

CONTENIDO  
Volumen 20 No. 1, Enero - Junio, 2017

	pág.
Editorial	
¿Valorar la investigación y la calidad de la producción científica sí es pertinente? <i>Germán Anzola Montero</i> . . . . .	1
 CIENCIAS DE LA SALUD	
Validez diagnóstica de la escala de Alvarado en pacientes con dolor abdominal sugestivo de apendicitis en un hospital de tercer nivel del sur de Bogotá <i>Karen Viviana Peralta R., Carlos Andrés Caballero R., Mónica del Pilar Mora V.</i> . . . . .	5
Geometría fractal y euclidiana aplicada al diagnóstico de grados de lesión de células de cuello uterino <i>Javier Rodríguez, Miguel Sánchez, Freddy Barrios, Yolanda Soracipa</i> . . . . .	13
Factores de riesgos psicosociales en auxiliares de enfermería de un hospital de la red pública en la ciudad de Bogotá, Colombia <i>Cristian Arley Jimenez, Margarita María Orozco, Nelly Esther Caliz</i> . . . . .	23
Relaciones entre diversas manifestaciones de la fuerza en diferentes grupos musculares en adultos jóvenes <i>Jairo Alejandro Fernández Ortega, Luz Amelia Hoyos Cuartas</i> . . . . .	33
 CIENCIAS AGRARIAS (Agronomía, Ciencia y Tecnología de Alimentos, Ingeniería Agrícola, Medicina Veterinaria, Zootecnia)	
Perfil de esteroides sexuales del capitán de la sabana ( <i>Eremophilus mutisii</i> ) durante un ciclo hidrológico completo <i>Miguel A. Landines P., Camilo A. Prieto M., Liliana Rodríguez V., Rafael Rosado P.</i> . . . . .	43
Efecto de un fosfato térmico sobre el crecimiento y producción de fríjol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) Cv ICA CERINZA <i>Wilmer Alejandro Quintana-Blanco, Elberth Hernando Pinzón Sandoval, David Fernando Torres.</i> . . . . .	51
Comportamiento ecofisiológico del cafeto ( <i>Coffea arabica</i> L.) cv. Castillo en sistemas agroforestales de Tibacuy, Cundinamarca <i>Piedad Cecilia Zapata Arango, Hernán Jair Andrade Castañeda, Zaira Katherine Nieto Abril</i> . . . . .	61
Germinación de semillas de moringa ( <i>Moringa oleifera</i> Lam.) en diferentes tiempos de imbibición en agua <i>Fernando Barraza A.</i> . . . . .	71
Efecto del almacenamiento en la calidad fisiológica de semilla de moringa ( <i>Moringa oleifera</i> Lam.) <i>Arnol Ruíz – Pérez, Hermes Araméndiz – Tatis, Carlos Cardona – Ayala</i> . . . . .	79
Distribución espacial de algunas propiedades físicas del suelo en un transecto de la granja Tunguavita, Paipa <i>Fanny Liliana Monroy-Rodríguez, Javier Giovanni Álvarez-Herrera, Óscar Humberto Alvarado-Sanabria</i> . . . . .	91
Incremento en la vida útil post cosecha del aguacate utilizando recubrimientos a base de goma gelana <i>Rafael González Cuello, Jaime Pérez Mendoza, Víctor Gelvez Ordóñez</i> . . . . .	101
Efecto de la liofilización sobre las propiedades funcionales del ají rocoto ( <i>Capsicum pubescens</i> ) <i>Birina Luz Caballero Gutiérrez, Carlos Julio Márquez Cardozo, Benjamín Alberto Rojano</i> . . . . .	111
Análisis de un jugo de mora ( <i>Rubus adenotrichos</i> ) endulzado con estevia ( <i>Stevia rebaudina</i> Bertoni), una aproximación metabólica <i>César González Torrivilla, Lorena Hernández, Fabrice Vaillant Barka</i> . . . . .	121
Evaluación de la pectina extraída enzimáticamente a partir de las cáscaras del fruto de cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L.) <i>Lina Mendoza-Vargas, Javier Jiménez-Forero, Miguel Ramírez-Niño.</i> . . . . .	131
Remoción de cromo hexavalente sobre residuos de cacao pretratados químicamente <i>Candelaria Tejada Tovar, Ángel Villabona Ortiz, María Jiménez Villadiego</i> . . . . .	139
Diversidad de la entomofauna acuática y calidad de agua en quebradas del río San Juan, Chocó – Colombia <i>Zuleyma Mosquera Murillo, Mayrin Minerva Mosquera Mosquera</i> . . . . .	149
Reseña de la entomología económica y médica del siglo pasado en Colombia <i>Ingeborg Zenner de Polanía</i> . . . . .	163

Implementación del mapa de geopedología como base para la delimitación de unidades de ecosistemas a nivel nacional en Colombia	
<i>Carlos Enrique Castro Méndez, Yolima del Carmen Agualimpia Dualiby</i> . . . . .	175
Medidas de adaptación al cambio climático en una comunidad indígena del norte de Colombia	
<i>Andrés Galindo Montero, Jhonny Pérez Montiel, Roberto Rojano Alvarado</i> . . . . .	187
Caracterización socio-económica y ambiental en pequeños y medianos predios ganaderos en la región del Sumapaz, Colombia	
<i>Charles E. Bermúdez, Nelson E. Arenas, Vilma Moreno Melo</i> . . . . .	199
REPORTE DE CASO	
Matute creek, Cartagena, Colombia: deterioration of water quality by human impact	
<i>Alonso Marrugo-González, Roberto Fernández--Maestre</i> . . . . .	209
Edad de castración y su efecto sobre el desempeño productivo de cerdos cruzados en fase de ceba	
<i>Libardo Maza Agulo, Juan Simanca Sotelo, Orlando Narváez Díaz, Carlos Almentero Suarez, Oscar Vergara G.</i>	215
Índice 2016. . . . .	221

## EDITORIAL

# ¿VALORAR LA INVESTIGACIÓN Y LA CALIDAD DE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA SÍ ES PERTINENTE?

Germán Anzola Montero  
Rector

Durante más de dos décadas, COLCIENCIAS lidera el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, enfocando sus acciones en cuatro áreas específicas: Educación para la Investigación; Investigación; Innovación y Mentalidad y Cultura Científica. Para el caso específico de la Investigación, se ha definido que es la dimensión que promueve la generación de conocimiento y, con ello, pretende fortalecer “las capacidades de la investigación y el desarrollo” y, para lograr tal fin, abre convocatorias, que persiguen objetivos como “contar con información actualizada sobre los Grupos de Investigación, Desarrollo Tecnológico o de Innovación y los Investigadores del país, sus actividades y los resultados logrados para generar conocimiento sobre las capacidades, fortalezas, debilidades y potencialidades de quienes integran el Sistema Nacional de CTel” (COLCIENCIAS, 2017a).

Si ello se cumpliera, los resultados de la última Convocatoria Nacional para el Reconocimiento y Medición de Grupos de Investigación, Desarrollo Tecnológico o de Innovación y para el Reconocimiento de Investigadores del SNCTel-2015 –No. 737-, no arrojaría tan escandalosos resultados; por ejemplo, aplicaron más de 66 mil hojas de vida registradas y certificadas en la Plataforma ScienTI Colombia, en los aplicativos CvLAC (currículos), avaladas por las instituciones correspondientes y solamente COLCIENCIAS reconoció a un poco más de 10 mil investigadores, con las siguientes vigencias: Investigador Senior: 1.218, tres años de vigencia, hasta mayo de 2019; Investigador Asociado: 2.767, dos años, hasta Mayo 21 de 2018 e Investigador Junior: 6.057, un año, hasta Mayo 21 de 2017. Estas cifras corresponden a todo el país, lo que indica que solamente el 15% de profesionales tienen la capacidad para solucionar los problemas nacionales y de sus pobladores. Y, ¿el resto?, ¿no son igual de competentes? No se debe desconocer que las Universidades invierten grandes sumas de dinero para formar a sus profesores e investigadores (COLCIENCIAS, 2016a).

Ahora bien, con los grupos de investigación la situación no es nada alentadora. Este mismo Modelo de Medición fijó como objetivos:

- *Proveer, a la comunidad interesada en temas de CTel, información actualizada acerca de las actividades desarrolladas por los grupos de investigación, desarrollo tecnológico o de innovación nacionales y de sus investigadores.*
- *Establecer las capacidades en investigación, desarrollo tecnológico, innovación, formación de talento humano y apropiación social del conocimiento que tiene la comunidad dedicada a CTel, en el país.*
- *Evaluar el potencial y el desempeño de los grupos investigación, desarrollo tecnológico, o de innovación, centros de investigación o de desarrollo tecnológico y demás entes del Sistema Nacional de CTel que desarrollan investigación.*
- *Identificar el recurso humano involucrado en actividades de CTel en Colombia.*
- *Determinar cuáles son las líneas de investigación desarrolladas en el país y cuál ha sido su evolución.*
- *Diseñar, implementar y evaluar políticas públicas en CTel.*

Siendo así, los resultados arrojados por COLCIENCIAS (2016b), 5.796 registros de grupos –avalados por las instituciones-, estuvieron inscritos, donde solamente 4.458, cumplieron con las condiciones para reconocimiento, quedando su clasificación, así: Grupos A1: 408; Grupos A: 549; Grupos B: 952; Grupos C: 1.939 y Grupos D: 610, es decir, que el 76,9% de todos los grupos de investigación del país, es decir las unidades de organización y gestión de la actividad investigadora, son idóneos para formular uno o varios problemas, trazar un plan estratégico y producir unos resultados de conocimiento sobre un tema en particular. Es oportuno preguntar: ¿el resto de proyectos que se formulan no son igual de significativos?, ¿no todos buscan la transferencia y la aplicación del conocimiento científico al país y a sus gentes?

La Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, actualmente, cuenta 13 grupos de investigación, asociados a sus áreas de conocimiento: en Administración y Negocios: Compensación con justicia social; en Ciencias: Productos

Naturales U.D.C.A; en Ciencias Ambientales: Grupo Red “Universidad y Ambiente” – GRUA (grupo interdisciplinar que hace parte Ciencias de la Educación) y Sostenibilidad Ambiental; en Ciencias de la Educación: Estilos de Pensamiento y Estilos de aprendizaje; en Ciencias de la Salud: Grupo de Investigaciones Biomédicas y de Genética Humana Aplicada – GIBGA, Saber y Practica en Enfermería, Cuidado de la Salud y Desarrollo Sostenible y Ciencias del Deporte y la Actividad Física; en Ciencias Pecuarías: Grupo de Investigación en Ciencia Animal; en Derecho, Ciencias Sociales y Humanas: Ucasuca y en Ingeniería: Producción agrícola sostenible e Investigaciones Geográficas para el Desarrollo Territorial.

Siendo coherentes con los objetivos propuestos por COLCIENCIAS, en materia de investigación, el PEI de la Universidad, en los lineamientos específicos para la investigación, reza: “*En la U.D.C.A la investigación se define como un trabajo intelectual racional y crítico que, de manera rigurosa y sistemática, genera y aplica el conocimiento científico y tecnológico en un horizonte de pertinencia cultural y social, reconociendo su poder transformador y las implicaciones ético-políticas que conlleva. La finalidad de la investigación en la U.D.C.A es la generación y aplicación del conocimiento científico y tecnológico, el avance de las ciencias aplicadas y ambientales y la búsqueda de soluciones a problemas relevantes de la sociedad. La investigación, se realiza desde el respeto a los valores de la ciencia, la libertad de pensamiento, el reconocimiento de la pluralidad paradigmática, metodológica y procedimental para solucionar los problemas del conocimiento científico y el reconocimiento de sus fines como ciencia básica y aplicada*” (PEI, 2013). Creo que, acertadamente, la Universidad apunta al horizonte que exige el país.

