT y SN) presentaron una baja toxicidad de 41,74 y 32,18 mg/mL respectivamente, en la línea celular HepG2, según la clasificación dada por el grupo Malaria; los extractos de *P. major* y de *G. cepium*, no tuvieron actividad tóxica sobre la línea celular trabajada a las concentraciones evaluadas, los resultados de estos extractos no se evidencia en el cuadro, debido que los investigadores consideramos no son de relevancia. (Cuadro 2).

Por otro lado, al respecto de la actividad antiplasmodica resumida en el cuadro 3, se encontró que los extractos PT y SN tuvieron actividad antiplasmodial frente a *P. falciparum* en las dos cepas evaluadas (FCR3 Y 3D7), con una concentra-

Cuadro 1. Marcha fitoquímica para los extractos de las hojas y tallos de las especies vegetales.

Prueba Cualitativa	Prueba Específica	Especies Vegetales			
		<i>Piper tricuspe</i>	<i>Plantago major</i>	<i>Solanum nudum</i>	<i>Gliricidia sepium</i>
Flavonoides	Mg/HCl	++	+	+	+
Compuestos Fenólicos	FeCl3 10% acuoso	+	-	+	-
Alcaloides	Dragendorff	+++	+	++	++
		+: Poco ++ : Moderado +++ : Abundante - : Ausente			

Cuadro 2. Actividad citotóxica de los extractos, evaluada en línea celular HepG2.

PLANTA	EXTRACTO	Toxicidad Célula HepG2(mg/mL)		Clasificación Actividad
		CT ₅₀ *	D.S*	
<i>Piper tricuspe</i> (PT)	Etanólico	41,74	0,7	baja toxicidad
<i>Plantago major</i> (PM)	Etanólico			no tóxico
<i>Solanum nudum</i> (SN)	Etanólico	32,18	10,91	baja toxicidad
<i>Gliricidia sepium</i> (GS)	Acetato de etilo(GS1)			no tóxico
	Metanol(GS2)			no tóxico
	Diclorometano(GS3)			no tóxico
	Hexano(GS4)			no tóxico
	Etanólico 1(GS5)			no tóxico
	Etanólico(GS)			no tóxico
*CT concentración inhibitoria 50				
*D.S desviación estándar				

Cuadro 3. Actividad antiplasmodial de los extractos.

PLANTA	EXTRACTO	Actividad cepa FCR-3(mg/mL)			Actividad cepa 3D7(mg/mL)			Clasificación Actividad
		CI ₅₀ *	D.S*	C.V*	CI ₅₀ *	D.S*	C.V*	
<i>Piper tricuspe</i> (PT)	Etanólico	24,41	4,32	18,17	27,1	1,6	5,64	Moderada Actividad
<i>Plantago major</i> (PM)	Etanólico							No activo
<i>Solanum nudum</i> (SN)	Etanólico	16,59	2,37	14,13	23,26	1,40	5,45	Moderada Actividad
<i>Gliricidia sepium</i> (GS)	Acetato de etilo(GS1)							No activo
	Metanol(GS2)							No activo
	Diclorometano(GS3)							No activo
	Hexano(GS4)							No activo
	Etanólico 1(GS5)							No activo
	Etanólico(GS)							No activo
*CI concentración inhibitoria ₅₀								
*D.S desviación estándar								
*C.V coeficiente de variación								

ción inhibitoria cincuenta (CI_{50}) de 24,41 y 16,59mg/mL en la cepa FCR3. En la cepa 3D7 los extractos PT y SN tuvieron una CI_{50} de 27,1 y 23,26 y mg/mL respectivamente; mientras que los extractos PM, GS1, GS2, GS3, GS4, GS5 Y GS no presentaron actividad antiplasmodial en ninguna de las cepas trabajadas.

A estas plantas se les ha distinguido por su gran contenido de metabolitos secundarios, como lo representa la planta *P. tricuspe* de la familia Piperaceae. Las plantas de esta familia se distinguen por su gran contenido de alcaloides y se ha demostrado la actividad de la especie *P. tricuspe* contra *Plasmodium*, con una actividad relativamente alta en cepa FCB-1 de *P. falciparum*, con un IC_{50} de 1,37mM. De igual forma ya han sido caracterizados tres compuestos de dicha especie vegetal [41], cabe resaltar que este es tercer reporte para esta planta.

Para la especie estudiada en este estudio, el extracto de tallos y hojas presento actividad antiplasmodial frente a las cepas FCR3 Y 3D7 de *P. falciparum*, teniendo una modera actividad con CI_{50} de 24,41 27,1mg/mL. Estudios realizados por Blair et al 2005 en su libro plantas antimalaricas de Tumaco: costa pacífica Colombiana reportó actividad antiplasmodial para *P. Tricuspe*, en ensayo *in vitro* con cepa (ITG-2) de *P. falciparum*.

Según lo revelan las investigaciones realizadas del grupo Malaria [42, 43, 44], la planta *S. nudum* ha sido altamente estudiada. Estudios químicos de esta especie han demostrado la presencia de esteroides, que son los metabolitos, responsables de la actividad antiplasmodial, dichos esteroides fueron evaluados sobre muestras clínicas de *P falciparum* [45].

Las nuevas observaciones efectuadas para este reporte revelan que el extracto de *S. nudum* se comporta de igual manera que la reportado por el grupo Malaria, obteniendo una CI_{50} de 16,59 y 23,26 mg/mL en cada una de las cepas, valores muy parecido a muchos de los aportes hechos por el grupo Malaria.

Plantago major y *Gliricidia sepium* fueron las plantas que no presentaron actividad antiplasmodial ninguna, aunque Carrillo et al, 2005 [15], informó que *P. major* posee flavonoides, esteroides, alcaloides, saponinas, mono-terpenoides, además de la actividad antiplasmodial parcial frente a *P. berghei* en ensayo *in vivo* en ratones; cabe resaltar que las concentraciones usadas por este autor, fueron altas en un rango

de 500 a 1000 mg/kg, disminuyendo el crecimiento de los parásitos en un 46 y 39%; en las observaciones realizadas en el presente estudio *P. major* no presenta valores significativos de actividad antiplasmodial *in vitro*, ni actividad citotóxica; aunque se ha demostrado la actividad citotóxica de *P. major* en línea celular HepG2 con un CI_{50} de 174,42 a 496,14 mg/mL [46].

G. sepium de igual forma no presentó actividad anti-malárica y citotóxica, esta planta fue escogida para este estudio debido a que muchas personas de Tumaco-Nariño la usan como remedio para el tratamiento del dengue, y así mismo lo reporta Ramírez et al, 2010 [17], con los habitantes de Tumaco que usan esta planta como remedio para esta enfermedad, de la cual se puede observar una disminución de los síntomas y del virus después de su uso; el uso de *G. sepium* en la investigación tenía como propósito observar si esta planta podría tener actividad antiplasmodial; en algunos análisis preliminares realizados por Blair et al, 1990, arrojó resultados positivos para alcaloides, flavonoides, de igual manera, estas pruebas fueron positivas para los extractos de *G. sepium* utilizados en este trabajo de investigación. Castro et al, 1996 [47], reporta actividad antiplasmodial de *G. sepium* contra *P. berghei*, de los extractos polares (acetato de etilo, alcohólicos acuosos), y de igual forma corrobora pruebas positivas para flavonoides y cumarinas. En las observaciones de este estudio se encontró que el extracto de acetato etilo (GS1) y ninguno de los otros extractos de *G. sepium*, no presentó actividad antiplasmodial *in vitro*.

CONCLUSIONES

De manera general se puede concluir que se obtuvo una modera actividad antiplasmodial y baja actividad citotóxica para los extractos de las especies evaluadas del genero *Piper* y *Solanum*. Dada la concentración inhibitoria 50 y la baja citotoxicidad de estas especies vegetales, se amerita seguir estudios fitoquímicos biodirigidos para la caracterización de sus componentes químicos. Con respecto a la planta *P tricuspe*, aunque se han realizado reportes de algunos compuestos químicos identificados en esta planta, se considera seguir realizando avances para la búsqueda de nuevas medicamentos antimalaricos. De igual forma, este estudio permitió validar los saberes etnobotánicos de las personas que usan estas plantas para sintomatología de la Malaria, lo cual per-

mite investigar y promover la búsqueda de nuevos antipalúdicos a partir de los productos naturales.

AGRADECIMIENTOS

Al grupo Malaria de la Universidad de Antioquia por permitir la realización de la parte experimental del estudio, el profesor Javier Taborda quien tramitó, por medio del convenio de cooperación entre las dos instituciones, la pasantía de investigación.

REFERENCIAS

- [1] SUIZA. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Word malaria report. Ginebra (Suiza): 2014, p. 2-4.
- [2] COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Guía de atención clínica de malaria. Bogotá (Colombia): 2010, p. 15-23.
- [3] COLOMBIA. INSTITUTO NACIONAL DE SALUD. Boletín Epidemiológico Nacional. Bogotá (Colombia): 2015.
- [4] DAILY, J. Antimalarial Drug Therapy: The Role of Parasite Biology and Drug Resistance. The Journal of Clinical Pharmacology, 46(12), 2006, p. 1487-1497.
- [5] SUIZA. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Methods for Surveillance of Antimalarial Drug Efficacy. Ginebra (Suiza): 2009, p. 3-10.
- [6] ARLETTA, A., NAVARRO, D., YUCRA, O., GARNICA, C., MELGAR, V., MOCOSO, M., ARTEAGA, R. y NAKAO, G. Respuesta terapéutica de Plasmodium vivax a la cloroquina, en Riberalta, Guayaramerin y Yacuiba, Bolivia. Biomedica, 32(4). 2012, p. 527-535.
- [7] VÁSQUEZ, A. y TOBÓN, A. Mecanismos de patogenia en la malaria por Plasmodium falciparum. Biomédica, 32(1), 2012, p. 106-120.
- [8] CHANG, X. Discovery and Development of Artemisinin and Related Compounds. Chinese Herbal Medicines, 9(2), 2017, p. 101-114.
- [9] RODRÍGUEZ, J. Uso y manejo tradicional de plantas medicinales y mágicas en el valle de Sibundoy, alto Putumayo, y su relación con procesos locales de construcción ambiental. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 34(132), 2010, p. 309-326.
- [10] ANGULO, A., ROSERO, R. y GONZALES, M: Estudio etnobotánico de las plantas medicinales utilizadas por los habitantes del corregimiento de Genoy, Municipio de Pasto, Colombia. Revista Universidad y Salud, 14(2), 2012, p. 168-185.
- [11] GURIB-FAKIN, A. Medicinal plants: Traditions of yesterday and drugs of tomorrow. Molecular Aspects of Medicine, 27(1), 2006, p. 1-93.
- [12] BERMÚDEZ, A., OLIVEIRA, M. y VELÁSQUEZ, D. La investigación etnobotánica sobre plantas medicinales: Una revisión de sus objetivos y enfoques actuales. Interciencia, 30(8), 2005, p. 453-459.
- [13] SUIZA. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Estrategias de la OMS sobre la medicina tradicional. Ginebra (Suiza): 2013, p. 25-34.
- [14] BLAIR, S. y MADRIGAL, B. Plantas antimaláricas de Tumaco Costa Pacífica colombiana. 1 ed. Medellín (Colombia): Universidad de Antioquia, 2005.
- [15] CARRILO, T. y DIAZ, A. Actividad antimalarica de extractos crudos de plantas en ratones infectados con Plasmodium berghei. Revista de la Facultad de Farmacia, 47(1), 2005, p. 2-9.
- [16] LONDOÑO, B. et al. Effect of Solanum nudum Dunal (Solanaceae) Steroids on Hepatic Trophozoites of plasmodium vivax. Phytotherapy Research, 20(1), 2006, p. 267-273.
- [17] RAMÍREZ, I. et al. El matarratón: potente agente antiviral. Evaluación del efecto terapéutico de Gliricidia sepium en el tratamiento del dengue clásico, Tumaco, Nariño 2007-2008. Revista Nacional de investigación-Memorias, 8(13), 2010, p. 9-19.
- [18] ÁLVAREZ, G. et al. Evaluation of Clastogenic Potential of the Antimalarial Plant Solanum nudum. Phytotherapy Research, 18, 2004, p. 845-848.
- [19] KRISHNAPPA, K., DHANASEKARAN, S. and ELUMALI, K. Larvicidal, ovicidal and pupicidal activities of Gliricidia sepium (Jacq) (Leguminosae) against the malarial vector, Anopheles stephensi Liston (Culicidae:Diptera). Asian pacific Journal of Tropical Medicine, 5(8), 2012, p. 589-604.
- [20] Extracciones con equipo Soxhlet [online]. Disponible en: <http://www.cenunez.com.ar/archivos/39-ExtraccinconequipoSoxhlet.pdf>. Citado [12032017].
- [21] GIRALDO, F. et al. Comparación de métodos de extracción de oleorresina de páprika (Capsicum annum L.) convenciones con una tecnología amigable al medio ambiente. Producción+Limpiar, 4(1), 2009, p. 17-26.
- [22] VERMA, A., SINGH, N. and KUMAR, A. Phytochemical investigation and Thin Layer Chromatography of asparagus racemosus (family-Asparagaceae) Metanolic leaves extract. International Journal of Advanced Research in Pharmaceutical & Bio sciences, 3(1), 2013, p. 15-18.