Teniendo en cuenta este panorama y dando cumplimiento cabal a lo estipulado por las diversas Convocatorias emitidas por COLCIENCIAS, se puede concluir que la situación es bastante preocupante, en especial, para aquellas Universidades, donde su fortaleza mayor es la docencia de alta calidad, pues fijan como norte la “*formación de profesionales integrales en las diferentes áreas del conocimiento, personas con altos valores ciudadanos*” (U.D.C.A, 2017) y logran, con éxito, combinar la docencia con la investigación. Si el país requiere y demanda de una investigación de alta calidad, de investigadores con un excelente potencial científico y que su proyección sea beneficiar a la población, es hora que las Universidades le demos una mirada a estas exigencias e, imperativamente, analicemos a dónde se dirigen los dineros del erario público, destinado para este propósito.

Es oportuno aclarar que estas Convocatorias también “*permiten la financiación de programas o proyectos de CTeI, con énfasis en aquellos que contribuyan a la solución de*

*los problemas del país y sus regiones*” (COLCIENCIAS, 2017b).

Son varias las convocatorias que el Estado asigna presupuesto, por ejemplo, la Convocatoria Ecosistema Científico para la conformación de un banco de programas de I+D+i elegibles, que contribuyan al mejoramiento de la calidad de las Instituciones de Educación Superior colombianas-2017, con una asignación de \$80 millones de pesos; la Convocatoria para proyectos de Ciencia, Tecnología e Innovación en Salud-2017, cuyo objetivo es contribuir a la solución de los retos en salud del país mediante la financiación de proyectos de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación de alto impacto, con una asignación de \$34.876.000.000 o la Convocatoria Nacional para la Conformación de un banco de proyectos elegibles de Generación de Nuevo Conocimiento – 2017, con \$27.510.200.516. Y cabe la pregunta: ¿por qué la gran mayoría de Universidades no tienen la posibilidad de “ganar” estas convocatorias y una minoría, sí?

Para el 2017, nuevamente debemos someternos a las presiones, por parte de COLCIENCIAS, emitidas en la Convocatoria Nacional para el Reconocimiento y Medición de Grupos de Investigación, Desarrollo Tecnológico o de Innovación y para el Reconocimiento de Investigadores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación – SNCTel – 2017. ¿Qué les deparará a nuestros grupos de investigación y a nuestros docentes-investigadores?, ¿Seguirán las Universidades disponiendo de miles de millones de pesos de su presupuesto – un gran porcentaje de ellas, destinan estos recursos de las matrículas- para solventar sus necesidades en investigación?, ¿COLCIENCIAS si presta un buen servicio de influencia de la investigación colombiana, en el ámbito internacional?, ¿Seguirá siendo esta subjetividad una palanca para el reconocimiento de alta calidad?

A manera de conclusión es necesario enfatizar que las Universidades, hoy por hoy, se preocupan por desarrollar y mejorar su actividad investigativa, por varias razones: 1) para lograr el reconocimiento de sus investigadores y de sus grupos, a nivel nacional e internacional; 2) para pertenecer a excelentes redes sociales científicas, que les permita potenciar sus relaciones con otros profesionales y encontrar un espacio idóneo para el desarrollo de sus actividades de investigación; 3) para renovar sus registros calificados, gracias a las exigencias de las condiciones impuestas por COLCIENCIAS; 4) para dar cumplimiento a los procesos de acreditación institucional, entre otras.

Traigo a colación lo que señalaron Clemencia Bonilla y María Dolores Pérez, del Centro de Estudios en Educación Superior: “Sobra decir que las instituciones de educación superior

de docencia tienen la misión de formar profesionales de alto nivel para la economía, la política y la cultura y que están obligadas a nutrirse de la investigación y la innovación que produzcan las instituciones dedicadas a la investigación. Junto con las universidades de docencia con investigación pueden cumplir una función significativa en la extensión y proyección social” (Bonilla & Pérez, 2017).

## BIBLIOGRAFÍA

1. BONILLA O., C.; PÉREZ P., M.D. 2017. Actividad investigativa en las instituciones de educación superior: ¿se reconoce la diversidad institucional existente en el país? Disponible desde Internet en: <http://www.universidad.edu.co/index.php/ensayos-acadcos-mainmenu-81/14601-actividad-investigativa-en-las-instituciones-de-educacion-superior-se-reconoce-la-diversidad-institucional-existente-en-el-pais> (con acceso 22/05/2017).
2. COLCIENCIAS. 2017a. Convocatoria nacional para el reconocimiento y medición de Grupos de Investigación, Desarrollo Tecnológico o de Innovación y para el reconocimiento de Investigadores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. Disponible desde Internet en: <http://colciencias.gov.co/convocatorias/investigacion/convocatoria-nacional-para-el-reconocimiento-y-medicion-grupos> (con acceso 22/05/2017).
3. COLCIENCIAS. 2017b. Sobre Colciencias. Disponible desde Internet en: <http://www.colciencias.gov.co/colciencias/sobre-colciencias> (con acceso 22/05/2017).
4. COLCIENCIAS. 2016a. Reconocimiento de Investigadores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. Publicación de resultados finales de la convocatoria 737 de 2015. Disponible desde Internet en: <http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/listado-publicacion-resultadosfinales-conv737-investigadores-consulta.pdf> (con acceso 22/05/2017).
5. COLCIENCIAS. 2016b. Reconocimiento y Medición de Grupos de Investigación, Desarrollo Tecnológico o de Innovación. Publicación de resultados finales de la convocatoria 737 de 2015. Disponible desde Internet en: <http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/conv-medicion-737-2015.pdf> (con acceso 22/05/2017).
6. U.D.C.A. 2017. Misión. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Disponible desde Internet en: <http://www.udca.edu.co/informacion-institucional/> (con acceso: 22/05/2017).
7. PEI. 2013. Proyecto Educativo Institucional-PEI-. Disponible desde Internet en: <http://www.udca.edu.co/wp-content/uploads/2015/02/Proyecto-Educativo-Institucional.pdf> (con acceso 22/05/2017).



# VALIDEZ DIAGNÓSTICA DE LA ESCALA DE ALVARADO EN PACIENTES CON DOLOR ABDOMINAL SUGESTIVO DE APENDICITIS, EN UN HOSPITAL DE TERCER NIVEL, DEL SUR DE BOGOTÁ

## DIAGNOSTIC VALIDITY OF THE ALVARADO SCALE IN PATIENTS WITH APPENDICITIS, SUGESTIVE OF ABDOMINAL PAIN, IN A THIRD LEVEL HOSPITAL OF SOUTHERN BOGOTA

Karen Viviana Peralta R.<sup>1</sup>, Carlos Andrés Caballero R.<sup>2</sup>, Mónica del Pilar Mora V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Estudiante Programa de Medicina XII semestre. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Calle 108 N°8°29, Bogotá, D.C, e-mail: nanita\_7691@hotmail.com; <sup>2</sup> Estudiante programa de Medicina XII semestre. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Carrera 71b N° 74°87, e-mail: cc92dr@hotmail.com; <sup>3</sup> Médico, Especialista en Cirugía General, Cirujana general Subred Integrada de Servicios de Salud Sur, USS Tunal momi\_kita@hotmail.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 5-11, Enero Junio, 2017

### RESUMEN

El dolor abdominal agudo es uno de los síntomas por los que un paciente asiste al servicio de urgencias de cualquier hospital, a nivel mundial, representando entre un 5 y 10% del total de consultas, constituyéndose para el médico de urgencias y especialistas interconsultados, un reto, dado que encierra varias patologías, que pueden ser o no quirúrgicas y que de no ser diagnosticadas, correcta y oportunamente, se pueden convertir en fatales, como la apendicitis, la condición patológica y quirúrgica, la que, frecuentemente, se ve enfrentado el cirujano general. El paciente, se puede presentar con signos y síntomas muy variados, que van desde un cuadro claro de apendicitis o no tener signos ni síntomas que sugieran, como diagnóstico, esta patología, por lo cual, se han desarrollado escalas que faciliten o aporten ayuda al médico para un correcto diagnóstico y posterior tratamiento. La escala de Alvarado hace parte de estas ayudas diagnósticas, siendo un método económico, no invasivo, rápido y confiable. Se evaluó por medio de este proyecto, la validez de la escala en la USS Tunal de III nivel, al ser uno de los hospitales más grandes y concurridos de Bogotá; para ello, se tomó una muestra de 161 pacientes y valorando cada parámetro de la escala, además, de comparar el puntaje dado por la misma y el diagnóstico histopatológico. Los resultados permiten concluir que la escala es sensible, pero no específica para el diagnóstico de apendicitis.

Palabras clave: Apendicitis, escala de Alvarado, diagnóstico, falsos positivos.

### SUMMARY

Acute abdominal pain is one of the symptoms which a patient attends the emergency room of any hospital worldwide, representing a 5 to 10% of those consultations; this represents for the emergency doctor and specialists interconsulted a challenge, because it contains several conditions that may or may not be surgical and not be diagnosed properly and promptly can be fatal, within these, is appendicitis, pathological and surgical condition which most often is faced the surgeon general. The patient may present with signs and varied symptoms ranging from a clear picture of appendicitis, or have no signs or symptoms suggestive as this pathology diagnosis; so scales have been developed to facilitate or provide help to the doctor for a correct diagnosis and subsequent treatment; Alvarado makes the scale of these diagnostic aids, being a non-invasive, fast and reliable economical method. Was evaluated by means of this project the validity of the scale in the USS Tunal III level to be one of the largest and busiest hospitals in Bogota, for this sample of 161 patients was taken Hospital and rated each parameter in addition to comparing the scores given by the same scale and histopathological diagnosis. The results show that the scale is sensitive but not specific for the diagnosis of appendicitis.

Key words: Appendicitis, Alvarado scale, diagnosis, false positives.

## INTRODUCCIÓN

La apendicitis es la urgencia abdominal que mayormente se presenta a lo largo del mundo. La literatura reporta que un 7% de la población mundial presentará apendicitis en su vida, de acuerdo al reporte de Ospina *et al.* (2011) y su importancia radica en que es una de las patologías más consultadas en los servicios de urgencias y, al no ser diagnosticada oportunamente, puede ser mortal.

Los signos y los síntomas predictivos de esta patología son dolor en cuadrante inferior derecho, defensa abdominal y dolor abdominal migratorio, desde la región periumbilical al cuadrante inferior derecho (Paulson *et al.* 2003). Su diagnóstico es primordialmente clínico, aunque las variaciones en la posición del apéndice y su relación con otras estructuras intra abdominales la hacen un reto para el médico de atención inicial y para el cirujano general, quien, finalmente, determina si el cuadro clínico es quirúrgico o no. Anatomopatológicamente esta entidad consta de cuatro fases: congestiva o edematosa, supurativa o fibrinopurulenta, gangrenosa y perforada (Caycedo, 2013).

Con el fin de disminuir la morbilidad se han introducido, a lo largo de la historia, varias escalas, que buscan identificar el cuadro de apendicitis aguda complicada de la no complicada, o de discriminar el nivel de riesgo en el que se encuentra el paciente. Uno de estos es el sistema de Alvarado, un test que se basa en la historia referida por el paciente, los hallazgos al examen físico y algunos exámenes de laboratorio (Singh *et al.* 2008) que, al sumarlos, generan un puntaje que indica el riesgo que tiene el paciente de estar padeciendo o no apendicitis y el manejo a seguir, de acuerdo a la puntuación. Fue desarrollado por el médico colombiano Alfredo Alvarado (De Quesada *et al.* 2015), quien en 1986, al realizar un estudio retrospectivo con 305 pacientes apendicectomizados, identificó ocho factores predictivos para el diagnóstico clínico de apendicitis, como se puede observar en la tabla 1: tres síntomas, cada uno con un puntaje de 1: dolor abdominal migratorio a fosa ilíaca derecha, anorexia, náuseas/vómito; tres signos: signo de blumberg presente, es decir, rebote positivo o dolor a la descompresión de la fosa ilíaca derecha y fiebre  $>37,5^{\circ}\text{C}$ , ambas con un puntaje de 1 y dolor en cuadrante inferior derecho, variable con 2 puntos y, por último, dos exámenes de laboratorio: leucocitosis  $>10.500\text{ cel/mm}^3$ , con un puntaje de 2 y neutrofilia  $>75\%$  (Hernández *et al.* 2012), siendo el puntaje máximo 10.

De este modo, la sumatoria de las variables presentes en cada paciente permite ubicarlo en un riesgo bajo, con un 33%, de padecer apendicitis en el momento de la valoración; riesgo intermedio, con un 66%, de padecer apendicitis en el momento de la valoración o riesgo alto, con un 93%, de padecer apendicitis en el momento de la valoración y, a la

vez, sugiere la conducta a seguir con ese paciente, como indica Sanabria *et al.* (2010): riesgo bajo (0 a 4 puntos): egreso temprano y control ambulatorio a las 24 horas; riesgo intermedio (5 a 7 puntos): tomografía computarizada (TC) abdominal temprana y decisión, según los hallazgos (laparotomía para los casos de TC positiva y egreso, con control ambulatorio a las 24 horas, para los pacientes con TC negativa) y riesgo alto (8 a 10 puntos): cirugía inmediata (Ohle *et al.* 2011).

Este test tiene la ventaja de haber sido sujeto a varios estudios de validación, los que confirman que es un método simple, fácil y barato, orientado al diagnóstico clínico de la apendicitis y que no conlleva de mayor esfuerzo del médico, ya sea médico general o cirujano experimentado (Khan & Ur, 2005; Ricci *et al.* 2015).

Tabla 1. Escala de Alvarado (Ohle *et al.* 2011).

Parámetro	Puntaje
Dolor abdominal migratorio	1
Anorexia	1
Náuseas/vómito.	1
Dolor en cuadrante inferior derecho	2
Fiebre (Temperatura $> 37,5^{\circ}\text{C}$ )	1
Rebote positivo (blumberg presente)	1
Leucocitosis (leucocitos $> 10.500\text{ cel/mm}^3$ )	2
Desviación a la izquierda (neutrofilia $>75\%$ )	1
<b>Total</b>	<b>10</b>

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Componente ético:** Según la Resolución 8430 (Ministerio de Salud, 1993), este proyecto trata de una investigación sin riesgo, en la que se recogerán datos, mediante la revisión de historias clínicas y resultados obtenidos de la aplicación de una encuesta cerrada, diseñada para el estudio, que evalúa la presencia o no de las variables propuestas para el mismo, de modo que no se interviene directamente con “las variables biológicas, fisiológicas, psicológicas o sociales de los individuos que participan en el estudio”; se considera no hay riesgo para la integridad de los pacientes, por lo que no se solicita consentimiento informado.

El proyecto fue revisado y aprobado por el comité de ética para la investigación de la USS Tunal. Se diseñó un estudio observacional de corte transversal para evaluar la validez de la escala de Alvarado durante junio y diciembre de 2015, en pacientes de 18 a 50 años de edad. Se comparó el puntaje obtenido, luego del examen médico, aplicando esta escala con el diagnóstico histopatológico definitivo, en los pacientes a los que se les extirpó el apéndice. Para ello, se creó

un instrumento que incluyó las ocho variables propuestas por la escala de Alvarado y el sexo del paciente, el puntaje obtenido (0 a 4; 5 a 7; 8 a 10), el hallazgo quirúrgico, el informe histopatológico y la opción de diagnóstico definitivo, en caso de que el diagnóstico histopatológico fuera negativo para apendicitis.

Se incluyeron los pacientes de 18 a 50 años de edad que consultaron por dolor abdominal en fosa ilíaca derecha, que fueron interconsultados al servicio de cirugía general de la USS Tunal, durante el periodo evaluado. Se excluyeron los pacientes fuera del rango etario mencionado, con apendicectomía previa, pacientes con dolor abdominal no localizado en fosa ilíaca derecha y pacientes femeninas en estado de gestación.

Teniendo en cuenta las estadísticas del DANE, en 2015 la población total de Bogotá fue 7'878.783 personas (DANE Proyecciones de población total. Periodo 2005-2020) y, de acuerdo a la literatura, el 7% de la población, en general, padecerá apendicitis aguda, en algún momento de su vida (Ospina *et al.* 2011), lo cual, quiere decir que es probable que, durante el 2015, 551.514 personas residentes en Bogotá podrían haber padecido apendicitis, es decir, 275.759 personas, por semestre. Por lo que se tomó una muestra representativa de 161 casos de dolor sugestivo de apendicitis, que se presentaron durante el periodo de junio a diciembre de 2015 y que fueron interconsultados al servicio de cirugía general de la USS Tunal, para estudiar la validez de la escala de Alvarado. Cabe mencionar que la población total con dolor abdominal localizado en fosa ilíaca derecha, sin discriminar pacientes, fue de 9.644.

Se solicitó en el área de sistemas del hospital la base de datos de pacientes que consultaron al servicio de urgencias por dolor abdominal sugestivo de apendicitis y posteriormente fueron remitidos al servicio de cirugía general de este hospital para su valoración, realizada en un comienzo por el estudiante o interno del servicio y ratificada después por el residente o cirujano general de turno; se tomó una muestra aleatoria de 161 casos, correspondiente a la población finita, que se mencionó anteriormente, es decir, 275.759 personas y durante tres días se revisaron las historias clínicas correspondientes.

Los datos recogidos se analizaron Mediante comandos en Stata 10 ® y MedCalc Statistical Software versión 17.4, y Excel 2013. Los dos primeros, se usaron para determinar los puntos de corte y la curva ROC y, el segundo, permitió hallar las frecuencias y el promedio de los datos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El dolor abdominal es uno de los motivos de consulta más frecuentes al servicio de urgencias (Bejarano *et al.* 2011), siendo la apendicitis una de las entidades más usuales dentro de sus causas, convirtiéndola en un motivo constante de interconsulta al servicio de cirugía general, donde se revalorara al paciente, teniendo en cuenta ciertos parámetros, que permiten una sospecha bastante cercana al diagnóstico de apendicitis aguda. Estos parámetros (defensa abdominal en fosa ilíaca derecha, rebote positivo-blumberg presente, temperatura  $>37,5^{\circ}\text{C}$ , náuseas o vómito, dolor abdominal migratorio, anorexia, leucocitosis  $>10.500/\text{mm}^3$  y neutrofilia  $>75\%$  (Ohle *et al.* 2011), forman parte de la escala de Alvarado, que ha sido usada para clasificar a los pacientes en tres tipos de riesgo: bajo, intermedio y alto; esto determinará el manejo que le será dado a cada uno. Los parámetros evaluados son: defensa abdominal en fosa ilíaca derecha, rebote positivo (blumberg presente), temperatura  $>37,5^{\circ}\text{C}$ , náuseas o vómito, dolor abdominal migratorio, anorexia, leucocitosis  $>10.500/\text{mm}^3$  y neutrofilia  $>75\%$  (Ohle *et al.* 2011).

El diagnóstico de apendicitis es netamente clínico y aunque no haya un signo que con certeza prediga la presencia de la enfermedad, el puntaje dado por la escala de Alvarado permite una aproximación al diagnóstico, reduciendo, así, la extirpación de apéndices sanos (Ricci *et al.* 2015). Es por ello, que en la guía de práctica clínica para apendicitis de la USS Tunal, la escala de Alvarado se encuentra contemplada para el diagnóstico de la misma (Vega *et al.* 2013).

Durante la recolección de los datos para este estudio, se logró identificar que se acata en las distintas áreas la guía de práctica clínica para aproximarse al diagnóstico clínico de apendicitis aguda, puesto que se evalúa al paciente buscando los parámetros enunciados, en la escala mencionada, permitiendo la clasificación, para posterior intervención, sea quirúrgica o no. El promedio de edad fue 30,5 años y de las 161 historias clínicas estudiadas, el 57% correspondió al género femenino y el 43%, al masculino.

Al haber hecho la clasificación de riesgo, según el puntaje obtenido tras la evaluación, se obtuvo que el riesgo de mayor frecuencia fue el intermedio, 42% de los casos (Tabla 2), determinando la conducta a seguir. Cabe aclarar que, aunque la literatura expone un manejo conservador en los casos de bajo riesgo, en el 22% de los pacientes se usó ecografía, beneficiándose un 19%, del 22% (86%), pues confirmó el diagnóstico de apendicitis aguda. El mayor uso de métodos complementarios imagenológicos (ecografía/TAC) fue aplicado al grupo de riesgo intermedio, con un 75%, tal como

se indica en la bibliografía revisada (Sanabria *et al.* 2010). En el grupo de alto riesgo, 3% de los pacientes requirió uso de TAC, lo cual, permitió descartar el diagnóstico de apendicitis aguda. Es necesario mencionar que el 13% de los pacientes que fueron identificados como riesgo intermedio, por la persistencia y la gravedad de la sintomatología, fueron llevados inmediatamente a cirugía, sin esperar la ayuda imagenológica.

Tabla 2. Riesgo encontrado en el estudio según escala de Alvarado.

Riesgo	Porcentaje
Alto	39
Bajo	19
Intermedio	42
<b>Total</b>	<b>100</b>

El diagnóstico de apendicitis histopatológicamente se confirmó en 103 casos del total de la muestra, siendo más frecuente en el sexo masculino, con un 52% (Ospina *et al.* 2011; Alarcón, 2012). Los 58 casos restantes, se dividieron de la siguiente manera: 22%, no requirió cirugía, resolviendo el cuadro con manejo médico; 9,9%, se intervino quirúrgicamente, hallando otra patología y, 3,1%, solicitó salida voluntaria (Cuadro 1).

Cuadro 1. Diagnósticos negativos para apendicitis.

Riesgo	No requirió intervención quirúrgica	Requirió intervención quirúrgica
<b>Bajo</b>	Dolor abdominal resuelto Impactación fecal IVU Menstruación retrograda Prostatitis aguda Salida voluntaria Salpingitis y ooforitis derechos Vaginitis	Vólvulo
<b>Intermedio</b>	Dolor abdominal resuelto IVU Menstruación retrograda Quiste de varío Salida Voluntaria Vulvovaginitis	Absceso tubárico derecho Dolor abdominal resuelto Embarazo ectópico Hemoperitoneo Isquemia mesentérica Plastrón apendicular
<b>Alto</b>	Quiste ovárico derecho	Úlcera péptica perforada Piosalpinx bilateral Salpingitis y ooforitis

Del 9,9% que correspondió al diagnóstico histopatológico o quirúrgico negativo para apendicitis, el 73% (11 pacientes) fueron mujeres, coincidiendo con lo descrito por Sanei *et al.* (2009), Rossini *et al.* (2009), Velázquez *et al.* (2010) y Ohle *et al.* (2011), al evaluar la escala de Alvarado en pacientes femeninas; en edad fértil, la patología ginecológica suele ser enmascarada por los signos sugestivos de apendicitis.

En cuanto a los parámetros a evaluar en la escala de Alvarado, el síntoma más frecuente fue náuseas/vómito, con un 81%; el signo que más se encontró fue defensa abdominal, al valorar la fosa ilíaca derecha, con un 67%; este hallazgo coincide con el estudio adelantado por Hernández *et al.* (2012) y el paraclínico que, de manera habitual, se encontró positivo, fue leucocitosis, con un 77% (Tabla 3).

La validez de la escala de Alvarado en la USS Tunal, se evaluó mediante la sensibilidad y la especificidad, que tienen como función juzgar la prueba como tal y mediante el valor predictivo positivo y el valor predictivo negativo, que determinan la capacidad que tiene la prueba de diagnosticar o descartar la presencia de la enfermedad.