- [23] GARRIDO, G., ORTIZ, M. y POZO, D. Fenoles y Flavonoides totales y actividad antioxidantes de extractos de hojas de *Lampara medicinalis* F. Phil. Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research, 1(1), 2013, p. 30-38.
- [24] GARCÍA, M. et al. Actividad fitotóxica de los extractos de Chila Manzano (*Capsicum pubescens* R&P). Revista Chapingo Serie Horticultura, 19(4), 2013, p. 23-33.
- [25] BARRÓN, R. et al. Flavonoides y actividad antioxidante de extractos de *Calia secundiflora* (Ort.) Yakovler. Revista Fitotecnica mexicana, 34(3), 2011, p. 151-167.
- [26] HERNÁNDEZ, J.E. Análisis fitoquímico y de actividad antimalarica de dos especies del genero *Cecropia* [Tesis Master Pharmaceutical Sciencies]. Bogota (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Farmacia, 2012, 131 p.
- [27] GOMEZ, M.J., CASTELL, J. and DONATO, M. Hepatocytes-the choice to investigate drug metabolism and toxicity in man: In vitro variability as a reflection of in vivo. Chimico-Biologica-Interactios, 168(1), 2007, p. 30-50.
- [28] CASTAÑEDA, B., IBÁÑEZ, L. y RAMOS, E. Evaluación de la actividad citotóxica in vitro de cinco plantas medicinales peruanas (*Abuta*, *Ajo sacha*, *Moena*, *Murure* y *Tahuari*). Cultura, 22, 2008, p. 141-167.
- [29] HUERTAS, P., PABÓN, A., ARIAS, C. Y BLAIR, S. Evaluación del efecto citotóxico y del daño genético de extractos estandarizados de *Solanum nudum* con actividad anti-*Plasmodium*. Biomedica, 33(1), 2013, p. 78-87.
- [30] QUISPE, F. et al. Efecto citotóxico selectivo in vitro de muricin (acetogenina de *annonamuricata*) en cultivos celulares de cáncer de pulmón. Revista peruana de medicina experimental y salud pública, 23(4), 2006, p. 265-269.
- [31] OSORIO, E. et al. Antiprotozoal and cytotoxic activities in vitro of Colombian Annonaceae. Journal of Ethnopharmacology, 111(3), 2007, p. 630-635.
- [32] LONDOÑO, B. et al. Effect of *Solanum nudum* Dunal (Solanaceae) Steroids on Hepatic Trophozoites of *plasmodium vivax*. Phytotherapy Research, 20(1), 2006, p. 267-273.
- [33] HUERTAS, P. et al. Evaluación del efecto citotóxico y del daño genético de extractos estandarizados de *Solanum nudum* con actividad anti-*Plasmodium*. Biomedica, 33(1), 2013, p. 78-87.
- [34] ESCOBAR, L., RIVERA, A. y ARISTIZABAL, F. Estudio comparativo de los métodos de resazurina y MTT en estudios de citotoxicidad en líneas celulares tumorales humanas. Revista de la Facultad de Química Farmaceutica, 17(1), 2010, p. 67-74.
- [35] TRAGER, W. and JENSEN, J. Human parasites in continuous culture. Science, 193(1), 1976, p. 673-675.
- [36] MESA, A., PABÓN, A. y BLAIR, S. Actividad antiplasmodial in vitro de *Calphyllum*. Revista Química viva, 2(1), 2011, p. 118-128.
- [37] ARANGO, E., CARMONA, J. y BLAIR, S. Susceptibilidad in vitro de aislamientos colombianos de *Plasmodium falciparum* a diferentes antipalúdicos. Biomedica, 28(2), 2008, p. 213-223.
- [38] CHAPARRO, J. y WASSERMAN, M. Adecuación de una prueba radiométrica para la detección de resistencia múltiple de *Plasmodium falciparum* a diferentes antimalaricos. Biomédica, 28(2), 1999, p. 213-223.
- [39] RADA, A., MORENO, C. y BLAIR, S. Exitoso cultivo in vitro de gametocitos de *Plasmodium falciparum*. Biomedica, 28(4), 2008, p. 607-615.
- [40] JOVILLE, M. et al. and FRÉDÉRICH, M. Screening of medicinal plants from Reunion Island for antimalarial and cytotoxic activity. International Society for Ethnopharmacology 120(3), 2008, p. 382-386.
- [41] SÁEZ, A. et al. Antimalarials and antioxidants compounds from *Piper tricuspe* (Piperaceae). Pharmacology online, 1, 2008, p. 1-8.
- [42] LOPEZ, M. et al. Induction of cell death on *plasmodium falciparum* asexual blood stages by *Solanum nudum* Steroids. Parasitology International, 59(1), 2010, p. 217-225.
- [43] LOPEZ, M. et al. Effect of *Solanum nudum* steroids on uninfected and *plasmodium falciparum*-infected erythrocytes. Memorias do Instituto Oswaldo Cruz, 104(5), 2009, p. 683-688.
- [44] PABON, A. et al. Inhibition of *P. falciparum* by Steroids Isolated from *Solanum nudum*. Phytotherapy Research, 16(1), 2002, p. 59-62.

-
- [45] ARANGO, E., CARMONA, J. y BLAIR, S. Susceptibilidad in vitro de muestras clínicas colombianas de *Plasmodium falciparum* a tres esteroides de la planta *Solanum nudum* Dunal (Solanaceae). *VITAE, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 15(1), 2008, p. 150-156
- [46] KARTINI, et al. HPTLC simultaneous quantification of triterpene acids for quality control of *Plantago major* L. and evaluation of their cytotoxic and antioxidant activities. *Industrial Crops and Products*, 60, 2014, p. 239-246.
- [47] CASTRO, O. et al. Evaluación química y biológica del efecto de extractos de plantas contra *Plasmodium berghei*. *Revista Biología Tropical*, 44(2), 1996, p. 361-367.

Extração de lipídios da microalga *Scenedesmus* sp. Com diferentes mistura de solventes orgânicos

Lipid extraction of the microalga *Scenedesmus* sp. with different mixture of organic solvents

Extracción de lípidos de la microalga *Scenedesmus* sp. con diferentes mezclas de solventes orgánicos

JOSÉ JOVANNY BERMUDEZ-SIERRA¹

RESUMO

As microalgas são fontes de lipídeos com potencial para produção de biocombustíveis e suplementos alimentares em grande escala. O presente estudo avalia o papel dos solventes orgânicos de tipos apolares e próticos polares (razão 1:2) na extração e quantificação de lipídios totais e ácidos graxos metil-ésteres (FAMES sigla em inglês) da micro-alga *Scenedesmus*. sp. As amostras da microalga liofilizadas foram quantificados os lipídios por Bligh & Dyer (B&D) modificado e pré-tratadas com ácido clorídrico 3 mol·L⁻¹ (com e sem HCl). O clorofórmio foi substituído pelo acetato de etila, éter de petróleo e éter etílico e o metanol por etanol, Isopropanol e terc-butanol. Os FAMES dos óleos de cada tratamento, com ou sem adição de HCl, foram quantificados por cromatografia gasosa. Os resultados evidenciaram que a maior extração de li-

Recibido para evaluación: 23 de Mayo de 2018.

Aprobado para publicación: 29 de Julio de 2018.

1 Universidade Federal de Ceara. Estudante pós-graduação Doutorado em Biotecnologia "RENORBIO". Fortaleza - CE, Brasil.

Correspondência: jjbermudez@alu.ufc.br

pídiós e ácidos graxos com HCl nos tratamentos é explicada pelo rompimento celular e liberação. Os solventes e álcoois apresentaram eficiência adequada, em presença de HCl, mas éter de petróleo e o etanol apresentaram resultados semelhantes ao de B&D utilizado como referência. Em conclusão a mistura entre solventes apolares e próticos polares aumentaram os rendimentos, especialmente para quando o éter de petróleo ou etílico misturado com etanol (HCl), disponibilizando os FAMES de tipo insaturado de lípidos neutros.

RESUMEN

*Las microalgas son fuentes de lípidos con potencial en producir biocombustibles y suplementos alimentarios en gran escala. El presente estudio tiene como objetivo evaluar el papel de los solventes orgánicos apolares y próticos polares (proporción 1:2) en la extracción y cuantificación de lípidos totales y ésteres metílicos de ácidos grasos (FAMES sigla en inglés) en la microalga *Scenedesmus. sp.* A las muestras liofilizadas fueron cuantificados los lípidos por Blight & Dyer (B&D) modificado y pre-tratadas con ácido clorhídrico 3 mol.L⁻¹ (con y sin HCl). El cloroformo fue reemplazado por acetato de etilo, éter de petróleo y éter etílico, y el metanol por etanol, isopropanol y terc-butanol. Los FAMES en los tratamientos, con o sin adición de HCl, fueron determinados por cromatografía de gases. Los resultados evidenciaron que la mayor extracción de lípidos y FAMES con HCl en los tratamientos se explica por rompimiento de la celular y liberación de los lípidos. Los solventes orgánicos y los alcoholes mostraron una eficiencia adecuada en presencia de HCl, igualmente el éter de petróleo y etanol demostraron resultados similares con B&D utilizado como referencia. En conclusión, la combinación entre los solventes apolares e próticos polares aumentaron la extracción y los rendimientos, especialmente cuando el éter de petróleo o el éter etílico con etanol (HCl), proporcionando los FAMES insaturados de lípidos neutros.*

ABSTRACT

*Micro-algae are sources of lipids with the potential to produce biofuels and large-scale dietary supplements. The present study aims evaluates the role of organic solvents of non-polar and polar-protic types (ratio 1: 2) in the extraction and quantification of total lipids and fatty acid methyl esters (FAMES) of *Scenedesmus microalgae. sp.* The freeze-dried micro-algae samples were quantified by modified Blight & Dyer (B&D) and pretreated with hydrochloric acid 3 mol.L⁻¹ (with and without HCl). Chloroform was replaced by ethyl acetate, petroleum ether and ethyl ether and methanol by ethanol, Isopropanol and tert-butanol. The FAMES of the oils of each treatment, with or without addition of HCl, were quantified by gas chromatography. The results showed that the highest extraction of lipids and fatty acids with HCl in the treatments is explained by cell disruption and lipids release. The organic solvents and alcohols presented adequate efficiency in the presence of HCl, but petroleum ether and ethanol presented similar results to the B&D used as reference. In conclusion, the mixtures between the non-polar and protic polar solvents increased the extraction and the yields, especially when the petroleum ether or ethyl ether with ethanol (HCl), providing the unsaturated FAMES of neutral lipids.*

PALAVRAS-CHAVES:

Ácidos graxos, Rompimento celular, Constante dielétrica, Derivatização.

PALABRAS CLAVE:

Ácidos grasos, Rompimiento celular, Constante Dieléctrica, Derivatización.

KEYWORDS:

Fatty acids, Cell disruption, Dielectric constant, Derivatization.

INTRODUÇÃO

As microalgas são um conjunto heterogêneo de micro-organismos fotossintéticos unicelulares procariotes (cianobactérias) e eucariotes que habitam diversos ambientes como águas marinhas, doces, residuais, e o solo. Crescem em ampla faixa de temperatura, pH e disponibilidade de nutrientes. Estima-se que sejam responsáveis pela produção de 50% do oxigênio e pela fixação de 50% de dióxido de carbono no planeta. Possuem grande diversidade de espécies, sendo identificadas mais de 40.000, embora se estime que existam mais de 100.000 espécies. A maioria das espécies é desconhecida quanto à composição bioquímica e metabólica. As microalgas classificam-se de acordo com o tipo de pigmentação, ciclo de vida, morfologia e estrutura celular. As espécies mais estudadas para aplicações biotecnológicas referem-se às algas verdes e diatomáceas [1,2].

As microalgas são consideradas uma fonte de alimentação na indústria aquícola, com elevado teor de lipídios (12 a 51%), de proteínas (35 a 60%), pigmentos (8 a 12%), hidratos de carbono (17 a 25%) e outros constituintes bioativos utilizados na indústria de alimentos e farmacêutica [3,4]. As microalgas verdes são de fácil cultivo e produzem biomassa com rendimentos de cerca de 10 a 45 g de biomassa (seca-dia-m²) com produção anual de 1340 toneladas em peso seco e sem cinzas [5-7].

Os lipídios constituem um importante grupo de moléculas orgânicas, desempenhando funções vitais na organização e estrutura celular como; fonte de energia, sinalizador no controle celular e como receptor de outras macromoléculas em locais alvos específicos. As microalgas são capazes de sintetizar uma variedade de lipídios, incluindo dois grandes grupos; que são os estruturais e de armazenamento energético. Para o primeiro grupo são compostos principalmente de lipídios conjugados (fosfolipídios e glicolipídios) de membrana. Em quanto para o segundo grupo está representado pela forma de triacilgliceróis (TAGs) que podem ser convertidos em biodiesel como ésteres metílicos de ácidos graxos (FAMES sigla em inglês) pela transesterificação. As microalgas podem sintetizar e acumular lipídios até 20-50% do peso em matéria seca [1,8]. Os rendimentos de recuperação podem depender de diversos fatores como a espécie utilizada, condições de cultura (intensidade de luz temperatura e meio de crescimento) e meto-

dologias de extração [9]. A possibilidade de conversão de lipídios de microalgas em biodiesel levou ao aumento do número de pesquisas com a produção das microalgas. Isto induziu a busca por técnicas economicamente viáveis para processos industriais para obtenção de biocombustíveis [10,11]

A resistência das microalgas deve-se a uma espessa parede celular ultra rígida, que pode impedir a extração eficiente pelos solventes orgânicos dos componentes intracelulares e afetar a purificação [9]. Por isso, é importante se desenvolver técnicas preliminares e assistidas para se destruir a parede celular, romper a estrutura da microalga e liberar os componentes sem mudar suas estruturas químicas [7,12,13].

Os lipídios das microalgas são obtidos por técnicas preparativas e analíticas, entre as mais utilizadas são as extrações em frio com solventes orgânicos (apróticos e próticos), como as metodologias Bligh & Dyer 1959 (B&D) e Folch (1957) as mais citadas em trabalhos nesta área que como método alternativo apresenta as seguintes vantagens: menor utilização de volume de solvente, de fácil operação e menor toxicidade [14]. A metodologia inclui uma mistura binária entre um solvente polar (próticos) e apolar (apróticos), gerando duas fases: uma orgânica com os lipídios totais e a outra aquosa com proteínas, carboidratos, etc. [15,16] Esta técnica é baseada na utilização de um solvente apolar para extrair os lipídios neutros e esterificáveis e num álcool relativamente polar para os lipídios polares. No tanto, os valores da metodologia de Bligh & Dyer (1959) foram subestimados comparados aos de Folch (1957), em amostras de tecido marinho com mais 10% de lipídios [13]. Esta metodologia é muito testada em microalgas dulciaquícola e marinhas em diversas pesquisas [17], mas o solvente utilizado o clorofórmio apresentam algumas desvantagens como: é um solvente com efeitos adversos para a saúde humana e meio ambiente [9], além disso, sua estrutura química tem uma maior constante dielétrica (CD) e momento dipolar em comparação com outros solventes orgânicos de baixa polaridade com maior afinidade a lipídios não polares ou neutros (acilgliceróis).

O objetivo deste trabalho foi comparar o desempenho de extração de diferentes solventes alternativos em associação com HCl 3 mol.L⁻¹, para substituir a mistura por parte do clorofórmio como solvente orgânico apolar (acetato de etilo, éter de petróleo e éter etílico) ou o

metanol como solvente prótico polar (etílico, isopropílico e terc-butanol) pela metodologia B&D, determinando os rendimentos de recuperação de lipídios totais e identificar a composição de ácidos graxos dos óleos obtidos na microalga *Scenedesmus sp.*

MÉTODOS

Coleta do material biológico

A cepa de *Scenedesmus sp* BR003, foram obtidos na coleção da cianobactérias e microalga, da UCP/UFV do Departamento de Biologia Vegetal da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em Viçosa, Minas Gerais. As amostras foram inoculadas em Erlenmeyers de 50 mL utilizando meio de cultura BG11 com pH 6,5 ± 0,1, em condições fotoautotróficas de crescimento a 25°C; foto-período 16 (luz): 8 (escuro) h; irradiação 60 $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$. Quando os inóculos alcançavam concentrações entre 10^6 - 10^7 células/mL⁻¹, estes eram transferidos para Erlenmeyers de volume maior, e o volume completado com meio de cultura fresco (BG11) até a obtenção de 300 mL de inóculo.