En la tabla 4, se presentan las características operativas de la escala de Alvarado, de acuerdo a cada punto de corte. El área bajo la curva (ROC) fue de 0,85 (gráfica 1), la sensibilidad obtenida es 68,9% y la especificidad es 86,2%; lo hallado

Tabla 3. Distribución de las variables en la población estudiada.

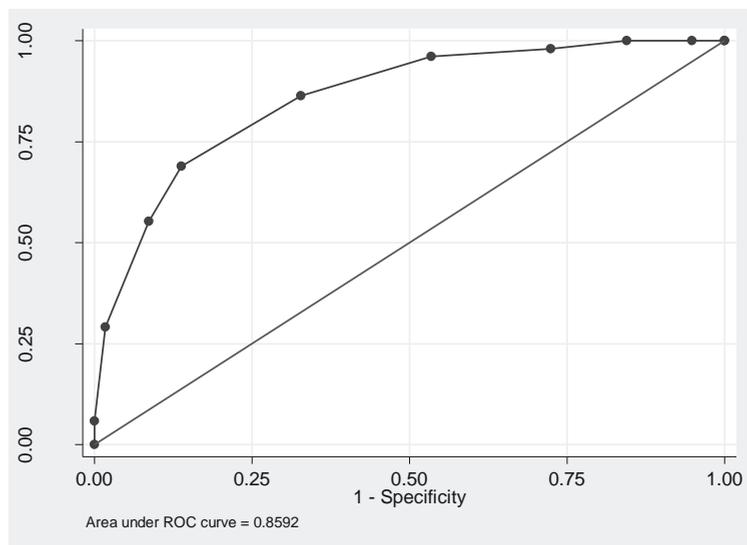
Variable	Porcentaje
Náuseas o vómito	81%
Leucocitosis >10.500/mm <sup>3</sup>	77%
Anorexia	73%
Defensa abdominal, fosa iliaca derecha	67%
Neutrofilia >75%	66%
Signo de Rebote positivo. Signo de Blumberg positivo	63%
Dolor abdominal migratorio	58%
Temperatura (fiebre)>37.5°C	27%

coincide con los resultados de otros estudios revisados (Anderson & Andersson, 2008; Cedillo *et al.* 2012; Sanabria *et al.* 2010).

Se concluye, en este estudio, que la escala de Alvarado aplicada, de manera adecuada, a los pacientes que son interconsultados al servicio de cirugía general de la USS Tunal,

Tabla 4. Características operativas por puntos de corte de la escala de Alvarado.

Punto de corte	Sensibilidad	95% CI	Especificidad	95% CI	LR+	LR-
≥1	100,00	96,5 - 100,0	0,00	0,0 - 6,2	1,00	
>2	100,00	96,5 - 100,0	15,52	7,3 - 27,4	1,18	0,00
>3	98,06	93,2 - 99,8	27,59	16,7 - 40,9	1,35	0,070
>4	96,12	90,4 - 98,9	46,55	33,3 - 60,1	1,80	0,083
>5	86,41	78,2 - 92,4	67,24	53,7 - 79,0	2,64	0,20
>6	68,93	59,1 - 77,7	86,21	74,6 - 93,9	5,00	0,36
>7	55,34	45,2 - 65,1	91,38	81,0 - 97,1	6,42	0,49
>8	29,13	20,6 - 38,9	98,28	90,8 - 100,0	16,89	0,72
>9	5,83	2,2 - 12,2	100,00	93,8 - 100,0		0,94
>10	0,00	0,0 - 3,5	100,00	93,8 - 100,0		1,00



Gráfica 1. Curva ROC de la escala de Alvarado.

por dolor abdominal sugestivo de apendicitis aguda; se hace un buen uso de la misma, lo que permitió, en la mayoría de los casos, una relación positiva del puntaje dado por la escala, con el reporte histopatológico para apendicitis. A pesar de esto, es claro que la misma es susceptible de presentar falsos positivos, los cuales, son más frecuentes en el riesgo intermedio y en el género femenino. La escala de Alvarado es de gran utilidad, como prueba diagnóstica.

**Agradecimientos.** A la unidad de servicios de salud (USS) Tunal por hacer posible la realización de este estudio, con base en la población que allí acude; de manera especial, a la Dra. Mónica Mora, especialista en cirugía general y cirujana de la USS Tunal, cargo que, como asesora, hizo que este proyecto tuviera el enfoque correcto; al Dr. Néstor Suárez, epidemiólogo de la USS Tunal y coordinador de docencia servicio, por su ayuda, en cuanto al análisis de los resultados del estudio y a la señora Mercedes Rincón, por su colaboración en la realización de este proyecto. Financiación: El presente trabajo fue financiado por los autores. Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado por los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALARCÓN, N. 2012. Asociación entre escala de Alvarado y diagnóstico de apendicitis aguda complicada y no complicada según anatomía patológica en el Centro Médico Naval. *Rev. Horizonte Médico.* 12(2):14-20.
- ANDERSSON, M.; ANDERSSON, R. 2008. The apendicitis inflammatory response score: A tool for the diagnosis of acute apendicitis that out performs the Alvarado score. *World J. Surg.* 32:1843-1849.
- BEJARANO, M.; GALLEGO, C.; GÓMEZ, J. 2011. Frecuencia de abdomen agudo quirúrgico en pacientes que consultan al servicio de urgencias. *Rev. Col. Cir.* 26(1):33-41.
- CAYCEDO, R. 2013. Abdomen agudo. En: Caycedo, R. (ed). *Médica Celsus, Cirugía general*, 3rd ed. Colombia: Celsus. Bogotá, Colombia. 303p.
- CEDILLO, E.; SANTANA, I.; GONZÁLEZ, R.; ONOFRE, J.; GARTZ-TONDORF, G. 2012. Sensibilidad y especificidad de la escala de Alvarado en el diagnóstico de apendicitis aguda comparada con TAC o ultrasonido en las primeras 24 horas de evolución. *Rev. Cirujano General.* 34(2):107-110.
- DANE. 2005. Proyecciones de población total por años y sexo, según departamentos periodo 2005-2020. Cuadro 7: 50. Bogotá, Colombia.
- DE QUESADA, L.; IVAL, M.; GONZÁLEZ, M. 2015. La escala de Alvarado como recurso clínico para el diagnóstico de la apendicitis aguda. *Rev. Cubana de Cirugía.*54:2.
- HERNÁNDEZ, L.; DOMÍNGUEZ, D. 2012. Sensibilidad y especificidad de la escala de Alvarado en apendicitis aguda en el Hospital Regional de alta especialidad de Veracruz. *Rev. Cirujano General.* 34(3):179-184.
- KHAN, I.; UR REHMAN, A. 2005. Application of Alvarado scoring system in diagnosis of acute apendicitis. *J. Ayub. Med. Coll. Abbottabad.* 17(3):41-44.
- MINISTERIO DE SALUD. 1993. Resolución 8430 de 1993. Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. Artículo. 11, sección a. Bogotá, Colombia.
- OHLE, R.; O'REILLY, F.; O'BRIEN, K.; FAHEY, T.; DIMITROV, B. 2011. The Alvarado score for predicting acute apendicitis: A systematic review. *BMC Medicine.* 9(139):1-13.
- OSPINA, J.; BARRERA, L.; MANRIQUE, F. 2011. Utilidad de una escala diagnóstica en casos de apendicitis aguda. *Rev. Col. Cir.* 26:234-241.
- PAULSON, E.; KALADY, M.; PAPPAS, T. Suspected apendicitis. 2003. *N. Engl. J. Med.* 348(3):236-242.
- RICCI, L.; FERREYRA, C.; CÓRDOBA, M.; RIOS, A.; STATI, M. 2015. Apendicitis aguda según los criterios de Alvarado. *Rev. Argent Cirug.* 107(2):57-62.
- ROSSINI, S.; HABERMAN, D.; GONZALEZ, R. 2009. Utilidad de la tomografía computada en pacientes con dolor en fosa iliaca derecha: Apendicitis aguda y su diagnóstico diferencial. *Rev. Argent. Radiol.* 73(1):51-63.
- SANABRIA, A.; MORA, M.; DOMÍNGUEZ, L.; VEGA, V.; OSORIO, C. 2010. Validación de la escala diagnóstica de Alvarado en pacientes con dolor abdominal sugestivo de apendicitis en un centro de segundo nivel de complejidad. *Rev. Col. Cir.* 25(3):195-201.

17. SANEI, B.; MAHMOODIEH, M.; HOSSEINPOUR, M. 2009. Evaluation of validity of Alvarado scoring system for diagnosis of acute appendicitis. Pak. J. Med. Sci. 25(2):298-301.
18. SINGH, K.; GÚPTA, S.; PARGAL, P. 2008. Application of Alvarado scoring system in diagnosis of acute appendicitis. Jk Science. 10(2):84-86.
19. VEGA, C.; MUÑOZ, N.; CHIQUIZA, L.; BARRETO, S. 2013. Consenso cirujanos; COVE e infectología.
20. VELÁZQUEZ, J.; GODÍNEZ, C.; VÁZQUEZ, M. 2010. Evaluación prospectiva de la escala de Alvarado en el diagnóstico de apendicitis aguda. Rev. Cirujano General. 32(1):17-23.

Recibido: Mayo 3 de 2016

Aceptado: Mayo 31 de 2017

#### Cómo citar:

Peralta R., K.V.; Caballero R., C.A.; Mora V., M. del P. 2017. Validez diagnóstica de la escala de Alvarado en pacientes con dolor abdominal sugestivo de apendicitis en un hospital de tercer nivel del sur de Bogotá. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 5-11.



# GEOMETRÍA FRACTAL Y EUCLIDIANA APLICADA AL DIAGNÓSTICO DE GRADOS DE LESIÓN DE CÉLULAS DE CUELLO UTERINO

## EUCLIDIAN AND FRACTAL GEOMETRY APPLIED TO THE DIAGNOSIS OF LESIONS FROM CERVICAL CELLS

Javier Rodríguez<sup>1</sup>, Miguel Sánchez<sup>2</sup>, Freddy Barrios<sup>3</sup>, Yolanda Soracipa<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Med Director del Grupo Insight. Centro de Investigaciones Clínica del Country, Carrera 79B No. 51-16 sur Int 5, Apt 102, Bogotá, Colombia, e-mail: grupoinsight2025@yahoo.es; <sup>2</sup> Med Director de Investigación y Proyección Social, Líder grupo de investigación Salud Sexual y Reproductiva. Universidad El Bosque, Carrera 7b Bis N° 132-11, Bogotá, Colombia, e-mail: sanchezcmiguel@unbosque.edu.co; <sup>3</sup> Estudiante de la Maestría de Salud Sexual y Reproductiva. Universidad El Bosque, Carrera 7b Bis N° 132-11, Bogotá, Colombia, e-mail: fbarriosa@unbosque.edu.co; <sup>4</sup> Lcda. Investigadora Grupo Insight. Centro de Investigaciones Clínica del Country, Bogotá, Colombia, e-mail: grupoinsight2025@yahoo.es

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 13-21, Enero Junio, 2017

### RESUMEN

Previamente, se desarrolló una metodología diagnóstica para lesiones preneoplásicas y neoplásicas de células de cuello uterino, a partir de medidas euclidianas y fractales simultáneas. En este trabajo, el objetivo era confirmar la concordancia diagnóstica de la metodología en células normales y en diferentes estadios de lesión celular. Se tomaron fotografías de 60 células del epitelio escamoso cervical: 10 normales, 10 ASCUS, 20 con lesión intraepitelial de bajo grado (LEIBG) y 20 con lesión de alto grado (LEIAG). Se realizaron medidas de dimensión fractal y del espacio de ocupación de la superficie y el borde del núcleo y citoplasma en el espacio fractal de Box Counting, estableciendo su diagnóstico físico-matemático. Las medidas de la superficie del núcleo estuvieron para normalidad, entre 305 y 651; para ASCUS, entre 1293 y 4588; para LEIBG, entre 986 y 4873 y para LEIAG, entre 567 y 2311. La resta de las fronteras Citoplasma-Núcleo, se encontró entre 238 y 477, para normalidad; entre 185 y 417, para ASCUS; entre 131 y 342, para LEIBG y entre 43 y 117, para LEIAG. Fueron hallados valores de sensibilidad y especificidad del 100%; la razón de probabilidad fue de 0 y el coeficiente kappa de 1. Se confirmó la concordancia diagnóstica a nivel clínico del método físico-matemático, cuantificando de manera objetiva y reproducible el grado de lesión de células de cérvix y estableciendo un diagnóstico objetivo para las células ASCUS, a partir de medidas fractales y euclidianas simultáneas, que mejora los métodos cualitativos de clasificación.

Palabras clave: ASCUS, LEIBG, LEIAG, cáncer de cérvix, citología.

### SUMMARY

A diagnostic methodology for preneoplastic and neoplastic lesions of cervical cells from simultaneous fractals and euclidean measures was developed. In this work the objective was to confirm the diagnostic concordance of the methodology in normal cells and in different stages of progression to disease. For this, 60 photographs of cervical squamous epithelium cells were taken: 10 normal, 10 ASCUS, 20 with low grade – squamous intraepithelial lesion (L-SIL) and 20 high-grade lesion (H-SIL). Measures of fractal dimension and space occupancy of the surface and the edge of the nucleus and cytoplasm were performed in Box Counting Fractal space, establishing their physical-mathematical diagnosis. Measurements of the nucleus surface for normality were between 305 and 651, for ASCUS between 1293 and 4588, for L-SIL, between 986 and 4873 and for H-SIL between 567 and 2311. The subtraction of Cytoplasm-Nucleus border was found between 238 and 477 for normality; between 185 and 417 for ASCUS; between 131 and 342 for L-SIL and between 43 and 117 for H-SIL, finding sensitivity and specificity of 100%, likelihood ratio of 0 and kappa coefficient of 1. Conclusions: the diagnostic concordance at clinical level of the physical-mathematical method was confirmed, objective and reproducible quantifying the degree of injury of cervical cells and establishing an objective diagnosis for ASCUS cells from simultaneous fractals and euclidean measures, which improves qualitative classification methods.

Key words: ASCUS, L-SIL, H-SIL, cervix cancer, cytology.

## INTRODUCCIÓN

La geometría euclidiana estudia los objetos regulares mediante medidas, como la longitud, el área o el volumen. Aplicar estas medidas a objetos irregulares lleva a resultados paradójicos, como lo mostró Mandelbrot (2000), al tratar de utilizar la geometría euclidiana, en la medición de la longitud de la costa de Gran Bretaña; por lo cual, propuso la geometría fractal, como una nueva forma de medir este tipo de objetos irregulares.

Los objetos naturales, que incluyen las estructuras del cuerpo humano, tienen, generalmente, estructura irregular (Goldberger *et al.* 1990). A los objetos irregulares, se les ha denominado fractales, los cuales, se han clasificado en tres tipos: abstracto, estadístico y salvaje; esta última clase es a la que, usualmente, corresponden los objetos naturales y se mide con la dimensión fractal de Box Counting. La dimensión fractal es una medida de la geometría fractal, que muestra el grado de irregularidad del objeto medido (Peitgen *et al.* 1992).

Las pacientes con cáncer cervical son, por lo general, diagnosticadas en etapas tempranas, lo que hace que sus tratamientos sean exitosos, tengan muy buena prognosis y que puedan ser tratadas únicamente con cirugía; sin embargo, un diagnóstico tardío aumenta de forma dramática las probabilidades de metástasis y mortalidad. Más del 20% de pacientes presentan enfermedad extrauterina en el diagnóstico, de acuerdo con Hoekstra *et al.* (2009) y, aproximadamente, del 7 al 12% de las pacientes presentan metástasis pélvica o en los nodos linfáticos, para-aórticos (McMeekin *et al.* 2001; Adab *et al.* 2004; Chan & Kapp, 2007). Estas cifras revelan la importante y urgente necesidad de generar metodologías que ayuden en el diagnóstico oportuno y confiable de la enfermedad, lo que puede llevar a una reducción significativa de riesgo para las pacientes, según Gakidou *et al.* (2008).

La citología cérvico vaginal (CCV) sigue siendo el examen más utilizado para la prevención del cáncer cérvico-uterino (NIH, 1996). Mediante el seguimiento de la evaluación de la CCV es posible detectar la presencia de células con lesiones, que indiquen el desarrollo de la enfermedad; sin embargo, su evaluación se fundamenta en observaciones cualitativas, lo que ha imposibilitado un consenso, a nivel mundial, para su diagnóstico y se ha mostrado que este examen presenta una sensibilidad promedio de solo 51% (Nanda *et al.* 2000). En la evaluación clínica convencional, se utilizan medidas, que incluyen, la observación del tamaño del núcleo y del citoplasma (Schmidt *et al.* 2008), así como la observación

simultánea de varios parámetros cualitativos; no obstante, se presentan problemas de reproducibilidad inter e intra observador (Nanda *et al.* 2000; Lacruz, 2003; Schmidt *et al.* 2008; Geisinger *et al.* 2007).

En busca de una mejor reproducibilidad y objetividad en la evaluación de este examen, se han desarrollado estudios que aplican metodologías fractales para su estudio (Rodríguez *et al.* 2006; Rodríguez *et al.* 2010). Medidas similares se han aplicado a otro tipo de estructuras neoplásicas o preneoplásicas, tal es el caso de la aplicación de la geometría fractal al análisis de mamografías (Lefebvre & Benali, 1995; Pohlman *et al.* 1996; Sankar & Thomas, 2010; Stępień & Stępień, 2010), de cáncer invasivo de vejiga (Luzi *et al.* 1999), de la mucosa oral (Landini & Rippin, 1993) y de tejido ocular (Gazit *et al.* 1995; De Arruda *et al.* 2013; Klatt *et al.* 2013; Metze, 2013).

Recientemente, han sido desarrollados nuevos estudios morfométricos de células de cuello uterino con geometría fractal (Rodríguez, 2011; Rodríguez *et al.* 2013; Rodríguez *et al.* 2014a; Prieto *et al.* 2014). Consisten en evaluaciones matemáticas de carácter objetivo y reproducible del grado de irregularidad de las células del epitelio escamoso de cuello uterino, identificadas microscópicamente como normales (Figura 1 a), atipias escamosas de significado indeterminado (ASCUS) (Figura 1 b), lesiones escamosas intraepiteliales de bajo grado (LEIBG) (Figura 1 c) y lesiones escamosas intraepiteliales de alto grado (LEIAG) (Figura 1 d), basados en medidas fractales del núcleo y citoplasma celular (Tabla 1). Esta perspectiva físico-matemática ha permitido establecer simulaciones de rutas de evolución celular, desde normalidad hasta ASCUS (Rodríguez *et al.* 2013) y LEIBG (Rodríguez *et al.* 2014a), que se pueden observar en la práctica clínica. Prieto *et al.* (2014) desarrollaron un método diagnóstico de la citología de cuello uterino, basado en geometría fractal y euclidiana, que diferencia matemáticamente células normales, LEIBG y LEIAG, diferenciando ASCUS, que pueden tener las relaciones matemáticas de normalidad o de enfermedad. Esto fue posible, gracias al establecimiento de medidas de borde y de superficie de núcleo y citoplasma, en el contexto del espacio fractal, generalizado de Box Counting.

El propósito de este trabajo es confirmar la capacidad diagnóstica y aplicabilidad clínica de la metodología fundamentada en la geometría fractal y euclidiana desarrollada previamente por Prieto *et al.* (2014), para evaluar células de cuello uterino normales ASCUS, LEIBG y LEIAG.

Tabla 1. Definiciones desde las que se fundamenta la metodología del presente trabajo.

Concepto	Definición
<p><b>Dimensión fractal:</b> Medida numérica adimensional del grado de irregularidad de un objeto. Para esta investigación, se utilizará la definición de dimensión fractal de Box-Counting, empleada para fractales salvajes.</p>	<p><b>Ecuación 1: Dimensión fractal de Box-Counting</b></p> $D = \frac{\text{Log}N(2^{-(K+1)}) - \text{Log}N(2^{-K})}{\text{Log}2^{K+1} - \text{Log}2^K} = \text{Log}_2 \frac{N(2^{-(K+1)})}{N(2^{-K})}$ <p>Siendo: N, el número de cuadros que contiene el contorno del objeto; K, el grado de partición de la cuadrícula y, D, la dimensión fractal.</p>
<b>Borde del objeto</b>	Número de espacios ocupados por el borde de los objetos (núcleo y citoplasma), en la rejilla de 2x2 píxeles (Figura 2b).
<b>Superficie del objeto</b>	Se denomina como el número de píxeles que ocupan los objetos, núcleo y citoplasma (Figura 2a).
<b>Resta fronteras Citoplasma-Núcleo</b>	Diferencia entre los valores hallados en la frontera del citoplasma y el núcleo en la rejilla.

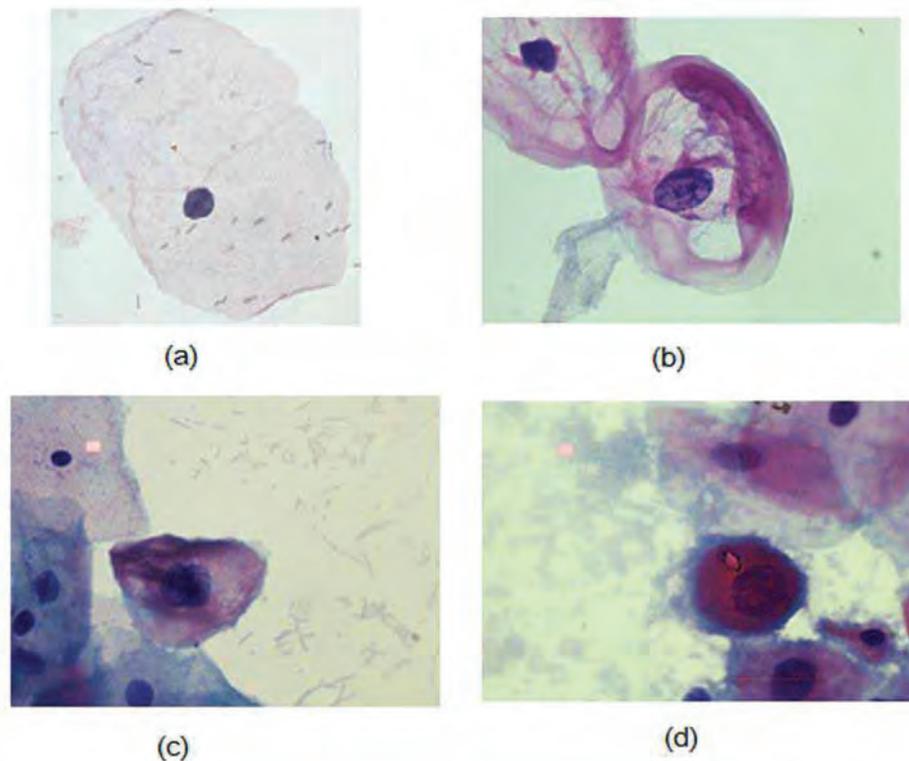


Figura 1. Ejemplos de las células medidas, en su orden: a) célula normal, b) célula Ascus, c) célula LEI bajo grado (LEIBG) y d) célula LEI Alto grado (LEIAG).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Citologías de cuello uterino de 60 mujeres, con edades entre 21 y 58 años, fueron seleccionadas, provenientes de archivos de datos del grupo Insight, presentando reportes

de citología normal y con diferentes grados de lesión hasta carcinoma, de acuerdo con los parámetros convencionales evaluados por un patólogo experto. Los diagnósticos clínicos de las muestras fueron enmascarados, para el desarrollo de un estudio ciego.