Preparação da amostra

As amostras líquidas, inicialmente como biomassa líquida (cultivo), foram concentradas por centrifugação (Eppendorf 5430R) a 7000 xg, 10 minutos, a 5°C. O concentrado de células foi lavado com água deionizada (Millipore Direct-Q 3 UV), resuspendido em água e centrifugado a 2800 xg por três vezes. As amostras concentradas foram liofilizadas por 24 horas a -48°C (Liofilizador, terroni LS 3000, Brasil).

Extração de lipídios por screening de reagentes

Os tratamentos foram solventes orgânicos apolares (Tabela 1) e próticos polares (Tabela 2) com a metodologia de B&D modificado (clorofórmio-metanol-Água 1:2:0,8), com ou sem adição de HCl 3 mol·L⁻¹ (Vetec, 37%, Química Fina, Brasil). A quantidade de amostra para todos os tratamentos foi de 0,5 g de microalga liofilizada.

A biomassa liofilizada foi misturada e homogeneizada com 12,5 mL de solvente orgânico apolar, 25 mL do solvente prótico polar e 8 mL de água destilada. A mistura foi submetida a banho de ultrassom por 15 min, 50°C, 40 kHz (Ultracleaner, Brasil). E a fração orgânica extraída com um funil. A fase aquosa foi ex-

traída três vezes com a mesma mistura inicial, com agitação manual sem a etapa centrifugação. As fases orgânicas recolhidas foram passadas por papel filtro (Whatman®, número 1) com sulfato de sódio anidro (Vetec Química Fina). O solvente foi evaporado e os lipídios foram determinados por gravimetria.

Derivatização (HCl/metanol)

O perfil de ácidos graxos foi determinado [18] com 50 mg de óleo (misturados com e sem HCl 3 mol·L⁻¹) obtidos nos tratamentos com solventes orgânicos apolares e próticos polares, como o demonstra a figura 1.

Cromatografia em fase gasosa (CFG)

Os ácidos graxos foram determinados por cromatografia em fase gasosa (CFG) em cromatógrafo com as seguintes especificações e condições: cromatógrafo SHIMADZU 2010, coluna: Supelco (SGE HT-5 25 m x 0,32 mm x 0,25 μm), gás de arraste: hélio, direção de injeção: 270°C, 3,0 mL·min fluxo de injeção, fluxo da coluna: 6,57 mL/min ou 85,7 cm·seg. com pressão constante, programa de temperatura, inicia de 80°C por três minutos, e au-

Tabela 1. Solventes orgânicos apolares (acetato de etila, éter de petróleo e éteretílico) que substituíram o clorofórmio na metodologia B&D modificado.

Tratamentos	HCl 3 mol·L ⁻¹	Solventes Orgânicos Apolares		
		Acetato de etila	Éter de petróleo	Éteretílico
T1	x	x		
T2		x		
T3	x		x	
T4			x	
T5	x			x
T6				x

Tabela 2. Solventes próticos polares (etílico, isopropílico e tert-butanol) que substituíram o metanol na metodologia B&D modificado.

Tratamentos	HCl 3 mol·L ⁻¹	Solvente próticos Polares		
		Etanol	Isopropanol	Tertbutanol
T1	x	x		
T2		x		
T3	x		x	
T4			x	
T5	x			x
T6				x

mento até 330°C, com intervalos de 12°C por minuto e temperatura de 330°C por dois minutos, detector: FID, gás He (30 mL·min), H₂ fluxo 40 mL·min, fluxo de ar 400 mL·min, temperatura de 330°C. Os FAMES foram comparados com os tempos de retenção e as áreas dos picos dos padrões autênticos fragmentados e identificados cada ácido graxo recuperado, identificado e sua quantidade determinada por amostra [19]. Seis ácidos graxos (C16:0, C18:0, C18:1n9t, C18:1n9c, C18:2n6c, C18:3n6 e C20:0) foram usados como padrões externos.

Analise estatística

Os ésteres metílicos de ácidos graxos (FAMES) das amostras da microalga *Scenedesmus sp.*, foram obtidos em triplicata. O teor de lipídios totais extraídos pelo rompimento acida das células da microalga com os diferentes solventes (apolares e próticos polares) pela metodologia B&D que foram comparados por ANOVA de uma via e teste de Tukey, em nível de significância de $p < 0,05$.

RESULTADOS

As médias dos níveis independentes entre os solventes orgânicos e álcoois testados frente aos adicionados e não de HCl 3 mol·L⁻¹ diferiram de zero ($P < 0,05$) mostrando, pelo menos, um constaste. As interações desses níveis evidenciam uma dependência no comportamento nos teores de lipídios totais da microalga *Scenedesmus sp.* (Tabela 3).

Extração de lipídios por diferentes solventes orgânicos apolares e próticos polares.

HCl 3 mol·L⁻¹ como agente químico associado com a metodologia de B&D que utilizo clorofórmio, acetato de etilo, éter de petróleo e etílico como solventes orgânicos apolares, apresentaram os maiores rendimentos de extração de lipídios totais da microalga *Scenedesmus sp.*, comparados aos não adicionados. Os tratamentos com HCl 3 mol·L⁻¹ com solventes testados que foram com o éter de petróleo (22,7%) e etanol (21,4%), não apresentaram diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) na extração de lipídios comparada à metodologia de B&D (24,5%) como o descreve a figura 2.

A extração de lipídeos de *Scenedesmus sp.* com os solventes próticos polares (Etanol, Propanol e Terc-butanol) foi semelhante com os resultados dos solventes apolares com HCl 3 mol·L⁻¹ ou não, mas

Figura 1. Metodologia de derivatização de ácidos graxos da microalga *Scenedesmus sp.*

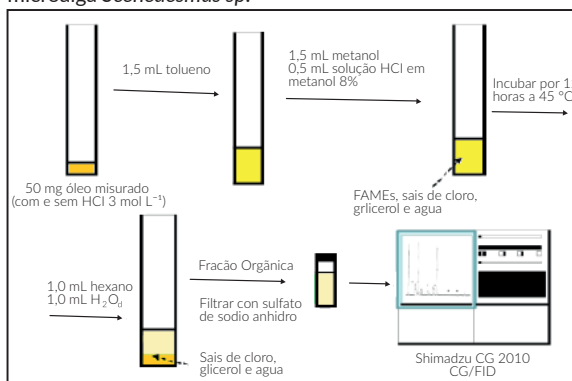


Tabela 3. Análise de variância dos parâmetros de solventes orgânicos apolares e próticos polares frente à influência do HCl 3 mol·L⁻¹, na extração de lipídios totais na microalga *Scenedesmus sp.*

Variáveis	GL	F	P
Bloco	2	0,96	0,4082*
Sol. Orgânicos	3	22,72	<0,001*
HCl	1	160,41	<0,001*
Sol x HCl	3	5,27	0,0121*

Variáveis	GL	F	P
Bloco	2	2,45	0,1220*
Álcoois	3	151,44	<0,001*
HCl	1	237,48	<0,001*
Álcool x HCl	3	32,44	<0,001*

(*) Significativo al nivel del 5% por el test F.

com maior recuperação lipídica na amostra liofilizada da microalga com etanol (24,14%) e sem diferenças comparados ao método de B&D com metanol (24,5%). Os tratamentos com isopropanol e terc-butanol apresentaram níveis baixos de extração de lipídios da microalga independentemente à adição ou não de HCl 3 mol·L⁻¹ (Figura 2).

Composição de Ácidos Graxos (AG)

O teor de ácidos graxos totais na microalga determinadas por cromatografia em fase gasosa (CFG) nos óleos obtidos com solventes orgânicos (apolares e próticos) pela metodologia B&D, ao ser utilizado clorofórmio (7,14 mg·g⁻¹) apresentou maior quantidade extraída em comparação com o éter etílico (6,2 mg·g⁻¹) sem diferença significativa ($P < 0,05$). Em quanto, para o éter de petró-

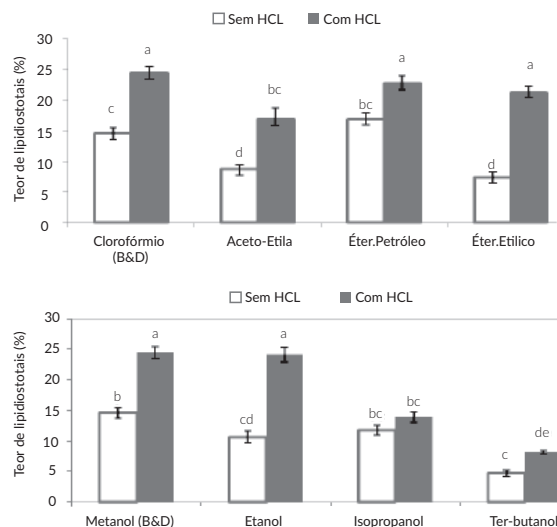
leo (11,95 mg·g⁻¹) evidencio o maior valor de extração e diferença significativa (P<0,05) frente clorofórmio e éter etílico como o evidencia a Tabela 4.

A utilização de solventes próticos polares mostrou maior eficiência na extração de ácidos graxos com a técnica B&D (7,14 mg·g⁻¹) semelhante ao uso do etanol (7,05 mg·g⁻¹) sem diferença significativa (P<0,05). O isopropanol (0,85 mg·g⁻¹) e terc-butanol (2,21 mg·g⁻¹) não apresentaram boa eficácia na extração de lipídios esterificáveis detectadas por CFG (Tabela 4).

DISCUSSÃO

A maior quantidade de lipídios totais de *Scenedesmus* sp. extraídos com solventes apolares e próticos polares com adição ou não de HCl 3 mol·L⁻¹ indica a eficácia do método químico para o rompimento celular da microalga (Figura 4). A primeira limitação para a extração dos lipídios de sítios intracelulares da microalga é o rompimento celular com baixo custo energético, eco-

Figura 2. Teor de lipídeos totais extraídos da microalga *Scenedesmus* sp. com solventes orgânicos apolares (Clorofórmio, Acetato de etila, Éter de Petróleo e etílico) e próticos polares (Metanol, Etanol, Isopropanol, Terc-butanol), com e sem HCl 3 mol·L⁻¹.



* Valores com mesmas letras sobscritas não diferem em nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Tabela 4. Quantidade de ácidos graxos extraídos com a metodologia Bligh & Dyer (B&D), solventes orgânicos (acetato de etila, éter de petróleo e etílico) e álcoois (etanol, isopropanol e terc-butanol) na microalga *Scenedesmus* sp.

QUANTIDADE DE ÁCIDOS GRAXOS mg·g ⁻¹ ÓLEO				
Ácidos graxos	B&D - Clorofórmio/ metanol (1:2)	B&D modificado com solventes orgânicos apolares		
		Acetato etila/metanol	Éter petróleo/metanol	Éter etílico/metanol
C16:0	2,80 (39,21%)	1,63 (49,24%)	4,85 (40,59%)	2,27 (35,69%)
C18:0	ND	ND	ND	ND
C18:1n9t	0,58 (8,12%)	ND	1,21 (10,13%)	0,82 (12,89%)
C18:1n9c	1,90 (26,62%)	1,60 (48,34%)	2,15 (17,99%)	1,45 (22,80%)
C:18:2n6c	0,30 (4,20%)	0,08 (2,43%)	1,98 (16,57%)	1,17 (18,40%)
C:18:3n6	1,56 (21,85%)	ND	1,76 (14,73%)	0,65 (10,22%)
Total	7,14 ^b (100%)	3,31 ^c (100%)	11,95 ^a (100%)	6,36 ^b (100%)
AGI	59,89 ^c %	50,77 ^d %	59,41 ^c %	64,31 ^b %
B&D modificado com solventes próticos polares				
Ácidos graxos	B&D - Clorofórmio/ Metanol (1:2)	Clorofórmio/Etanol	Clorofór Iso-propanol	Clorofórm/Terc-butanol
C16:0	2,80 (39,21%)	2,60 (36,88%)	0,49	0,54
C18:0	ND	ND	ND	ND
C18:1n9t	0,58 (8,12%)	0,47 (6,67%)	0,08	ND
C18:1n9c	1,90 (26,62%)	1,50 (21,28%)	0,28	1,67
C:18:2n6c	0,30 (4,20%)	1,87 (26,52%)	ND	ND
C:18:3n6	1,56 (21,85%)	0,61 (8,65%)	ND	ND
Total	7,14 ^b (100%)	7,05 ^b (100%)	0,85 ^d	2,21 ^c
AGI	59,89 ^c %	63,12 ^a %	42,3 ^d %	75,6 ^a %

AGI = Ácidos graxos Insaturados. B&D: Bligh & Dyer.

Médias seguidas por mesma letra no total não diferencem pelo teste de Tukey (p < 0,05).

nômico, redução de gasto de reagentes e extração de contaminantes (clorofilas e/ou DNA) nos óleos [20]. Isto torna necessário decompor a parede celular por métodos físico como homogeneização (alta pressão), banho ultrassom, sonicação, micro-ondas, contato com elementos abrasivos e pressurização ou métodos enzimáticos com lipases e proteases [8]. Os mecanismos dessas técnicas são diferentes, mas todas visam liberar os lipídios no citoplasma da célula, mas os solventes orgânicos (apróticos e próticos) não têm capacidade adequada para penetrar ou dissolver as paredes celulares das células vegetais [7,21].

A metodologia B&D o clorofórmio como solvente apolar extrator, mais com a presença de metanol que formara em primeira etapa um sistema monofásico e logo com adição de água, o sistema será bifásico com a separação dos compostos polares e não polares nas fases superior e inferior respectivamente [14,22]. Para o sistema B&D apresentou a maior porcentagem de extração de lipídios, inclusive com os tratamentos com éter de petróleo e éter etílico. O aumento na extração é atribuído ao clorofórmio pela maior polaridade maior como sua constante dielétrica (CD. 4,81) comparado ao éter de petróleo (CD 1,44 a 1,88) e éter etílico (CD. 4,3), de baixa polaridade e CD menor que o do clorofórmio. Isto permite extrações com os éteres (petróleo e etílico) em especial de petróleo por recuperar os lipídios neutros esterificáveis (mono, di, tri-gliceróis) e ácidos graxos livres de baixa polaridade. Extrações de lipídios com clorofórmio (B&D) pode superestimar os teores de lipídios quando acima de 2% no tecido animal [23], pois este solvente pode extrair lipídios de media e alta polaridade como fosfolipídios, lipoproteínas, glicolipídios e esfingolipídios [24].

A cor de fração orgânica (extrato lipídico), reage com a biomassa liofilizada da microalga *Scenedesmus sp.* pela metodologia Bligh & Dyer 1959 (B&D), mostrou cor verde escura com e sem HCl 3 mol·L⁻¹. (Figura 5) e, possivelmente corantes como as clorofilas podem estar presentes como contaminante no lipídio, pois uma mistura de clorofórmio-metanol foi utilizada para a extração de clorofilas [20,25]. A extração simultânea de clorofilas e lipídios de interesse para se obter ácidos graxos (insaturados) puros para a produção de biocombustíveis e suplementos alimentares (ômega ω-3, 6, 9) mostrou teores de clorofilas entre 1 a 25% da massa lipídica [26].

Figura 4. Células da microalga *Scenedesmus sp.* a: células testemunhas. b: células após da aplicação de HCl 3 mol·L⁻¹. (microscopia ótica; Carl Zeiss IX51; 100x).

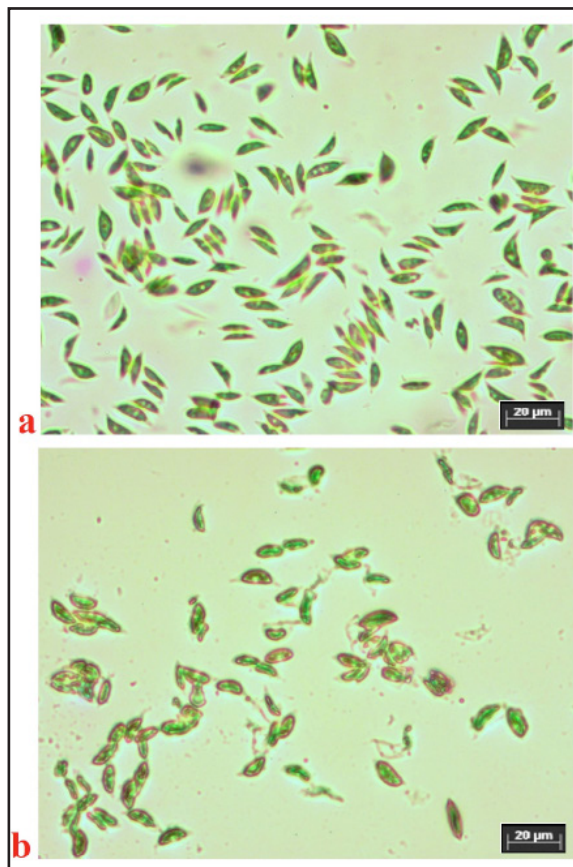
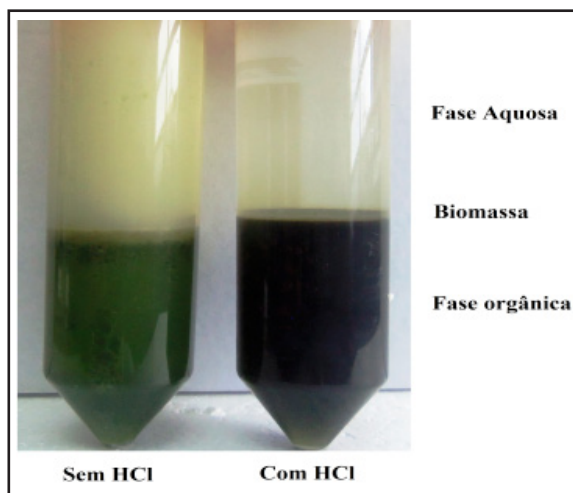


Figura 5. Distribuição da coloração das fases (orgânica e aquosa) e biomassa da microalga *scenedesmus sp.* na extração de lipídios pela metodologia Bligh & Dyer 1959 (clorofórmio/metanol).



A utilização de etanol em substituição do metanol nos ensaios para a extração de lipídios da microalga *Scenedesmus sp.* com a metodologia B&D com adição de HCl 3 mol·L⁻¹ não mostrou diferenças comparado ao método padrão com metanol. Os Isopropanol e terc-butanol apresentaram baixa capacidade extratora com diferenças com metanol e etanol ($p < 0,05$). O álcool, em qualquer metodologia de extração, tem a função de romper as ligações covalentes que retêm os lipídios com proteínas e carboidratos em forma de lipoproteínas e glicolipídios, respectivamente [27]. Os resultados com o etanol foram melhores que com metanol, mesmo com semelhança em algumas propriedades químicas (solubilidade, constante dielétrica e momentos dipolares) e formulas estruturais entre esses compostos, que diferem, apenas, na presença de um carboneto. As propriedades desses dois álcoois incluem a extração de compostos de alta e mediana polaridade em sistemas bifásicos, como na extração de lipídios com a separação de contaminantes (corantes, proteínas e carboidratos) que ficam na fase aquosa no sistema e não interferindo na quantificação da fração orgânica [24,25].

Na tabela 4 evidencia-se a presença de ácido palmítico C16:0, que corresponde à maior quantidade de ácidos graxos saturados (AGS) identificado (padrão externo) na microalga estudada, nas amostras submetidas nos solventes orgânicos e álcoois. Para a indústria dos biocombustíveis quantidades apreciáveis de AGS são desejadas. O ácido palmítico confere ao óleo resistência à degradação oxidativa em condições de altas temperaturas e, portanto, aumenta seu tempo de armazenamento [28]. Ao contrário, AGS não são desejados em aditivos destinados à indústria de alimentos funcionais porque, em estudos prévios, estes AGS foram relacionados ao aumento dos níveis de LDL no organismo, aumentando os riscos de desenvolvimento de doenças coronarianas [29].

Ácidos graxos (AG) de origem vegetal de natureza insaturada como oleico (C18:1n6c), linoleico, (C18:2n6c) e α e γ -linolênico (C18:3n6) são importantes para as indústria dos alimentos visando a obtenção de compostos tipo ômega (ω -3, 6 e 9) para suplementos alimentares funcionais e nutracêuticos [30,31] e para o setor da bioenergia como matéria prima para a produção de biocombustíveis especialmente o biodiesel [32]. Ácidos graxos (AG) da microalga *Scenedesmus sp.* analisados por CFG e extraídos

com solventes apolares e próticos polares (álcoois) relatou a presença de ácidos graxos de tipo insaturado como majoritários nos óleos extraídos. A maior quantidade de ácidos graxos extraídos nos primeiros ensaios com éter de petróleo apresenta resultados diferentes ($P < 0,05$) aos dos outros solventes apolares testados, incluindo o clorofórmio que é utilizado na técnica padrão (B&D) indicando que o éter de petróleo tem uma maior capacidade de extração de lipídios de baixa polaridade, especialmente neutros (mono, di, tri acilgliceróis) trans-esterificáveis associados com ácidos graxos de cadeia saturada e insaturada. Na tabela 4 reporta os teores totais de ácidos graxos de natureza insaturada (AGI) recuperados com o éter de etílico que mostrou maior porcentagem em composição (64,31%) seguida pelo clorofórmio (59,89%) e éter de petróleo (59,41%), e por último o acetato de etila (59,41%) evidenciando também a quantidade mais baixa extraída no total (3,31 mg·g⁻¹ m.s.).

A quantidade total AG totais extraídos entre o metanol (B&D) e etanol apresenta diferença ($P < 0,05$), que para o segundo teve um maior porcentagem de extração de ácidos graxos de natureza insaturada (63,12%) que a comparação com metanol apresenta o valor de 59,89% AGI, mas estes não apresentaram diferença ($P < 0,05$) nos valores de extração total de AG (mg·g⁻¹). O isopropanol e o terc-butanol contiveram o 42,3 e 75,6% de ácidos insaturados respectivamente, mas sua extração total foi baixa de 0,85 e 2,21 mg·g⁻¹ m.s. respectivamente. Os ácidos oleico (C18:1n6c), linoleico (C18:2n6c) e linolênico (C18:3n6c) foram mais predominantes em todos os tratamentos com a microalga *Scenedesmus sp.* utilizando-se os solventes como com solventes próticos polares (etanol e metanol). A presença dos ácidos graxos de tipo ômega-3 (linolênico), ômega 6 (linoleico) e ômega 9 (oleico) apresentam uma série de propriedades anti-inflamatórias, antitrombóticas, antiarrítmicos, vasodilatadores e precursor de ácidos graxos de cadeia longa. Esses efeitos benéficos foram demonstrados na prevenção de doenças cardíacas, da hipertensão, do diabetes tipo 2, da artrite reumatoide entre outras quando são utilizados em alimentos funcionais e nutracêuticos [33]. Na indústria energética a utilização de óleos com altas quantidades de ácido oleico apresentam boas propriedades de equilíbrio para a fabricação de biocombustíveis [34]. Essas propriedades incluem qualidade de ignição, combustão em calor, redução do ponto de obstrução de filtro frio

em regiões frias (CFPP sigla em inglês), estabilidade oxidativa, viscosidade, lubrificação e número de cetano determinadas pelas estruturas dos componentes de ésteres graxos [32,35]. O ótimo equilíbrio no teor de ácidos graxos insaturados/saturados nos óleos da microalga com solventes orgânicos apróticos (éter de petróleo ou etílico) e próticos (etanol) representa uma alternativa adequada para a produção de biodiesel com padrão de boa qualidade.

CONCLUSÃO

A otimização dos rendimentos de extração de lipídios totais da microalga *Scenedesmus sp.*, com HCl 3 mol·L⁻¹ variou com os reagentes testados, especialmente com éter (petróleo e etílico) como solvente orgânico apolar e o prótico polar (etanol) para álcoois. Os teores aumentaram com a disponibilização de lipídios intracelulares pelo rompimento da parede celular. Isto possivelmente disponibilizo a produção de ácidos graxos metil-esterificáveis de tipo saturados (palmitico) e insaturados (ácido oleico, linoleico e linolênico) pela derivatização (HCl/metanol) dos óleos obtidos como lipídios neutros (acilgliceróis) como constituintes majoritários presentes no interior da célula. O perfil de ácidos graxos determinada na microalga *scenedesmus sp.* a potencializa a produção desta espécie como fonte promissória de terceira geração de compostos bioativos (ácidos graxos essenciais tipo ômega) utilizáveis no desenvolvimento industrial na indústria da nutrição humana, animal e dos biocombustíveis. Além disso, em apresentar novas opções em metodologias que utilize reagentes com atividade química melhor ou semelhantes para a extração de metabolitos primários ou secundários em amostras biológicas, que contribuía na segurança em laboratório com utilização de solventes (apróticos e/ou próticos) de baixa toxicidade para o operador e/ou meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- [1] RAVINDRAN, B. *et al.* Recent Advances and Future Prospects of Microalgal Lipid Biotechnology, in: S.K.G. · A. Malik, Faizal Bux (Orgs.) Springer (Switzerland): 2017, p. 207–219, doi:10.1007/s11120-013-9828-z.
- [2] ALASWAD, A., DASSISTI, M., PRESCOTT, T. and OLABI, A.G. Technologies and developments of third generation biofuel production. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 51, 2015, p. 1446–1460, doi:10.1016/j.rser.2015.07.058.
- [3] NAVARRO, F. *et al.* Microalgae as a safe food source for animals: Nutritional characteristics of the acidophilic microalga *Coccomyxa onubensis*. *Food and Nutrition Research*, 60, 2016, doi:10.3402/fnr.v60.30472.
- [4] ECONOMOU, C.N. *et al.* Lipid production by the filamentous cyanobacterium *Limnothrix sp.* growing in synthetic wastewater in suspended -and attached- growth photobioreactor systems. *Annals of Microbiology*, 65, 2015, p. 1941–1948, doi:10.1007/s13213-014-1032-7.
- [5] SINGHASUWAN, S. *et al.* Carbon to nitrogen ratio affects the biomass composition and the fatty acid profile of heterotrophically grown *Chlorella sp.* TISTR 8990 for biodiesel production. *Journal of Biotechnology*, 216, 2015, p. 169–177, doi:10.1016/j.jbiotec.2015.10.003.
- [6] JONES, Y. *et al.* Process Design and Economics for the Conversion of Algal Biomass to Hydrocarbons : Whole Algae Hydrothermal Liquefaction and Upgrading. Richland, WA (US): 2014, doi:10.2172/1126336.
- [7] KIM, D.Y. *et al.* Oh, Cell-wall disruption and lipid / astaxanthin extraction from microalgae : *Chlorella* and *Haematococcus*. *Bioresource Technology*, 199, 2016, p. 300–310, doi:10.1016/j.biortech.2015.08.107.
- [8] BYREDDY, A.R. *et al.* Comparison of cell disruption methods for improving lipid extraction from *thraustochytrid* strains. *Marine Drugs*, 13, 2015, p. 5111–5127, doi:10.3390/md13085111.
- [9] ONAY, M. *et al.* Evaluation of Various Extraction Techniques for Efficient Lipid Recovery from Thermo-Resistant Microalgae, *Hindakia*, *Scenedesmus* and *Micractinium* Species. *American Journal of Analytical Chemistry*, 7, 2016, p. 141–150, doi:10.4236/ajac.2016.72012.
- [10] DEMIRBAS, A. Use of algae as biofuel sources. *Energy Conversion and Management*, 51, 2010, p. 2738–2749, doi:10.1016/j.enconman.2010.06.010.
- [11] ABOIM, J.B. *et al.* Determination of biodiesel properties based on a fatty acid profile of eight Amazon cyanobacterial strains grown in two different culture media. *RSC Advances*, 6, 2016, p. 109751–109758, doi:10.1039/C6RA23268J.