Se seleccionó una célula representativa de cada muestra; para esto, se observaron, mediante microscopio, los extendidos de las citologías, en busca de células, cuyas características concordaran con la evaluación clínica de cada una de las clasificaciones analizadas: normal, ASCUS, LEIBG y LEIAG, de acuerdo a la experticia del patólogo. Dichas células fueron fotografiadas con cámara digital (Nikon), a través de microscopio (Nikon Eclipse  $\epsilon 200$ ), con aumento de 100X y analizadas con un editor de imágenes, superponiendo rejillas con cuadros de 2 y 4 píxeles de lado, para el cálculo de la dimensión fractal de los objetos definidos,

que son núcleo y citoplasma sin núcleo de cada célula, empleando un software previamente desarrollado por el Grupo Insight, que realiza una medición de la superficie (Figura 2a) y el borde de núcleo (Figura 2b) y citoplasma con las rejillas que sean definidas y que, asimismo, realiza el cálculo de la dimensión fractal. Se cuantificó el número de cuadros que ocupa la frontera de cada uno de los objetos medidos; seguidamente, se calculó el número de píxeles que ocupa la superficie de los objetos definidos (Tabla 1). A continuación, se calculó la resta entre los valores del borde del núcleo y citoplasma.

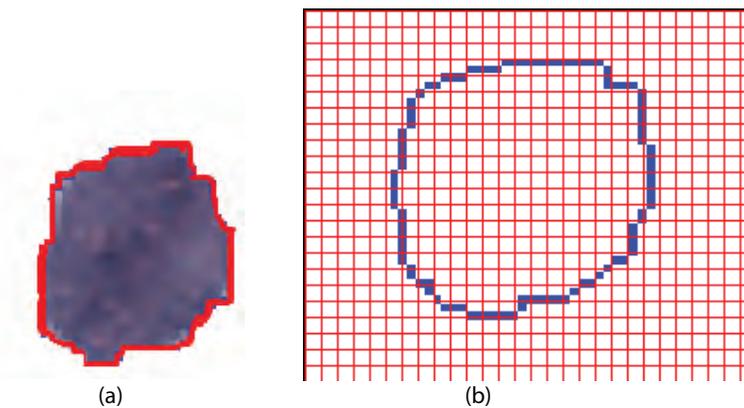


Figura 2. Medidas de las células. a) Superficie del objeto, número de píxeles del área del objeto, en este ejemplo, el número de píxeles dentro del contorno de la figura (línea roja) del núcleo de una célula y b) Magnificación de la imagen de la superposición de la rejilla de 2x2 píxeles, para medir el número de cuadros que ocupa el borde (línea azul) del núcleo de una célula.

Posteriormente, se estableció el diagnóstico físico-matemático, a partir de los siguientes criterios, establecidos en el trabajo previo de Prieto *et al.* (2014): las células normales, se caracterizan por presentar superficies nucleares menores o iguales a 735 y valores mayores o iguales a 161 en la resta de las fronteras Citoplasma-Núcleo; las células LEIBG presentan valores mayores o iguales a 972, en la superficie del núcleo y un valor mayor a 130, en la resta de las fronteras Citoplasma-Núcleo y las células LEIAG, se caracterizan por tener valores menores a 120, en la resta de las fronteras Citoplasma-Núcleo. La diferenciación entre LEIBG y LEIAG, se realiza solo con la resta de las fronteras Citoplasma-Núcleo. El rango 120-130 en el valor de la resta de las fronteras Citoplasma-Núcleo corresponde a la evolución entre células LEIBG Y LEIAG.

**Aspectos éticos:** Este trabajo, se hizo de acuerdo con las guías éticas del artículo 11 de la resolución 008430 de 1993, del Ministerio de Salud de Colombia, donde está clasificado en la categoría de investigación sin riesgo, pues se realizan cálculos matemáticos sobre resultados de exámenes de la práctica clínica, que han sido prescritos médicamente, protegiendo la integridad y anonimato de los participantes y que provienen de bases de datos de investigaciones previas.

**Análisis estadístico:** Se desenmascararon los diagnósticos citopatológicos de las muestras, las cuales, fueron tomadas como Gold-estándar, para desarrollar el análisis estadístico. Para efectos del análisis estadístico, se estableció que las células diagnosticadas histológicamente como LEIBG o LEIAG forman un solo grupo de células patológicas. Para el cálculo de los verdaderos positivos, se tomaron las células que fueron evaluadas como patológicas, tanto por la metodología matemática como por el diagnóstico histológico; los verdaderos negativos correspondieron a las células que fueron evaluadas como normales, tanto por la metodología matemática como por el diagnóstico histológico; para los falsos positivos, se tomaron las células diagnosticadas histológicamente como normales, pero matemáticamente como patológicas y los falsos negativos correspondieron a las células evaluadas matemáticamente como normales, pero con diagnóstico histológico de lesión. Una vez hallados estos valores fue calculada la sensibilidad y la especificidad, mediante una tabla de contingencia de 2 x 2, entendiendo la primera, como la proporción de enfermos adecuadamente identificados y, la segunda, como la proporción de pacientes sanos adecuadamente identificados.

Las células clasificadas como ASCUS, al no tener un diagnóstico histológico específico de lesión o normalidad, fueron excluidas del análisis estadístico. Posteriormente, se calculó la razón de probabilidad y el coeficiente kappa.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este es el primer trabajo de aplicación clínica del diagnóstico fractal y euclidiano de células de cuello uterino observadas en citologías, desde normalidad hasta LEIAG. Se confirmó la capacidad de la metodología para diferenciar normalidad, LEIBG y LEIAG, cuantificando la evolución del proceso pre-neoplásico, a partir de medidas de ocupación celular, en el espacio generalizado del Box-Counting. Las medidas morfológicas desarrolladas revelaron una auto-organización del fenómeno, que permite establecer una evaluación objetiva y reproducible de cada célula, constituyéndose en una herramienta útil de aplicación clínica. Estas medidas matemáticas hechas a la estructura celular en el desarrollo preneoplásico y neoplásico, permiten superar las dificultades de reproducibilidad de los sistemas de clasificación actual, como el Sistema Bethesda.

Se encontró que la superficie del núcleo de las células normales del epitelio escamoso cervical varió entre 305 y 651, para normalidad (Tabla 2); entre 1293 y 4588, para ASCUS; entre 986 y 4873, para LEIBG y entre 567 y 2311, para LEIAG. Estos resultados permiten diferenciar normalidad de ASCUS y de LEIBG; sin embargo, no diferencian normalidad de LEIAG.

Las medidas de la frontera del núcleo de células normales presentaron valores entre 37 y 54; las ASCUS, entre 78 y 131; las LEIBG, entre 72 y 158 y las LEIAG, entre 68 y 105.

Las medidas de la frontera del citoplasma, se encontraron entre 275 y 523, para normalidad; entre 263 y 519, para las células ASCUS; entre 248 y 465, para LEIBG y entre 111 y 203, para LEIAG.

La resta entre los valores de las medidas de la frontera del citoplasma y del núcleo presentó valores entre 238 y 477, para normalidad; entre 185 y 417, para ASCUS; entre 131 y 342, para LEIBG y entre 43 y 117, para LEIAG. Esta medida permite diferenciar, matemáticamente, las células normales de las LEIAG.

Tabla 2. Medidas físico-matemáticas de 20 células: 5 normales, 5 ASCUS, 5 LEIBG y 5 LEIAG, junto con el diagnóstico convencional establecido por patólogo experto y el diagnóstico físico-matemático. Se eligieron las muestras más representativas de cada uno de los estados.

No.	Diagnóstico convencional	Superficie núcleo	Frontera núcleo	Frontera citoplasma	Resta fronteras C-N	Diagnóstico matemático
1	normal	407	37	275	238	Normal
2	normal	305	46	523	477	Normal
3	normal	651	53	307	254	Normal
4	normal	342	39	464	425	Normal
5	normal	466	54	511	457	Normal
6	ASCUS	1293	78	263	185	LEIBG
7	ASCUS	2358	102	519	417	LEIBG
8	ASCUS	3101	131	437	306	LEIBG
9	ASCUS	2506	95	285	190	LEIBG
10	ASCUS	4588	121	489	368	LEIBG
11	LEIBG	986	117	248	131	LEIBG
12	LEIBG	4302	158	465	307	LEIBG
13	LEIBG	3693	120	328	208	LEIBG
14	LEIBG	2565	72	279	207	LEIBG
15	LEIBG	4873	99	441	342	LEIBG
16	LEIAG	743	68	111	43	LEIAG
17	LEIAG	2311	105	203	98	LEIAG
18	LEIAG	1735	85	175	90	LEIAG
19	LEIAG	567	93	139	46	LEIAG
20	LEIAG	1743	77	194	117	LEIAG

Con base en estos valores, se determinó el diagnóstico físico-matemático de cada célula, encontrando que las células diagnosticadas como normales con el diagnóstico matemático fueron consideradas normales, de acuerdo con los parámetros convencionales y lo mismo ocurrió con las LEIBG y LEIAG, presentando el mismo diagnóstico, tanto por el patólogo como por el método matemático. Los valores de las células ASCUS de este estudio, se comportaron matemáticamente como LEIBG, resultado que concuerda con los valores hallados por Prieto *et al.* (2014).

Convencionalmente, para la determinación del estado celular, uno de los criterios usados en las metodologías de clasificación es la observación cualitativa del tamaño del núcleo y del citoplasma (Schmidt *et al.* 2008; Landy *et al.* 2015); sin embargo, este tipo de observación implica problemas de reproducibilidad (Nanda *et al.* 2000; Lacruz, 2003; Schmidt *et al.* 2008; Geisinger *et al.* 2007).

Además, la clasificación ASCUS, implementada por el sistema Bethesda, constituye un espacio de clasificación de células que, por sus características, evaluadas cualitativamente, no se pueden definir claramente como normales, LEIBG o LEIAG.

En contraposición, con esta metodología es posible establecer, cuantitativamente, el orden geométrico de la irregularidad de la frontera y las diferencias de magnitud de superficie nuclear, con las cuales, se pueden determinar diferencias cuantitativas de toda la evolución, entre normalidad hasta distintos grados de lesión, incluyendo las células ASCUS, cuantificando su posible relación con la evolución a estados de mayor gravedad. Al fundamentarse en una armonía geométrica subyacente de la estructura celular, constituye una herramienta diagnóstica, que puede unificar los sistemas de clasificación cualitativa de la citología.

Un estudio realizado por Nanda *et al.* (2000) encontró que la sensibilidad de la CCV era del 51%, mientras que su especificidad era del 98%. Más aun, el valor predictivo positivo (VPP) de discariosis severa/invasiva y citología de neoplasia glandular fue 34 y 12%, respectivamente; el VPP de discariosis grave, entendida como una LEIAG o displasia severa, fue del 4% (Landy *et al.* 2015). La presente investigación halló valores de sensibilidad y de especificidad del 100%, una razón de probabilidad de cero y un coeficiente Kappa de 1, mostrando la mayor concordancia diagnóstica con el Gold Standard. Considerando los hallazgos mencionados y dada la objetividad de la metodología presentada, ligada a la evaluación de un orden geométrico intrínseco a la estructura celular, se considera que podría ser aplicable a cada caso particular, al margen de análisis poblacionales o factores de riesgo.