- [12] FAROOQ, W. *et al.* Energy efficient process for microalgae cell disruption for oil recovery using triiodide resin. *Algal Research*, 13, 2016, p. 102–108, doi:10.1016/j.algal.2015.11.007.
- [13] LAGE, S. and GENTILI, F.G. Quantification and characterisation of fatty acid methyl esters in microalgae: Comparison of pretreatment and purification methods, *Bioresource Technology*, 257, 2018, p. 121–128, doi:10.1016/j.biortech.2018.01.153.
- [14] BREIL, C. *et al.* “Bligh and Dyer” and Folch methods for solid–liquid–liquid extraction of lipids from microorganisms. *Comprehension of solvation mechanisms and towards substitution with alternative solvents. International Journal of Molecular Sciences*, 18, 2017, p. 1–21, doi:10.3390/ijms18040708.
- [15] GRIFFITHS, M.J., VAN HILLE, R.P. and HARRISON, S.T.L. Selection of direct transesterification as the preferred method for assay of fatty acid content of microalgae. *Lipids*, 45, 2010, p. 1053–60, doi:10.1007/s11745-010-3468-2.
- [16] LEE, J.Y. *et al.* Comparison of several methods for effective lipid extraction from microalgae. *Bioresource Technology*, 101, Suppl 2010, p. S75–7, doi:10.1016/j.biortech.2009.03.058.
- [17] WU, J. *et al.* Enhanced extraction of lipids from microalgae with eco-friendly mixture of methanol and ethyl acetate for biodiesel production. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 71, 2017, p. 323–329, doi:10.1016/j.jtice.2016.12.039.
- [18] ICHIHARA, K. *et al.* Fatty acid analysis of triacylglycerols: Preparation of fatty acid methyl esters for gas chromatography, *Anal. Biochem.* 495 (2016) 6–8. doi:10.1016/j.ab.2015.11.009.
- [19] XU, N. *et al.* Effects of nitrogen source and concentration on growth rate and fatty acid composition of *Ellipsoidion sp* (Eustigmatophyta). *Journal of Applied Phycology*, 13, 2001, p. 463–469.
- [20] ANGLES, E. *et al.* Wet lipid extraction from the microalga *Nannochloropsis sp.*: Disruption, physiological effects and solvent screening. *Algal Research*, 21, 2017, p. 27–34, doi:10.1016/j.algal.2016.11.005.
- [21] ARAUJO, G.S. *et al.* Extraction of lipids from microalgae by ultrasound application: prospection of the optimal extraction method. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20, 2013, p. 95–8, doi:10.1016/j.ultsonch.2012.07.027.
- [22] AXELSSON, M. and GENTILI, F. A single-step method for rapid extraction of total lipids from green microalgae. *PLoS One*, 9, 2014, p. 17–20, doi:10.1371/journal.pone.0089643.
- [23] IVERSON, S.J., LANG, S.L.C. and COOPER, M.H. Comparison of the Bligh and Dyer and Folch Methods for Total Lipid Determination in a Broad Range of Marine Tissue. *Lipids*, 36, 2001, p. 1283–1287.
- [24] SANTANA, A., FERRAZ, L. and MARISA, B. Extraction Methods And Quality Of the Lipid Fraction Of Vegetable And Animal Samples. *Quimica Nova*, 32, 2009, p. 849–854.
- [25] ARCHANAA, S., MOISE, S. and SURAISHKUMAR, G.K. Chlorophyll interference in microalgal lipid quantification through the Bligh and Dyer method. *Biomass and Bioenergy*, 46, 2012, p. 805–808, doi:10.1016/j.biombioe.2012.07.002.
- [26] LI, T. *et al.* A saponification method for chlorophyll removal from microalgae biomass as oil feedstock. *Marine Drugs*, 14, 2016, p. 1–19, doi:10.3390/md14090162.
- [27] MANIRAKIZA, P., COVACI, A. and SCHEPENS, P. Comparative Study on Total Lipid Determination using Soxhlet, Roesse-Gottlieb, Bligh & Dyer, and Modified Bligh & Dyer Extraction Methods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 14, 2001, p. 93–100, doi:10.1006/jfca.2000.0972.
- [28] TALEBI, A.F. *et al.* Fatty acids profiling: A selective criterion for screening microalgae strains for biodiesel production. *Algal Research*, 2, 2013, p. 258–267, doi:10.1016/j.algal.2013.04.003.
- [29] WHO/FAO. Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Disease. Geneva (Italia): 2003.
- [30] GUEDES, A.C. Fatty acid composition of several wild microalgae and cyanobacteria, with a focus on eicosapentaenoic, docosahexaenoic and α -linolenic acids for eventual dietary uses. *Food Research International*, 44, 2011, p. 2721–2729, doi:10.1016/j.foodres.2011.05.020.
- [31] BAUMGARDT, F.J.L. *et al.* Lipid content and fatty acid profile of *Nannochloropsis oculata* before and after extraction with conventional solvents and/or compressed fluids. *Journal of Supercritical Fluids*, 108, 2016, p. 89–95, doi:10.1016/j.supflu.2015.11.003.
- [32] KNOTHE, G. A technical evaluation of biodiesel from vegetable oils vs. algae. Will algae-derived biodiesel perform?. *Green Chemistry*, 13, 2011, p. 3048, doi:10.1039/c0gc00946f.
- [33] RUBIO-RODRÍGUEZ, N. *et al.* Production of omega-3 polyunsaturated fatty acid concentrates: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11, 2010, p. 1–12, doi:10.1016/j.ifset.2009.10.006.

- [34] SOCCOL, C.R. *et al.* Pilot scale biodiesel production from microbial oil of *Rhodospiridium toruloides* DEBB 5533 using sugarcane juice: Performance in diesel engine and preliminary economic study. *Bioresource Technology*, 223, 2017, p. 259–268, doi:10.1016/j.biortech.2016.10.055.
- [35] ISLAM, M.A. *et al.* Combustion analysis of microalgae methyl ester in a common rail direct injection diesel engine. *Fuel*, 143, 2015, p. 351–360, doi:10.1016/j.fuel.2014.11.063.

Propiedades funcionales de almidones de ñame (*Dioscorea alata*)

Funtional properties of starch yam (*Dioscorea alata*)

Propriedades funcionais do amido de inhame (*Dioscorea alata*)

JAIRO SALCEDO-MENDOZA¹, CARLOS GARCÍA-MOGOLLÓN²,
DAVID SALCEDO-HERNÁNDEZ³

RESUMEN

El ñame es un producto característico de la costa Caribe colombiana. El desconocimiento de las propiedades fisicoquímicas del ñame, ha restringido el uso del producto a consumo en fresco y preparaciones tradicionales. La industria de alimentos se encuentra en la búsqueda de almidones nativos que presenten ciertas propiedades específicas de resistencia a altas temperaturas deterioren la estructura del gel de almidón y posibiliten la producción de almidones resistentes. Se estudiaron las propiedades fisicoquímicas, y comportamiento reológico de cinco variedades de ñame (D. alata) (9506-027, 9403-001, 9605-047, 9506-021 y 9506-025) obtenidas del banco de germoplasma de la universidad de Córdoba (Colombia). El contenido de amilosa de los almidones estudiados, estuvieron entre 23,2 y 25,6 p/p. Algunas

Recibido para evaluación: 18 de Febrero de 2017.

Aprobado para publicación: 26 de Julio de 2018.

- 1 Universidad de Sucre, Programa de Ingeniería Agroindustrial, Grupo de Investigación PADES. Ph.D. Sincelejo, Colombia.
- 2 Universidad de Sucre, Programa de Ingeniería Agroindustrial, Grupo de Investigación PADES. MSc. Sincelejo, Colombia.
- 3 Universidad de Córdoba, Programa de Ingeniería de Alimentos. Esp. Evaluación Socio Económica de Proyectos. Montería, Colombia.

Correspondencia: jairo.salcedo@unisucra.edu.co.

variedades presentaron valores de capacidad de retención de agua superiores al 100%, posibilitando su uso en la industria alimentaria, dirigido a la producción de productos cárnicos. Todas las variedades presentaron valores bajos de conductividad eléctrica, menores de 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Las viscosidades más altas durante el proceso de calentamiento y enfriamiento son registradas por las variedades 9506-027 y 9403-001, por lo que serían útiles como espesantes para productos alimentarios. Las temperaturas de gelatinización presentadas por los almidones de *D. alata* generalmente están por encima de 83°C y se comportaron como fluidos no newtonianos

ABSTRACT

Yam is a characteristic product of the Colombian Caribbean coast. Ignorance of the physicochemical properties of yams has restricted the use of the product to fresh consumption and traditional preparations. The food industry is in search of native starches that have certain specific properties of resistance to high temperatures that deteriorate the structure of the starch gel and facilitate the production of resistant starches. The physicochemical properties and rheological behavior of five varieties of yam (*D. alata*) (9506-027, 9403-001, 9605-047, 9506-021 and 9506-025) obtained from the germplasm bank of the University of Córdoba were studied. (Colombia). The amylose content of the starches studied was between 23,2 and 25,6 w/w. Some varieties presented water retention capacity values above 100%, making it possible to use them in the food industry, aimed at the production of products. All the varieties presented low values of electrical conductivity, lower than 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$. The highest viscosities during the heating and cooling process are registered by the varieties 9506-027 and 9403-001, so they would be useful as thickeners for food products. The gelatinization temperatures presented by *D. alata* starches are generally above 83°C and behaved as non-Newtonian fluids.

RESUMO

O inhame é um produto característico da costa do Caribe colombiano. A ignorância das propriedades físico-químicas do inhame restringiu o uso do produto ao consumo in natura e às preparações tradicionais. A indústria alimentícia está em busca de amidos nativos que possuem certas propriedades específicas de resistência a altas temperaturas que deterioram a estrutura do gel de amido e facilitam a produção de amidos resistentes. Foram estudadas as propriedades físico-químicas e o comportamento reológico de cinco variedades de inhame (*D. alata*) (9506-027, 9403-001, 9605-047, 9506-021 e 9506-025) obtidas do banco de germoplasma da Universidade de Córdoba. (Colômbia). O teor de amilose dos amidos estudados foi entre 23,2 e 25,6 p/p. Algumas variedades apresentaram valores de capacidade de retenção de água acima de 100%, posibilitando sua utilização na indústria de alimentos, visando a produção de produtos. Todas as variedades apresentaram baixos valores de condutividade elétrica, inferiores a 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$. As maiores viscosidades durante o processo de aquecimento e resfriamento são registradas pelas variedades 9506-027 e 9403-001, então elas seriam úteis como espessantes para produtos alimentícios. As temperaturas de gelatinização apresentadas pelos

PALABRAS CLAVES:

D. alata, Pseudoplástico, Reología, Gelatinización, Capacidad de retención de agua.

KEY WORDS:

D. alata, Pseudoplastic, Rheology, Gelatinization, Water holding capacity.

PALAVRAS-CHAVE:

D. alata, Pseudoplástico, Reologia, Gelatinização, Capacidade de retenção de água.

amidos de D. alata são geralmente superiores a 83°C e comportam-se como fluidos não newtonianos.

INTRODUCCIÓN

El ñame, es un cultivo de pequeños y medianos agricultores que constituye en muchas regiones de Colombia, la principal fuente de empleo rural y oferta de alimento a sus pobladores. En Colombia, se cultivaron alrededor de 314991 toneladas en el año 2013, con un rendimiento de 10,7 toneladas por hectárea sembrada [1]. La estructura y propiedades físico químicas de almidones de tubérculos y raíces han sido estudiadas extensivamente [2]; sin embargo, poca atención se ha prestado a especies de ñame (*Dioscorea* spp). En la Costa Atlántica existen cinco especies de ñame: el ñame criollo (*D. alata*), ñame espino (*D. rotundata*), ñame papa (*D. bulbífera*), ñame azúcar (*D. esculenta*) y ñampin (*D. trifida*), entre las cuales se encuentran más de 100 variedades siendo *D. alata* y *D. rotundata* las de mayor consumo. El ñame es un producto característico de la franja del trópico y forma parte de la dieta diaria de las personas que viven en estas regiones. El desconocimiento de las propiedades fisicoquímicas del ñame, ha restringido el uso del producto a consumo en fresco y preparaciones tradicionales [3].

Actualmente, la industria de alimentos se encuentra en la búsqueda de almidones nativos que presenten ciertas propiedades específicas de tolerancia a diferentes tratamientos industriales estresantes que deterioren la estructura del gel de almidón, como, por ejemplo: resistencia a la acidez, resistencia a la esterilización y esfuerzos mecánicos y térmicos [2, 4]. Las harinas y almidones obtenidos a partir de diferentes variedades de ñame presentan ciertas propiedades funcionales, entre las cuales se destacan la ausencia de un máximo de viscosidad, la estabilidad de las suspensiones a elevadas temperaturas y bajos valores de pH, que podrían ser utilizados en la elaboración de productos que deben mantener su viscosidad estable durante una fase de calentamiento constante, como, por ejemplo, las mezclas para sopas y pudines instantáneos [5, 6]. Los procesos de transformación de ñame son escasos, el 78% de la producción de ñame en Colombia está destinado al consumo en fresco desconociéndose sus aplicaciones industriales. Lo anterior es causado por la falta de investigaciones orientadas a la valoración del ñame como materia prima agroindustrial [7], teniendo en cuenta la estimación de sus propiedades fisicoquímicas,

que permitan resolver interrogantes como: cuales pueden ser las aplicaciones de los almidones de las variedades de la especie *Diocorea alata*, que puedan generar un valor agregado al producto.

En este estudio se evaluaron las propiedades fisicoquímicas y funcionales como capacidad de retención de agua, solubilidades, conductividad eléctrica, sinéresis, contenido de amilosa y comportamiento reológico de los almidones nativos de las variedades de ñame *D. alata* 9506-027, 9403-001, 9605-047, 9506-021 y 9506-025 para valorarlos como materia prima en aplicaciones industriales alimentarias y no alimentarias, que contribuya a evitar la desaparición del germoplasma de estas variedades, por falta de alternativas de comercialización y agroindustrialización viables que incentiven su cultivo en Colombia.

MÉTODO

Los rizomas de ñame *D. alata*, rotulados como 9506-027, 9403-001, 9605-047, 9506-021 y 9506-025 que pertenecen al banco de germoplasma de la Costa Atlántica Colombiana que comprenden los departamentos de Córdoba, Sucre y Bolívar fueron suministrados por la Universidad de Córdoba, Colombia. La obtención del almidón de ñame se realizó en forma manual y consistió en el lavado, pelado, rallado de los rizomas, extracción con agua, sedimentación y secado artificial. El material rallado se suspendió en una solución de amoníaco (0,03 M) con el objetivo de retirar los mucílagos [8]. El almidón se secó a 40°C hasta que se obtuvo una humedad de 10 - 12% en base seca.

Análisis proximal

Se utilizaron métodos basados en las normas AOAC de los Métodos Oficiales de Análisis [9]. La determinación de cenizas según método 945.45; humedad por el método 925.10; extracto etéreo método 7.060, 920.39; proteína total según método Kjeldahl 2001.11 y fibra bruta por el método 930.20. El contenido de amilosa se determinó por la norma ISO 6647-1 [10].

Determinación de propiedades físicas y funcionales

Capacidad de retención de agua (CRA). En un tubo de centrifuga graduado previamente pesado, se depositó aproximadamente un gramo (1,0 g) de mues-

tra, se adicionaron 10 mL de agua destilada y se agitó con suavidad hasta homogenizar. Luego se deja reposar y centrifuga a 3500 rpm durante 15 min. El líquido sobrenadante es decantado y el tubo con el precipitado se drena, durante 10 minutos para luego ser pesado. La ganancia en masa, es la capacidad de absorción de agua de la muestra.

pH y conductividad eléctrica. Al sobrenadante de suspensiones acuosas al 10% (p/v) de almidón, se le determinó el pH y la conductividad eléctrica, usando un pHmetro 691 Metroh y un conductímetro multi-parámetro WTW Multi 340i.

Solubilidad. En la cuantificación de la solubilidad en agua fría y caliente se preparó una muestra de 15 g de suspensión de almidón al 10% (p/v), se agitó manualmente en un tubo de ensayo, seguido de una centrifugación a 3500 rpm por 15 min a 30°C, 50°C y 70°C. La masa de líquido sobrenadante se pesó, se transfirieron 5 g a una cápsula de porcelana y se procedió al secado en una estufa con recirculación de aire a 105°C hasta peso constante, la solubilidad se determinó por la ecuación (Ec.1):

$$\text{Solubilidad} = \frac{\text{Masa sólida en la capsula} \times \text{Muestra de sobrenadante a secar} \times \text{Masa total de almidón en la suspensión}}{\text{Muestra de sobrenadante}} \times 100 \quad (\text{Ec.1})$$

Características reológicas de suspensiones de almidón. Se prepararon suspensiones de almidón al 8% (p/v), el comportamiento reológico fue determinado con un viscosímetro Haake Rotovisco RV20, aplicando deformaciones cada 50 rpm en un rango de 50 rpm hasta 500 rpm, en forma ascendente y luego en forma descendente, tomándose lecturas de la tensión tangencial (τ) a intervalos de tiempo de un minuto. Las lecturas de esfuerzo cortante se hicieron a 50°C y 70°C.

Comportamiento de la pasta en frío y caliente. Se prepararon suspensiones con 8% (p/v) de almidón, se midió de manera continua la viscosidad durante su cocción y enfriamiento en un viscosímetro (Haake Rotovisco RV20). La suspensión de almidón, se calentó en la cápsula del sistema, con un sensor NV agitando a velocidad constante (350 rpm) hasta 50°C a una velocidad de calentamiento de aproximadamente 1,5°C min⁻¹. Seguidamente, se llevó a 90°C por 20 min, se enfrió hasta 50°C a una velocidad de 1,5°C min⁻¹, per-

maneciendo a 50°C por 20 min. Información que es utilizada para la construcción de los viscoamilogramas.

Resistencia a la congelación. En la evaluación de la resistencia a la congelación, se prepararon geles al 2% (p/v) de almidón, se empacaron en bolsas plásticas, luego se congelaron a -10°C durante dos semanas. En tubos de ensayo se depositaron 5 g de gel, se centrifugaron a 360 rpm durante 15 min para medir la sinéresis. La sinéresis fue determinada como el porcentaje de la ración de masa separada del líquido en la porción de gel inicial.

Diseño experimental

Se aplicó un diseño experimental completamente al azar con arreglo unifactorial categórico con cinco niveles correspondientes a las especies de ñame (9506-027, 9403-001, 9605-047, 9506-021 y 9506-025) y tres repeticiones para un total de 15 unidades experimentales. Para el análisis de medias, se utilizó el test de Tukey con diferencias significativas a un nivel del 5%, mediante el software Statgraphic Plus versión 5.0.

RESULTADOS

Análisis proximal

Los resultados del análisis proximal en base seca (Cuadro 1) indican que existieron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los componentes de los almidones nativos de *D. alata*, que presentan una pureza entre 92 y 96%, resultado próximo al 94,0% reportado por Hurtado *et al*; Hurtado y Dufour [11] y al de ñame *D. trifida* (91,45%) [12] e inferiores al ñame comercial, blanco y púrpura con resultados entre 99,71 a 99,9% [13].

El valor del contenido de amilosa mostró diferencias significativas ($P < 0,05$), entre todas las variedades estudiadas y su valor es comparado con almidones de ñame *D. alata* cv Diamante 22 (22,26%) y yuca con un valor del 17,93% [14] y a los reportados para *Dioscorea sp* por [15, 16]. El contenido de amilosa en la variedad *D. alata* es alto comparado con las especies de ñame *D. trifida* y *D. esculenta* que le otorgan al almidón características de geles y lo hace adecuado para modificaciones enzimáticas que permitan obtener geles termorreversibles y resistentes [17, 18]. Por lo general almidones con bajo contenido de ami-

losa son más cristalinos y digestibles, mientras que almidones con alto contenido a amilosa son menos susceptibles a la degradación enzimática. Además, la digestibilidad depende del tipo de cristalinidad del almidón, que para el caso del ñame es tipo B, que los potencializa hacia el desarrollo de almidones resistentes [19, 20, 21]. Se observa que los valores nutricionales (proteína, extracto etéreo, fibra y cenizas) son bastante bajos, debido a que gran parte se pierde durante el proceso de extracción.

Propiedades funcionales

En el (Cuadro 2), se observa que la CRA varían significativamente ($P<0,05$) y es menor a la reportada por Espitia y Salcedo [6] en almidones de *D. Bulbifera*, *D. Trífida* y *D. Esculenta* y son superiores a almidones oxidados de yuca [22]. Esta propiedad es importante para mejorar los rendimientos en productos elaborados por la industria alimentaria (embutidos cárnicos), en los procesos de calefacción óhmica para cocinar alimentos ricos en almidón [23].

Los almidones estudiados presentaron en promedio un rango de pH neutro, que favorece su aplicación en mezclas con otros tipos de alimentos. La variedad 9506-

021 mostró el mayor valor de conductividad eléctrica, mientras que la variedad 9403-001 registró el menor valor. Estos valores son inferiores al valor registrado por el almidón oxidado de yuca de $190,75 \mu\text{s}/\text{cm}$ [6]. La estabilidad y el pH de las emulsiones cárnicas son dependientes del tipo de extensor y el porcentaje de inclusión [24]. La introducción de almidón puede sustituir productos ricos en proteínas utilizados como extensores.

Las solubilidades de los almidones de ñame a 30, 50 y 70°C presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P<0,05$). En todas las variedades de ñame estudiadas la solubilidad aumento con la temperatura, se debe a que los gránulos hinchados del almidón permiten una mayor la exudación de amilosa [22], siendo inferiores a las variedades de *D. alata*, *D. rotundata* y yuca [6, 25]; almidón céreo de ñame, en almidón de maíz acetilado [13], ñame *D. trífida* [12], cebada, almidón oxidado de cebada [4] amaranto, en amaranto modificado con tratamiento ácido, maíz céreo fosfatado y succinado [26]. Es importante la solubilidad del almidón en productos elaborados que requieran de tratamientos térmicos menores de 80°C (néctares pasteurizados a 72°C). Los almidones nativos de ñame (*D. alata*) por tener bajas solubilidades no se podrían aplicar en este tipo de productos. La

Cuadro 1. Análisis composicional de almidones nativos de ñame.

Componentes (%)	9506-027	9403-001	9605-047	9506-021	9506-025
M. Seca	88,77±0,01a	87,65±0,01b	89,24±0,00c	87,99±0,008b	89,03±0,008c
Almidón	95,00 ± 0,81a	94,00± 0,81b	96,00±0,85c	96,00±0,85c	92,00±0,81d
Amilosa	24,08 ± 0,01a	25,60±0,00b	23,20±0,01c	24,86±0,01d	25,44±0,01e
Cenizas	0,20 ± 0,04a	0,10±0,04b	0,09±0,00c	0,26±0,00d	0,10±0,016b
Proteína	0,50±0,08 ^a	0,40±0,01b	0,50±0,01 ^a	0,60 ± 0,10c	0,60±0,04c
Extracto Etéreo	0,60± 0,08a	0,70± 0,05b	0,50 ± 0,10c	0,60 ± 0,08 ^a	0,90±0,03d
Fibra	0,225±0,09 ^a	0,30±0,08b	0,30 ± 0,12b	0,40 ± 0,08c	0,50 ± 0,07d

Cuadro 2. Propiedades físicas y funcionales de almidones nativos de ñame.

Propiedades	9506-027	9403-001	9605-047	9506-021	9506-025
CRA % (30°C)	87,81±0,61a	99,49±0,24b	106,23±0,56c	117,71±0,34d	98,64±0,40e
pH	7,33±0,02a	7,25±0,03a	6,85±0,04b	6,76±0,03b	6,85±0,02b
Conductividad eléctrica $\mu\text{s}/\text{cm}$	23,30±3,10a	16,00±0,88b	75,82±0,29c	79,10±0,26d	48,58±2,20e
% Solubilidad (30°C)	0,43±0,01a	0,72±0,01b	1,58±0,11c	1,30±0,03d	0,94±0,00e
% Solubilidad (50°C)	0,59±0,02a	0,85±0,01b	1,92±0,06c	1,61±0,05d	1,20±0,05e
% Solubilidad (70°C)	1,12±0,12a	1,10±0,10a	2,12±0,04b	2,15±0,03b	1,44±0,00c
Viscosidad aparente cp (50°C) x10-3	1,15±0,04a	2,00±0,21b	3,5±0,08c	3,50±0,04c	2,50±0,08d
viscosidad aparente cp (70°C) x10-3	2,00±0,16a	2,50±0,01b	3,5±0,07c	3,50±0,08c	3,50±0,24c
% Sinéresis	58,30±0,24a	60,40±0,29b	61,6±0,18b	63,20±0,18c	59,10±0,08a

solubilidad baja solubilidad se relaciona con el contenido de amilosa [27] y al tamaño del granulo, en este caso los resultados mostraron contenido de amilosa que es medianamente alto para almidones nativos.

La evaluación de la estabilidad a la refrigeración y congelación consiste en verificar en los geles la sinéresis como consecuencia de la reorganización de las moléculas del almidón. La variedad 9506-021 presentó el mayor valor de sinéresis mientras que la variedad 9506-027 registró el menor valor. Estos almidones tienen menores valores de sinéresis con respecto a las especies *D. alata* y *D. rotundata* [16], similar a almidones nativos *D. trifida*, *D. esculenta*, *D. bulbifera* [6] y menos estables con respecto al almidón de papa criolla reportado por Polanco *et al.* [28]. Los almidones estudiados en este trabajo, presentaron una mediana resistencia a la congelación, muestran geles muy rígidos originados por su fuerte retrogradación, ligada a los elevados contenidos de amilosa que poseen. De acuerdo a estos resultados, los almidones de ñame pueden ser utilizados en aquellos alimentos que requieren ser almacenados en refrigeración y necesitan cierta exudación de humedad para proporcionar una apariencia fresca, como los flanes o salsas.

La Figura 1, muestra los viscoamilogramas de los almidones nativo de ñame, cuando se sometieron las diferentes suspensiones de almidón al calentamiento y enfriamiento controlado. El comportamiento de las suspensiones de los almidones nativos de las diferentes variedades de *D. alata* durante su calentamiento y posterior enfriamiento, muestra que el almidón de la variedad 9506-027 posee el mayor poder espesante de los cinco almidones al presentar el mayor pico de viscosidad a 93°C seguido por la variedad 9403-001, los restantes almidones no presentaron picos de viscosidad bien definidos. Los almidones *D. alata* refe-

renciados en esta investigación (Cuadro 3) presentan un valor de viscosidad máxima menor que almidones nativos y acetilados de yuca y ñame [14], harina de ñame [29] variabilidad asociada a la estructura de los almidones [3]. Los almidones de *D. alata* presentaron una viscosidad estable cuando son enfriados, resultado que debe tenerse en cuenta al momento de pensar en incorporar el almidón a algún producto que necesite enfriamiento por largos tiempos, debido a la posibilidad de separación de fases por sinéresis.

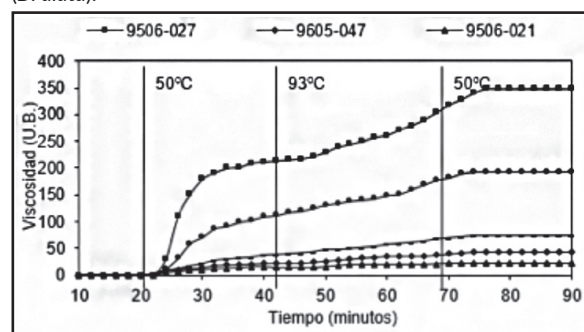
Las temperaturas de gelatinización variaron entre 83 y 84,2°C, fueron superiores a temperaturas de gelatinización presentadas por otros almidones como el de la oca amarilla (48,1°C), maíz céreo (72,2°C), yuca (65°C), Sagú (74,5°C) y papa (58 a 68°C) [15, 18, 22, 29], arroz (68-74-78°C), maíz (62-67-72°C), yuca (59-64-69°C), sorgo (68-74-78°C) y a las de ñame genotipo amazónico blanco (76,8-77°C), púrpura claro (75,5-76,9°C) y púrpura oscuro (77-80°C) [13].

Los almidones de *D. alata* al mostrar una gran estabilidad (breakdown) a los esfuerzos de corte durante el calentamiento, definen su aplicación en productos que tengan que ser sometidos a procesos de esterilización, escaldado y productos de confitería. Además, presentan valores positivos del setback, indicando un aumento de la viscosidad que se relaciona con el restablecimiento de los enlaces hidrógeno de amilosa y amilopectina formando una consistencia tipo gel. Asimismo, el incremento de la viscosidad durante el enfriamiento, indica una tendencia de los componentes a la retrogradación, que puede ser importante en la aplicación de almidones resistentes a la acción de enzimas amilolíticas [31]. En ese orden, la variedad 9506-027 tiene mayor tendencia a retrogradar, por lo que su utilización en productos alimenticios que debe ser almacenado en frío es limitada, para incorporar los almidones de ñame en este tipo de productos, se debe modificar el almidón de tal forma que conserve su estabilidad y disminuya la retrogradación.

Comportamiento reológico

Los reogramas del esfuerzo de cizalla (σ) versus el gradiente de velocidad ($\dot{\gamma}$) de los almidones *D. alata*, se muestran en la Figura 2. Estos, exhibieron un comportamiento no tixotrópico, su viscosidad aparente decrece al aumentar la velocidad de corte, caracterizándose como fluidos no newtonianos tipo pseudoplásticos. Se han reportado comportamientos pseudoplásticos en estudio de índice de flujo para almidón

Figura 1. Viscoamilograma de los almidones nativos de ñame (*D. alata*).