Actualmente, la utilización de la geometría fractal en medidas de la superficie celular ha cobrado atención, para caracterizar la progresión de estas células hacia cáncer (Guz *et al.* 2015; Bartrés *et al.* 2016), así como para evaluar tejidos (Nicolis *et al.* 2017); sin embargo, aún existen dificultades técnicas (Sokolov *et al.* 2017) y de aplicabilidad, pues varios de estos métodos se basan en la toma de imágenes, a partir de Atomic force microscopy (AFM) o de tecnología que no está disponible en muchos países en vía de desarrollo, por lo que metodologías, como la utilizada en el presente trabajo, permiten hacer una evaluación más directa y de más fácil aplicación, para que pueda ser utilizada de forma masiva, sin tener que depender del avance tecnológico.

Esta nueva metodología diagnóstica, desarrollada por Rodríguez *et al.*, se fundamenta en metodologías previas, basadas en la aplicación de la geometría fractal (Rodríguez *et al.* 2006; Rodríguez *et al.* 2010; Rodríguez, 2011; Rodríguez *et al.* 2014a), evidenciando que la dimensión fractal, evaluada aisladamente, no es suficiente para establecer diferencias matemáticas entre normalidad y LEIBG (Rodríguez *et al.* 2006), por lo que se hizo necesario crear el concepto de Armonía Matemática Intrínseca Celular y Variabilidad de la Dimensión Fractal, para diferenciar ambos estados (Rodríguez *et al.* 2010; Rodríguez, 2011).

Posteriormente, se comenzó a emplear, de manera simultánea, geometría fractal y euclidiana en eritrocitos, por Correa *et al.* (2012), con el fin de implementar medidas objetivas del borde y la superficie, a partir del espacio ocupado por dichas estructuras, en el espacio generalizado de Box Counting. Este nuevo procedimiento aplicado a células de cérvix evidenció que el aumento del valor del borde nuclear indica que se está ante un caso de mayor gravedad, hecho que es independientemente de si la célula es evaluada de forma cualitativa, como ASCUS o LEIBG (Rodríguez *et al.* 2014b).

Gracias a estos hallazgos fue posible establecer la metodología diagnóstica, cuya aplicabilidad se comprueba en el presente trabajo de Prieto *et al.* (2014) y que sirvió también como fundamento para una generalización, en la cual, se establecen todas las posibles trayectorias de evolución de las células de cuello uterino, desde normalidad hasta neoplasia, de aplicabilidad diagnóstica y preventiva (Velásquez *et al.* 2015).

El presente estudio no consideró relaciones causa-consecuencia temporal; en contraposición, se fundamentó en el concepto de ventanas temporales, enunciado por Prigogine, para aludir a fenómenos que no pueden ser descritos mediante medidas continuas (Fernández, 1990). Desde esta perspectiva acausal, la aplicación de la metodología permite incluir y diagnosticar todas las posibles alteraciones celulares, independientemente de la edad, de los factores de ries-

go o de cualquier análisis poblacional, siendo aplicables a cada caso particular.

El presente estudio confirmó la aplicabilidad clínica y la reproductibilidad del método físico-matemático, a partir de medidas fractales y euclidianas simultáneas, al cuantificar, de manera objetiva y reproducible, el grado de lesión de células de cérvix. La metodología permite, además, establecer un diagnóstico objetivo para las células ASCUS, permitiendo superar su indeterminación diagnóstica, lo cual, tendría implicaciones importantes en el diagnóstico oportuno y la reducción de la morbimortalidad.

**Agradecimientos:** Agradecemos a la Universidad El Bosque, especialmente, a su División de Investigaciones, por el apoyo brindado a la investigación. Un agradecimiento especial al Dr. Héctor Posso, Director Científico de la Liga contra el Cáncer, por su apoyo a las investigaciones; también a las doctoras Catalina Correa y Signed Prieto, investigadoras del Grupo Insight, por el manejo del software y ayuda en el análisis de datos. Asimismo, al Centro de Investigaciones de la Clínica del Country por el apoyo a las investigaciones. Financiación: La presente investigación fue financiada por la División de Investigaciones de la Universidad El Bosque; proyecto PIC-2014-19. Conflicto de interés: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

## BIBLIOGRAFÍA

- ADAB, P.; MCGHEE, S.; YANOVA, J.; WONG, CH.; HEDLEY, A. 2004. Effectiveness and efficiency of opportunistic cervical cancer screening comparison with organized screening. *Med Care*. 42:600-609.
- BARTRÉS, A.; OLIVER, S.; PELLICER, B.; OLIVER, L.; CAMPO, V.; BARRIOS, M.; ARANA, E.; GONZÁLEZ, V. 2016. Algorithm programming for 3D fractal dimension evaluation. *Global Medical Engineering Physics Exchanges/Pan American Health Care Exchanges (GMEPE/PAHCE)*, Madrid, p.1-4.
- CHAN, J.K.; KAPP, D.S. 2007. Role of complete lymphadenectomy in endometrioid uterine cancer. *Lancet Oncol*. 8:831-841.
- CORREA, C.; RODRÍGUEZ, J.; PRIETO, S.; BERNAL, P.; OSPINO, B.; MUNÉVAR, A.; ÁLVAREZ, L.; MORA, J.; VITERY, S. 2012. Geometric diagnosis of erythrocyte morphophysiology. *J. Med. Med. Sci*. 3(11):715-720.
- DE ARRUDA, P.F.F.; GATTI, M.; FACIO, F.N.; DE ARRUDA, J.G.F.; MOREIRA, R.D.; MURTA, L.O. Jr.; DE ARRUDA, L.F.; DE GODOY, M.F. 2013. Quantification of fractal dimension and Shannon's entropy in histological diagnosis of prostate cancer. *BMC Clin. Pathol*. 13:6.
- FERNÁNDEZ, A. 1990. Introducción. En: Fernández, A. (ed.). *Orden y Caos*. Barcelona: Prensa Científica S.A. p.4-8
- GAKIDOÚ, E.; NORDHAGEN, S.; OBERMEYER, Z. 2008. Coverage of cervical cancer screening in 57 countries: Low average levels and large inequalities. *PLoS Med*. 5(6):132.
- GAZIT, Y.; BERK, D.A.; LUNIG, M.; BAXTER, L.T.; JAIN, R.K. 1995. Scale – invariant behavior and vascular network formation in normal and tumor tissue. *Phys. Rev. Lett.* (75):2428-2431.
- GEISINGER, K.R.; VRBIN, C.; GRZYBICKI, D.M.; WAGNER, P.; GARVIN, A.J.; RAAB, S.S. 2007. Interobserver variability in human papillomavirus test results in cervico vaginal cytologic specimens interpreted as atypical squamous cells. *Am. J. Clin. Pathol*. 128(6), 1010-1014.
- GOLDBERGER, A.; RIGNEY, D.R.; WEST, B. 1990. Caos y fractales en la fisiología humana. *Investigación y Ciencia*. 163:32-38.
- GUZ, N.V.; DOKUKIN, M.E.; WOODWORTH, C.D.; CARDIN, A.; SOKOLOV, I. 2015. Towards early detection of cervical cancer: Fractal dimension of AFM images of human cervical epithelial cells at different stages of progression to cancer. *Nanomedicine*. 11(7):1667-1675.
- HOEKSTRA, A.V.; KIM, R.J.; SMALL, J.R.; RADEMAKER, A.W.; HELENOWSKI, I.B.; SINGH D.K.; SCHINK, J.C.; LURAIN J.R. 2009. FIGO stage IIIC endometrial carcinoma: prognostic factors and outcomes. *Gynecol Oncol*. 114:273-278.
- KLATT, J.; GERICH, C.; GRÖBE, A.; OPITZ, J.; SCHREIBER, J.; HANKEN, H.; SALOMON, G.; HEILAND, M.; KLUWE, L.; BLESSMANN, M. 2013. Fractal dimension of time-resolved autofluorescence discriminates tumor from healthy tissues in the oral cavity. *J. Craniomaxillofac Surg*. 42(6):852-854.
- LACRUZ, C. 2003. Nomenclatura de las lesiones cervicales de Papanicolau a Bethesda 2001. *Rev. Esp. Patol*. 36(1):5-10.

15. LANDINI, G.; RIPPIN, J.W. 1993. Fractal dimensions of epithelial-connective tissue interfaces in premalignant and malignant epithelial lesions of the floor of mouth. *Anal. Quant. Cytol. Histol.* 15(2):144-149.
16. LANDY, R.; CASTANON, A.; HAMILTON, W.; LIM, A.W.; DÜDDING, N.; HOLLINGWORTH, A.; SASIENI, P.D. 2015. Evaluating cytology for the detection of invasive cervical cancer. *Cytopathology.* 27(3):201-209.
17. LEFEBVRE, F.; BENALI, H. 1995. A fractal approach to the segmentation of microcalcifications in digital mammograms. *Med. Phys.* 22:381-390.
18. LUZI, P.; BIANCIARDI, G.; MIRACCO, C.; DE SANTI, M.M.; DEL VECCHIO, M.T.; ALIA, L.; TOSI, P. 1999. Fractal analysis in human pathology. *Ann. NY Acad. Sci.* 879:255-257.
19. MANDELBROT, B. 2000. ¿Cuánto mide la costa de Bre-taña?. En: Mandelbrot B. (ed.) *Los Objetos Fractales.* Barcelona: Tusquets Eds. S.A.; p.27,50.
20. MCMEEKIN, D.S.; LASHBROOK, D.; GOLD, M.; JOHNSON, G.; WALKER, J.L.; MANNEL, R. 2001. Analysis of FIGO Stage IIIc endometrial cancer patients. *Gynecol Oncol.* 81:273-278.
21. METZE, K. 2013. Fractal dimension of chromatin: potential molecular diagnostic applications for cancer prognosis. *Expert Rev. Mol. Diagn.* 13(7):719-735.
22. NANDA, K.; MCCRORY, D.C.; MYERS, E.R.; BASTIAN, L.A.; HASSELBLAD, V.; HICKEY, J.D.; MATCHAR, D. 2000. Accuracy of the Papanicolaou test in screening for and follow-up of cervical cytologic abnormalities: a systematic review. *Ann. Intern. Med.* 132:810-819.
23. NHI. 1996. Consensus Statement. 14(1): 1-38
24. NICOLIS, O.; KISELÁK, J.; PORRO, F.; STEHLÍK, M. 2017. Multi-fractal cancer risk assessment. *Stoch. Anal. Appl.* 35(2):237-256.
25. PEITGEN, H.; JURGENS, H.; SAUPE, D. 1992. *Chaos and fractals; new frontiers of science.* New York: Springer. p.192-194.
26. POHLMAN, S.; POWELL, K.; OBUCHOWSKI, N.A.; CHILCOTE, W.A.; GRÜNDGEST, S. 1996. Quantitative classification of breast tumors in digitized mam-mograms. *Med Phys.* 23:1337-1345.
27. PRIETO, S.; RODRÍGUEZ, J.; CORREA, C.; SORACIPA, Y. 2014. Diagnosis of cervical cells based on fractal and Euclidian geometrical measurements: Intrinsic Geometric Cellular Organization. *BMC Medical Physics.* 14(2):1-9.
28. RODRÍGUEZ, J.; PRIETO, S.; ORTIZ, L.; WIESNER, C.; DÍAZ, M.; CORREA, C. 2006. Descripción matemática con dimensiones fractales de células normales y con anomalías citológicas de cuello uterino. *Rev. Cienc. Salud.* 4(2):58-63.
29. RODRÍGUEZ, J.; PRIETO, S.; CORREA, C.; POSSO, H.; BERNAL, P.; PUERTA, G.; VITERY, S.; ROJAS, I. 2010. Generalización fractal de células preneoplásicas y cancerígenas del epitelio escamoso cervical. Una nueva metodología de aplicación clínica. *Rev. Fac. Med.* 18(2):173-181.
30. RODRÍGUEZ, J. 2011. Nuevo método fractal de ayuda diagnóstica para células preneoplásicas del epitelio escamoso cervical. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 14(1):15-22.
31. RODRÍGUEZ, J.; PRIETO, S.; TABARES, L.; RUBIANO, A.; PRIETO, I.; DOMÍNGUEZ, D.; PATIÑO, O.; MEJÍA, M.; RAMÍREZ, L. 2013. Evolución de células de cuello uterino desde normales hasta atipias escamosas de significado indeterminado (ASCUS) con geometría fractal. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 303-311.
32. RODRÍGUEZ, J.; PRIETO, S.; MELO, M.; DOMÍNGUEZ, D.; CARDONA, D.M.; CORREA, C.; LÓPEZ, F.; RODRÍGUEZ, L. 2014a. Simulación de rutas de alteración de células de cuello uterino desde el estado normal hasta lesión intraepitelial de bajo grado. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 17(1):5-12.
33. RODRÍGUEZ, J.; PRIETO, S.; CORREA, C.; SORACIPA, Y.; POLO, F.; PINILLA, L.; BLANCO, V.; RODRÍGUEZ, A. 2014b. Metodología diagnóstica geométrica fractal y euclidiana de células de cuello uterino. *IATREIA.* 27(1):5-13.
34. SANKAR, D.; THOMAS, T. 2010. A new fast Fractal modeling approach for the detection of microcalcifications in mammograms. *J. Digit. Imaging.* 23(5):538-546.
35. SCHMIDT, J.L.; HENRIKSEN, J.C.; MCKEON, D.M.; SÁVIK, K.; GÜLBAHCE, H.E.; PAMBUCCIAN, S.E. 2008. Visual estimates of nucleus-to-nucleus ratios:

can we trust our eyes to use the Bethesda ASCUS and LSIL size criteria? *Cancer*. 114(5):287-293.