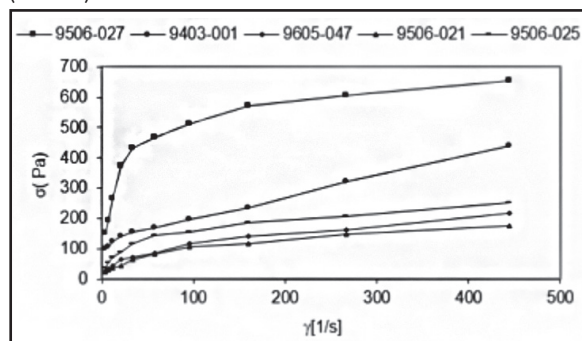


Cuadro 3. Resultados de viscoamilogramas de almidones de *D. alata*

Variedad	T gel °C	V93 (U.B)	V93/20 (U.B)	V50 (U.B)	Setback	Breakdown
9506-027	83,75	170	226	348	178	-56
9403-001	83	66	129	194	128	-63
9605-047	83,75	13	25	44	31	-12
9506-021	84,2	9	15	22	13	-6
9506-025	83	20	46	55	35	-26

T gel: temperatura gelatinización; **V93:** viscosidad a 93°C; **V93/20:** viscosidad a 93°C por 20 min; **V50:** viscosidad a 50°C; **Setback:** asentamiento; **Breakdown:** estabilidad

Figura 2. Comportamiento de los almidones de ñame (*D. alata*) a esfuerzos de corte.



de plátano (*Musa ABB*) [31]; No newtoniano para almidón de semillas de huauzontle [32] y Herschel-Bulkley en almidón de yuca reticulado-acetilado [33].

El modelo reológico usado para describir el comportamiento de los almidones de ñame *D. alata* es el modelo de Herschel-Bulkley (Ec. 2).

$$\sigma = \sigma_0 + K\gamma^n \quad (\text{Ec.2})$$

Todos los almidones presentaron un índice de comportamiento de flujo (n) menor a 1. El índice de consistencia (K) fue mayor en la variedad 9506-027 (Cuadro 4).

Un aumento en la concentración causa un incremento en la pseudoplasticidad mostrando una disminución en el índice de flujo (n) y por consiguiente el coeficiente de consistencia (K) se incrementa con la concentración [34], caso que se presenta en las variedades de *D. alata* donde hay mayor pseudoplasticidad en orden de 9506-027>9403-001>9506-025>9605-047>9506-021. Este comportamiento se denomina reofluidizante y ocurre cuando el esfuerzo desorganiza el arreglo de las moléculas de la matriz.

Cuadro 4. Parámetros modelo de Herschel-Bulkley.

Variedad	σ_0 (Pa)	K (Ns/m ²)	N	R^2
9506-027	150,4	119,03	0,3081	0,92
9403-001	97,76	56,405	0,3014	0,95
9605-047	26,32	14,665	0,4434	0,99
9506-021	22,56	12,314	0,4487	0,99
9506-025	37,60	25,408	0,3919	0,97

CONCLUSIONES

De las propiedades funcionales de las variedades de *D. alata*, las 9506-021 y 9605-047 presentaron los valores superiores al 100% de capacidad de retención de agua, posibilitando su uso en la industria alimentaria para el aumento de rendimientos en productos cárnicos, las variedades 9506-027 y 9403-001 presentaron las viscosidades más altas durante el proceso de calentamiento y enfriamiento, por lo que serían útiles como espesantes para productos alimentarios (cremas ligeras, sopas y coladas), y en general todas registraron viscosidades crecientes. Todas las variedades presentaron valores bajos de conductividad eléctrica menores de 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Las solubilidades son inferiores del 3%, limitando el uso de estos almidones en productos alimentarios procesados a bajos tratamientos térmicos. Las altas temperaturas de gelatinización presentadas por los almidones de *D. alata* los hace importantes en procesos donde se necesiten productos con tratamientos térmicos. Los almidones presentaron sinéresis al ser sometidos a temperaturas a -10°C , por lo que no son aptos para la elaboración de productos congelados. Se hace necesario implementar modificaciones químicas o físicas las cinco variedades de almidón de *D. alata*, para lograr extender la gama de aplicaciones industriales en las que podrían ser utilizados. Las cinco variedades de *D. alata* se comportan como fluidos no newtonianos, independientes del tiempo y com-

portamiento pseudoplástico, ajustándose al modelo de Herschel-Bulckley.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Investigación Participativa para la Producción y Transformación Sostenible del Ñame (*Dioscorea s.p.*) en la Costa Atlántica, Colciencias, Universidad de Córdoba, Universidad de Sucre, Corpoica, Corporación PBA

REFERENCIAS

- [1] AGRONET. Estadísticas agroforestales Consolidado Nacional. 2015 [online]. Available: <http://www.agronet.gov.co>. Accessed: 20-Jul-2017
- [2] VARGAS-AGUILAR, P. y HERNÁNDEZ-VILLALOBOS, D. Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampi: propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria. *Revista Tecnología en Marcha*, 26(1), 2013, p. 37–45.
- [3] REINA ARANZA, Y.C. El cultivo del Ñame en el caribe colombiano, Documento de trabajo sobre economía regional. Cartagena (Colombia): Banco de la Republica (CEER), 2012.
- [4] EL HALAL, S.L.M. *et al.*, Structure, morphology and functionality of acetylated and oxidised barley starches. *Food Chemistry*, 168, 2015, p. 247–256.
- [5] DUPUIS, J.H., LIU, Q. and YADA, R. Y. Methodologies for increasing the resistant starch content of food starches: A review. *Compr. Food Science and Food Safety*, 39(1), 2014, p. 1219–1234.
- [6] ESPITIA, J., SALCEDO, J. y GARCIA, C. Propiedades funcionales de almidones de ñame (*Dioscorea bulbifera*, *Dioscorea trifida* y *Dioscorea esculenta*). *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Zulia*, 10, 2016, p. 31–36019.
- [7] SALAZAR, E. y MARCANO, M. La Harina de Ñame (*Dioscorea Alata*), Un Ingrediente Potencial en la Elaboración de Productos de Productos de Panadería. *SABER*, 23(2), 2012, p 134–140
- [8] MOORTHY, S.N. Extraction of starches from tuber crops using ammonia. *Carbohydrate Polymer*, 16(4), 1991, p. 391–398.
- [9] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Official Method of Analysis, 20th ed, 13th ed. Washington D.C (USA): AOAC International, 2016.
- [10] INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION (ISO). Norma 6647-1. 2 ed. Norma de la organización internacional para la estandarización sobre determinación de amilosa. Gnova (Suiza): 2011.
- [11] DUFOUR, D. y HURTADO BERMUDEZ, J. Analisis comparativo de las propiedades funcionales de diversos almidones de raíces y tuberculos autochtonos de Colombia. Potencialidades de uso. Lima (Perú): Seminario tecnico sobre raíces y tuberculos autoctonos, Programa Nacional de Maquinaria y Postcosecha; Programa Regional de Sistemas de Produccion, CORPOICA, 1997, p. 1-21.
- [12] ACUÑA-PINTO, H.M. Extracción, caracterización y aplicación de almidón de ñame variedad blanco (*Dioscorea trifida*) originario de la región amazónica colombiana para la elaboración de productos horneados [Tesis Especialiste en Ciencia y Tecnología de Alimentos]. Bogotá (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, 2012, 80 p.
- [13] PÉREZ, E. *et al.* Physicochemical, functional, and macromolecular properties of waxy yam starches discovered from 'Mapuey' (*Dioscorea trifida*) genotypes in the Venezuelan Amazon. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(1), 2010, p. 263–273.
- [14] FIGUEROA, J., SALCEDO, J. and RODRIGUEZ, M. Acetylated cassava and yam starches for food use. *Agronomía Colombiana (supl)*, 34(1), 2016, p. 785–788.
- [15] FEN, Z. Isolation, composition, structure, properties, modifications, and uses of yam starches. *Coomprehensive review in food sciencie and food safety*, 14, 2015, p. 257–386.
- [16] ODEKUA, O.A. and PICKER-FREYER, K. Analysis of the material and tablet formation properties of four *Dioscorea* starches. *Starch-Stärke*, 59(9), 2007, p. 430–444.
- [17] KAUR, B., ARIFFIN, F., BHAT, R. and KARIM, A. Progress in starch modification in the last decade. *Food Hydrocolloids*, 26(2), 2012, p. 398–404.
- [18] TRINH, K.S., CHOI, S.J. and MOON, T. Structure and digestibility of debranched and hydrothermally treated water yam starch. *Starch-Stärke*, 65(7-8), 2013, p. 679–685.
- [19] APRIEANITA, A., VASILJEVIC, T., BANNIKOVA, A. and KASAPIS, S. Physicochemical properties of flours and starches derived from traditional Indonesia tuber and root. *Journal of Food Science and Technology*, 51(12), 2014, p. 3669–3679.

- [20] SALCEDO, J., RODRIGUEZ, M. y FIGUEROA, J. Efecto de la acetilación en las propiedades estructurales y funcionales de almidones de yuca y ñame. *Revista Mexicana de ingeniería química*, 15(3), 2016, p. 787-796.
- [21] WANG, S. *et al.* Starch retrogradation: A comprehensive review. *Comprehensive reviews in food safety*, 14, 2015, p. 568-585.
- [22] ASCENCIO, M., ANDRADE, R. y SALCEDO, J. Caracterización funcional de almidón oxidado de yuca (*Manihot esculenta*). *Agronomía Colombiana (supl)*, 34(1), 2016, p. 757-759.
- [23] WEERACHET, J. *et al.* Ohmic heating for cooking rice: Electrical conductivity measurements, textural quality determination and energy analysis. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 42, 2017, p 16-24.
- [24] ALVARRACIN, W., DELGADO, N. y VILLEGAS, C. Efecto de la inclusión de diferentes extensores sobre parámetros fisicoquímicos de emulsiones cárnicas. *Agronomía Colombiana (supl)*, 34(1), 2016, p. 215-218.
- [25] GUIZAR, M.A., MIRANDA, J.L, SOTO, M. y RUIZ, I. Parcial caracterización de nuevos almidones obtenidos del tubérculo de camote del cerro (*Dioscorea spp*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 9(1), 2008, p. 81-88.
- [26] GARCÍA-RODRÍGUEZ, A.P. Obtención y caracterización de almidones modificados y su aplicación como agentes encapsulantes del bioinsecticida *Bacillus thuringiensis* [Tesis Ingeniero Químico de Alimentos]. Querétaro (Mexico): Universidad de Querétaro, Facultad de Química, 2011, 141 p.
- [27] HUNG, P., VIEN, N. and LAN-PHI, N. Resistant starch improvement of rice starches under a combination of acid and heat-moisture treatments. *Food Chemistry*, 191(15), 2016, p 67-73.
- [28] POLANCO, L.Z. *et al.* Extracción y caracterización de almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (*Solanum tuberosum*, Grupo Phureja). *Revista Latinoamericana de la Papa*, 18(1), 2014, p. 1-24.
- [29] PATERNINA, A., SALCEDO, J. y ROMERO, P. Efecto de la harina de ñame (*D. rotundata*) sobre las propiedades texturales de salchichas. *Agronomía Colombiana (supl)*, 34(1), 2016, p. 379- 381.
- [30] WANG, S. *et al.* Starch retrogradation: A comprehensive review. *Comprehensive review in food sciences and food safety*, 14, 2015, p. 568-585.
- [31] BELLO, J. *et al.* Extracción y caracterización reológica del almidon y pectina frutos de platano “pera” (*Musa ABB*). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 2014, p. 1501- 1507.
- [32] ASSAD, M. *et al.* Caracterización reológica, térmica, funcional y fisicoquímica del almidón de semillas de huauzontle (*Chenopodium berlandieri* spp. *nuttalliae*). *Agrociencia*, 48(8), 2014, p. 789-803
- [33] CUI, B. *et al.* Effect of cross-linked acetylated starch content on the structure and stability of set yoghurt. *Food Hydrocolloids*, 35, 2014, p. 576-582.
- [34] CEVOLI, C., BALESTRA, F., RAGNI, L. and FAB-BRI, A. Rheological characterisation of selected food hydrocolloids by traditional and simplified techniques. *Food Hydrocolloids*, 33(1), 2013, p. 142-150.

ÍNDICE TEMÁTICO

Volumen 16, No 1 (Enero – Junio de 2018)
Volumen 16, No 2 (Julio – Diciembre de 2018)

CIENCIAS AGRICOLAS

- **AGRICULTURA MIGRATORIA CONDUCTOR DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO DE ECOSISTEMAS ALTO-ANDINOS DE COLOMBIA/** Fernando Andrés Muñoz-Gómez, Leopoldo Galicia-Sarmiento, Edier Humberto-Pérez // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol 16 No 1, p.15-25.
- **CARACTERIZACIÓN DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA DE UCHUVA (*Physalis peruviana* L.) EN BOYACÁ /** Ana Cruz Morillo-Coronado, Jose Alejandro González-Castillo, Yacenia Morillo-Coronado // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p.26-33.
- **LIXIVIACIÓN DEL POTASIO EN SUELOS DE LA ZONA CAFETERA Y SU RELACIÓN CON LA TEXTURA//** Siavosh Sadeghian-Khalajabadi, Esnéider Arias-Suárez // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p.56-65.
- **DESCRIPCIÓN DEL CICLO FENOLOGICO DE CUATRO ECOTIPOS DE (*Chenopodium quinua* Willd.), EN PURACE – CAUCA, COLOMBIA /** Consuelo Montes Rojas, Guido Ary Burbano Catuche, Edwin Fernando Muñoz Certuche y Yimy Calderón Yonda // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.26-37.

CIENCIAS PECUARIAS

- **VALORACIÓN ECONÓMICA DEL USO DE ENSILAJE DE RESIDUOS PISCÍCOLAS EN LA ALI-**

MENTACIÓN DE *Oreochromis* spp/ Crispulo Perea-Román, Yeny Judith Garcés-Caicedo, Luz Stella Muñoz-Arboleda, José Luís Hoyos-Concha, José Ader Gómez-Peñaranda // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p.43-51.

- **DESEMPEÑO DE *BOCACHICO* *Prochilodus magdalenae* EN SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUCCIÓN CON TECNOLOGÍA BIOFLOC //** Julia E. Ayazo-Genes, Vicente M. Pertuz-Buelvas, José A. Espinosa-Araujo, César A. Jiménez-Velásquez, Víctor J. Atencio-García, Martha J. Prieto-Guevara// En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p.91-101

AGROINDUSTRIA

- **ADSORCIÓN COMPETITIVA DE PLOMO Y NIQUEL SOBRE CÁSCARA DE ÑAME Y BAGAZO DE PALMA EN SISTEMA CONTINUO//** Candelaria Tejada-Tovar, Jorge Gallo-Mercado, Jeison Moscote, Ángel Villabona, Diofanor Acevedo-Correa // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p.52-61.
- **CONDICIONES ÓPTIMAS DE LA ETAPA DE LIXIVIACIÓN EN LA EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA//** Carlos García-Mogollón, Jairo Salcedo-Mendoza, Armando Alvis-Bermudez// En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p.62-67.
- **FACTORES AMBIENTALES ASOCIADOS Y MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE CÉLULAS SO-**

- MÁTICAS EN LECHE DE TANQUE / Jorge Guerrero-Quiceno, Rómulo Campos-Gaona, Mauricio Vélez-Terranova // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p.80-90.
- ULTRASONIDO EN EL PROCESAMIENTO (HOMOGENIZACIÓN, EXTRACCIÓN Y SECADO) DE ALIMENTOS/ Yesenia Campo-Vera, Víctor M. Gélvez-Ordoñez, Alfredo Ayala-Aponte // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p.102-113.
 - EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD EN BARRAS DE CEREALES CON ALTO CONTENIDO DE FIBRA Y PROTEÍNA/ Luis Francisco Márquez Villacorta, Carla Consuelo Pretell Vásquez // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.67-78.
 - PROPIEDADES FUNCIONALES DE ALMIDONES DE ÑAME (*Dioscorea alata*)// Jairo Salcedo Mendoza, Carlos García Mogollón, David Salcedo-Hernández // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.99-107.
- Sánchez // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.58-66.
- EFECTO DEL PRETRATAMIENTO CON ÁCIDO SULFÚRICO DILUIDO SOBRE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL *Panicum maximum* / Carlos Rafael Castillo-Saldarriaga, Mario Enrique Velásquez-Lozano // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p.68-79.
 - EVALUACION in vitro DE LA ACTIVIDAD ANTIPLASMODIAL Y CITOTÓXICA DE PLANTAS DEL SUR PACÍFICO COLOMBIANO (TUMACO, NARIÑO)/ Andrés Felipe Vargas Sinisterra, Adriana Pabon Vidal, Alexandra Rios Orrego, Gustavo Ramírez, Ena Patricia López Barrios // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.79-87.
 - EXTRAÇÃO DE LIPÍDIOS DA MICROALGA *Scenedesmus* sp. COM DIFERENTES MISTURA DE SOLVENTES ORGÂNICOS/ José Jovanny Bermúdez Sierra // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.88-98.

CIENCIAS FORESTALES

- BIOFERTILIZACIÓN CON HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS ARBUSCULARES (HFMA) EN ESPECIES FORESTALES EN VIVERO/ María Margarita Ramírez Gómez, Andrea María Peñaranda Rolon, Urley Adrián Pérez Moncada, Diana Paola Serralde // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.15-25.
- ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES EN EL PARQUE NACIONAL MOLINO DE FLORES NETZAHUALCÓYOTL// Alejandro Herrera LLampallas, Ariana Luque Delgadillo, Guillermo Ramírez García, Anastasio Espejel García, Antonio Vázquez Alarcón, Jesús D. Gómez Díaz, Alejandro I. Monterroso Rivas // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.46-57.

CIENCIAS AMBIENTALES

- DESVINCULACIÓN ECONÓMICA DEL SECTOR EXTRACTIVO EN COLOMBIA// Juliana Sarmiento Castillo, Mario Pérez Rincón, Mauricio Gómez Sánchez // En Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.38-45.

BIOTECNOLOGÍA

- ESTUDIOS DE ESTABILIDAD TÉRMICA SOBRE EL INGREDIENTE FARMACÉUTICO ACTIVO DE LA VACUNA GAVAC®// Rutdali M. Segura Silva, Arlenis Alfaro Martínez, Diasmarys Salinas Rodríguez, Alain Moreira Rubio, Amaury Pérez

INDICE DE AUTORES

Vol 16 No. 1 Enero - Junio 2018
Vol 16 No 2 Julio - Diciembre 2018

A

Arias Suárez Esnéider

Lixiviación del potasio en suelos de la zona cafetera y su relación con la textura // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 34 - 42.

Acevedo Correa Diofanor

Adsorción competitiva de plomo y níquel sobre cáscara de ñame y bagazo de palma en sistema continuo // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 52 - 61.

Alvis Bermúdez Armando

Condiciones óptimas de la etapa de lixiviación en la extracción de almidón de yuca // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 62 - 67.

Ayazo Genes Julia E.

Desempeño de bocachico *Prochilodus magdalenae* en sistemas intensivos de producción con tecnología biofloc // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 91- 101.

Atencio García Víctor J.

Desempeño de bocachico *Prochilodus magdalenae* en sistemas intensivos de producción con tecnología biofloc// En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 91 - 101.

Ayala Aponte Alfredo

Ultrasonido en el procesamiento (homogenización, extracción y secado) de alimentos // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 102 - 113.

Martínez Arlenis Alfaro

Estudios de estabilidad térmica sobre el ingrediente farmacéutico activo de la vacuna Gavac® // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No2, p. 58-66.

B

Burbano Catuche Guido Ary

Descripción del ciclo fenológico de cuatro ecotipos de (*chenopodium quinoa willd.*), en Purace - Cauca, Colombia// En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.26-37.

Bermúdez Sierra José Jovanny

EXTRAÇÃO DE LIPÍDIOS DA MICROALGA *Scenedesmus* sp. COM DIFERENTES MISTURA DE SOLVENTES ORGÂNICOS // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p. 88-98.

C

Castillo Carlos Rafael

Efecto del pretratamiento con ácido sulfúrico diluido sobre la hidrólisis enzimática del *Panicum maxi-*

mum // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 68 – 79.

Campos Gaona Rómulo

Factores ambientales asociados y métodos de determinación de células somáticas en leche de tanque // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 80 – 90.

Campo Vera Yesenia

Ultrasonido en el procesamiento (homogenización, extracción y secado) de alimentos // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 102– 113.

Calderón Yonda Yimiy

Descripción del ciclo fenológico de cuatro ecotipos de (*chenopodium quinoa willd.*), en Purace – Cauca, Colombia// En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p. 26-37

E

Espinosa Araujo José A.

Desempeño de bocachico *Prochilodus magdalenae* en sistemas intensivos de producción con tecnología biofloc// En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol.16 No 1, p. 91 – 101.

Espejel García Anastasio

Estado de los recursos naturales en el parque nacional molino de flores Netzahualcóyotl// En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol.16 No 2, p.46-57.

G

Galicia Sarmiento Leopoldo

Agricultura migratoria conductor del cambio de uso del suelo de ecosistemas alto-andinos de colombia // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 15 – 25.

González Castillo Jose Alejandro

Caracterización de la diversidad genética de uchuva (*physalis peruviana* L.) En Boyacá // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 26 – 33.

Garcés Caicedo Yeny Judith

Valoración económica del uso de ensilaje de residuos piscícolas en la alimentación de *oreochromis spp* // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 43 – 51.

Gómez Peñaranda José Ader

Valoración económica del uso de ensilaje de residuos piscícolas en la alimentación de *oreochromis spp* // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 43 – 51.

Gallo Mercado Jorge

Adsorción competitiva de plomo y níquel sobre cáscara de ñame y bagazo de palma en sistema continuo // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 52 – 61.

García Mogollón Carlos

Condiciones óptimas de la etapa de lixiviación en la extracción de almidón de yuca // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 62 – 67.

Guerrero Quiceno Jorge

Factores ambientales asociados y métodos de determinación de células somáticas en leche de tanque // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 80 – 90.

Gélvez Ordoñez Víctor M.

Ultrasonido en el procesamiento (homogenización, extracción y secado) de alimentos// En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 102 – 113.

Gómez Sánchez Mauricio

Desvinculación económica del sector extractivo en Colombia // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p. 38-45.

Gómez Díaz Jesús D.

Estado de los recursos naturales en el parque nacional molino de flores Netzahualcóyotl // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.46-57.

García Mogollón Carlos

Propiedades funcionales de almidones de ñame (*dioscorea alata*)// En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p. 99-107.

H

Hoyos Concha José Luís

Valoración económica del uso de ensilaje de residuos piscícolas en la alimentación de oreochromis spp // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 43 – 51.

Humberto Pérez Edier

Agricultura migratoria conductor del cambio de uso del suelo de ecosistemas alto-andinos de Colombia // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 15 – 25.

Herrera LLampallas Alejandro

Estado de los recursos naturales en el parque nacional molino de flores Netzahualcóyotl // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p. 46-57.

J

Jiménez Velásquez César A.

Desempeño de bocachico *Prochilodus magdalenae* en sistemas intensivos de producción con tecnología biofloc // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 91 – 101.

L

Luque Delgadillo Ariana

Estado de los recursos naturales en el parque nacional molino de flores Netzahualcóyotl // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p. 46-57.

López Barrios Ena Patricia

Evaluación in vitro de la actividad antiplasmodial y citotóxica de plantas del sur pacífico Colombiano (Tumaco, Nariño) // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p. 79-87.

M

Muñoz Gómez Fernando Andrés

Agricultura migratoria conductor del cambio de uso del suelo de ecosistemas alto-andinos de Colombia //

En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 26 – 33.

Morillo Coronado Ana Cruz

Caracterización de la diversidad genética de uchuva (*Physalis peruviana* L.) En Boyacá // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 26 – 33.

Morillo Coronado Yacenia

Caracterización de la diversidad genética de uchuva (*Physalis peruviana* L.) En Boyacá // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 26 – 33.

Moscote Jeison

Adsorción competitiva de plomo y níquel sobre cáscara de ñame y bagazo de palma en sistema continuo // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 52 – 61.

Muñoz Arboleda Luz Stella

Valoración económica del uso de ensilaje de residuos piscícolas en la alimentación de oreochromis spp // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 43 – 51.

Montes Rojas Consuelo

Descripción del ciclo fenológico de cuatro ecotipos de (*Chenopodium quinoa* Willd.), en Puracé – Cauca, Colombia // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p. 26–37.

Muñoz Certuche Edwin Fernando

Descripción del ciclo fenológico de cuatro ecotipos de (*Chenopodium quinoa* Willd.), en Puracé – Cauca, Colombia // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p. 26–37.

Monterroso Rivas Alejandro I.

Estado de los recursos naturales en el parque nacional molino de flores Netzahualcóyotl // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p. 46 – 57.

Moreira Rubio Alain

Estudios de estabilidad térmica sobre el ingrediente farmacéutico activo de la vacuna GAVAC® // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p. 58 – 66.

Márquez Villacorta Luis Francisco

Evaluación de características de calidad en barras de cereales con alto contenido de fibra y proteína// En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p. 67 –78.

P

Perea Román Crispulo

Valoración económica del uso de ensilaje de residuos piscícolas en la alimentación de oreochromis spp // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 43 – 51.

Prieto Guevara Martha J.

Desempeño de bocachico Prochilodus magdalenae en sistemas intensivos de producción con tecnología biofloc// En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p.91 – 101.

Pertuz Buelvas Vicente M.

Desempeño de bocachico Prochilodus magdalenae en sistemas intensivos de producción con tecnología biofloc// En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 91 – 101.

Peñaranda Rolon Andrea María

biofertilización con hongos formadores de micorrizas arbusculares (hfma) en especies forestales en vivo// En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.15– 25.

Pérez Moncada Urley Adrian

biofertilización con hongos formadores de micorrizas arbusculares (hfma) en especies forestales en vivo// En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p. 15– 25.

Pérez Rincón Mario

Desvinculación económica del sector extractivo en Colombia// En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p. 38– 45.

Pérez Sánchez Amaury

Estudios de estabilidad térmica sobre el ingrediente farmacéutico activo de la vacuna Gavac®// En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p. 58 – 66.

Pretell Vásquez Carla Consuelo

Evaluación de características de calidad en barras de cereales con alto contenido de fibra y proteína// En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p. 67–78

Pabon Vidal Adriana

Evaluación in vitro de la actividad antiplasmodial y citotóxica de plantas del sur pacífico Colombiano (Tumaco, Nariño)// En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p. 79 – 87

R

Ramírez Gómez María Margarita

Biofertilización con hongos formadores de micorrizas arbusculares (hfma) en especies forestales en vivo// En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.15 – 25.

Ramírez García Guillermo

Estado de los recursos naturales en el parque nacional molino de flores Netzahualcóyotl// En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.46 – 57.

Rios Orrego Alexandra

Evaluación in vitro de la actividad antiplasmodial y citotóxica de plantas del sur pacífico colombiano (Tumaco,Nariño)// En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.79 – 87.

Ramírez Gustavo

Evaluación in vitro de la actividad antiplasmodial y citotóxica de plantas del sur pacífico colombiano (Tumaco,Nariño)// En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.79 – 87.

S

Sadeghian Khalajabadi Siavosh

Lixiviación del potasio en suelos de la zona cafetera y su relación con la textura // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p.34 – 42.

Salcedo Mendoza Jairo

Condiciones óptimas de la etapa de lixiviación en la extracción de almidón de yuca // En: Biotecnología

en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p.62 – 67.

Serralde Diana Paola

Biofertilización con hongos formadores de micorizas arbusculares (hfma) en especies forestales en vivero // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.15 – 25.

Sarmiento Castillo Juliana

Desvinculación económica del sector extractivo en Colombia // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.38 – 45.

Segura Silva Rutdali M.

Estudios de estabilidad térmica sobre el ingrediente farmacéutico activo de la vacuna gavac® // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.58– 66.

Salinas Rodríguez Diasmarys

Estudios de estabilidad térmica sobre el ingrediente farmacéutico activo de la vacuna gavac® // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.58 – 66.

Salcedo Mendoza Jairo

Propiedades funcionales de almidones de ñame (dioscorea alata) // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.99 – 107.

Salcedo Hernández David

Propiedades funcionales de almidones de ñame (dioscorea alata) // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.99 – 107.

T

Tejada Tovar Candelaria

Estado fitosanitario de una población de zingiberales. Vereda San Pedrito- Municipio de Timbío – Cauca // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 52 – 61.

V

Villabona Ángel

Adsorción competitiva de plomo y níquel sobre cáscara de ñame y bagazo de palma en sistema continuo // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 52 – 61.

Velásquez Lozano Mario Enrique

Efecto del pretratamiento con ácido sulfúrico diluido sobre la hidrólisis enzimática del *Panicum maximum* // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 68 – 79.

Vélez Terranova Mauricio

Factores ambientales asociados y métodos de determinación de células somáticas en leche de tanque // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 1, p. 80 – 90.

Vázquez Alarcón Antonio

Estado de los recursos naturales en el parque nacional molino de flores Netzahualcóyotl // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.46-57.

Vargas Sinisterra Andrés Felipe

Evaluación in vitro de la actividad antiplasmodial y citotóxica de plantas del sur pacífico Colombiano (Tumaco, Nariño) // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 16 No 2, p.79-87.

Z

Zemanate-Cordoba Yuli

Evaluación de diferentes formulaciones de compostaje a partir de residuos de cosecha de tomate (*Solanum lycopersicum*) // En: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 11 No esp, p. 165 – 173.