36. SOKOLOV, I.; DOKUKIN, M.E. 2017. Fractal Analysis of Cancer Cell Surface. En: Zeineldin, R. (ed). *Cancer Nanotechnology: Methods and Protocols*. Ed. Springer New York (New York). p.229-245.

37. STĘPIEŃ, R.; STĘPIEŃ, P. 2010. Analysis of contours of tumor masses in mammograms by Higuchi's fractal dimension. *Biocybern. Biomed. Eng.* 30(4):49-56.

38. VELÁSQUEZ, J.; PRIETO, S.; CATALINA, C.; DOMINGUEZ, D.; CARDONA, D.M.; MELO, M. 2015. Geometrical nuclear diagnosis and total paths of cervical cell evolution from normality to cancer. *J. Cancer Res. Therapeutics*. 11(1):98-104.

Recibido: Febrero 28 de 2016

Aceptado: Marzo 21 de 2017

#### Cómo citar:

Rodríguez, J.; Sánchez, M.; Barrios, F.; Soracipa, Y. 2017. Geometría fractal y euclidiana aplicada al diagnóstico de grados de lesión de células de cuello uterino. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(1): 13-21.



# FACTORES DE RIESGOS PSICOSOCIALES EN AUXILIARES DE ENFERMERÍA DE UN HOSPITAL DE LA RED PÚBLICA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, COLOMBIA

## PSYCHOSOCIAL RISK FACTORS IN PERSONAL ASSISTANT HOSPITAL NURSING CARE OF SECOND LEVEL IN THE CITY OF BOGOTA, COLOMBIA

Cristian Arley Jimenez<sup>1</sup>, Margarita María Orozco<sup>2</sup>, Nelly Esther Caliz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Enfermero. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Bogotá, Colombia, e-mail: crjimenez@udca.edu.co; <sup>2</sup> Enfermera, Especialista en Gerencia de la Salud Ocupacional, Magister en Prevención de Riesgos Laborales, Docente Programa de Enfermería, Facultad Ciencias de la Salud. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Bogotá, Colombia, e-mail: morozco@udca.edu.co; <sup>3</sup> Enfermera, Magister en psicología comunitaria, c.Dr. Salud Colectiva, Docente Programa de Enfermería, Facultad Ciencias de la Salud. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Bogotá, Colombia, e-mail: ncaliz@udca.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 23-32, Enero-Junio, 2017

### RESUMEN

El trabajo en enfermería es considerado como una actividad estresante, tendiente a fomentar la aparición del riesgo psicosocial, por las condiciones de trabajo, propias de los servicios hospitalarios y de la labor de enfermería, lo cual, puede desencadenar alteraciones o daños en la salud, de tipo físico, mental y emocional. El objetivo de esta investigación fue evaluar los factores de riesgos psicosociales en los auxiliares de enfermería, de un hospital de la red pública en la ciudad de Bogotá, Colombia. Estudio cuantitativo, de tipo descriptivo. La muestra estuvo compuesta por 90 auxiliares de enfermería; para la recolección de la información, se utilizó el cuestionario CoPsoQ-istas21, versión 2.0 2014, instrumento que evalúa la exposición al riesgo psicosocial, fundamentado en la prevención. Los resultados evidencian que el 84,5% de los participantes corresponden a sexo femenino, el 52,9%, tiene una edad que no supera los 31 años y el 75,9% tiene un contrato temporal. En cuanto a la exposición de riesgos psicosociales, las dimensiones más desfavorables para la salud fueron el ritmo de trabajo, 97,6%; inseguridad sobre las condiciones de trabajo, 66,1% y las exigencias de esconder emociones, 65,2%. Respecto a las dimensiones favorables para la salud, se destaca el sentido de trabajo, 90,8% y las posibilidades de desarrollo, 90,7%. La investigación evidencia las condiciones psicosociales que pueden repercutir en la salud de la población sujeto de estudio.

Palabras clave: Estrés, enfermería, factores de riesgo, condiciones de trabajo, Riesgo psicosocial.

### SUMMARY

Nursing work is considered as a stressful activity, tending to promote the appearance of psychosocial risk, by the working conditions of the hospital services and nursing work, which can trigger alterations or damages in health, of type Physical, mental and emotional. The objective was to evaluate the psychosocial risk factors in the nursing auxiliaries of a public network hospital in the city of Bogotá, Colombia. Quantitative study, descriptive type. The sample consisted of 90 nursing auxiliaries; for the collection of the information, the questionnaire CoPsoQ-istas21, version 2.0 2014, instrument that evaluates the exposure to psychosocial risk, based on prevention, was used. The results show that 84,5% of the participants correspond to women, 52,9%, have an age that does not exceed 31 years, and 75,9% have a temporary contract. As for the exposure of psychosocial risks, the most unfavorable dimensions for health were the work rate 97,6%, insecurity about working conditions 66,1% and the requirements to hide emotions 65,2%; With respect to the dimensions favorable to health, it emphasizes the sense of work 90,8% and the possibilities of development 90,7%. The research shows the psychosocial conditions that can affect the health of the population under study.

Key words: Stress, nursing, risk factors, working conditions, psychosocial risk.

## INTRODUCCIÓN

El trabajo es una actividad fundamental para la calidad de vida de las personas y le permite al ser humano satisfacer sus necesidades, mediante la producción de bienes y servicios, aunque se constituye en una paradoja, pues contiene elementos que, por un lado, pueden llevar a las personas a la excelencia, pero, por otro, puede producir alteraciones o daños a su salud, física, psicológica, mental y social (Moreno, 2011).

Estas alteraciones en la salud pueden estar determinadas por diferentes características de las condiciones laborales, como son: la organización del trabajo, la carga física y mental, la autonomía en la realización de las actividades y el contexto social del empleado (Moncada *et al.* 2014).

Dicha problemática puede ser resultado del cambio en los modelos laborales, sociales, culturales, económicos y del desarrollo tecnológico, que han originado nuevas técnicas de producción y tendencias de flexibilización laboral, lo que ha generado la incertidumbre, el trabajo precario, la inestabilidad en el empleo y una creciente presión para satisfacer las exigencias de la vida laboral moderna (Quiñones & Rodríguez, 2015; ILO, 2010), cambios importantes, que plantean nuevos retos para la seguridad y la salud de los trabajadores, en la prevención del riesgo psicosocial (ILO, 2010).

Los factores psicosociales, como condiciones potenciales de producir daño, son situaciones presentes en el ámbito laboral, relacionadas con la organización del trabajo, el tipo de puesto, la realización de la tarea e, incluso, con el entorno, que afectan el desarrollo del trabajo y la salud de las personas trabajadoras y la probabilidad de que éstas condiciones generen en el trabajador una alteración en salud, es lo que se denomina riesgo psicosocial (Gil-Monte, 2012).

Los factores de riesgo son diversos en su naturaleza y origen y se constituyen en dimensiones interdependientes de un mismo constructo social y representan la realidad de la organización y las condiciones de trabajo, en las cuales, se encuentra inmerso el trabajador.

Se componen de seis grandes grupos: las exigencias psicológicas, el conflicto trabajo-familia, el control sobre el trabajo, el apoyo social y la calidad de liderazgo, las compensaciones en el trabajo y el capital social y, como dimensiones específicas, se encuentran, entre otras, el ritmo de trabajo, las exigencias cuantitativas, las exigencias emocionales, la doble presencia y el conflicto del rol (Moncada *et al.* 2014).

La falta de control de la exposición en cada uno de los grupos anteriormente descritos, puede producir resultados psicológicos, físicos y sociales negativos, como el estrés laboral,

el agotamiento o la depresión (Gil-Monte, 2009; EU-OSHA, 2016). Para la Organización Internacional de Trabajo (OIT), el estrés es la respuesta física y emocional a un daño causado por un desequilibrio entre las exigencias percibidas, los recursos y las capacidades de un individuo, para hacer frente a esas exigencias (ILO, 2016).

El impacto en la salud de los elevados niveles de estrés varía de un individuo a otro y puede conllevar al deterioro de la salud, a partir de alteraciones físicas, como enfermedades gastrointestinales, cardiovasculares y musculoesqueléticas, entre otras; de la misma forma, puede generar trastornos del comportamiento, como el deterioro de las relaciones interpersonales, la violencia, el abuso en el consumo de alcohol, tabaco y otras sustancias psicoactivas y trastornos mentales, como la ansiedad, la depresión e, incluso, suicidio. Todo lo anterior representa un enorme costo, en términos de sufrimiento humano y de carga económica, para la persona y la sociedad (Moreno & Báez, 2010; ILO, 2016).

Los factores de riesgos psicosociales han venido en aumento, en la medida que se han modificado las condiciones laborales de la población. Al respecto, el panorama epidemiológico en Europa evidencia que el 25% de los trabajadores afirman experimentar estrés relacionado con el trabajo y un porcentaje similar declara que sus labores tienen un efecto negativo en su salud (EUROFOUND & EU-OSHA, 2014).

En Colombia, según los resultados de la II Encuesta Nacional de Condiciones de Seguridad y Salud en el Trabajo (2013), se evidencia que los factores de riesgos psicosociales ocupan el segundo lugar de exposición, seguido de los de tipo ergonómico. Además, se observa el aumento del reporte de acoso laboral, con 9,4% y el incremento del 43%, entre el 2009 y el 2012, del reconocimiento de los trastornos mentales de origen laboral, principalmente, los eventos, como ansiedad y depresión (Ministerio de Trabajo, 2013).

Numerosos estudios, a nivel mundial, indican el incremento a la exposición a riesgos psicosociales y al estrés, lo que evidencia el problema actual en el mundo laboral y ha motivado el interés, preocupación y desarrollo de investigaciones, por diversos científicos, de la conducta humana (Naranjo, 2009; Dos Santos Trettene *et al.* 2016), quienes, a partir de modelos explicativos, buscan plantear respuestas a los efectos psicosociales de las condiciones de trabajo; el más destacado es el Modelo de demanda-control apoyo social de Karasek y Theorell (Gil-Monte, 2012).

El modelo demanda-control apoyo social establece, que las experiencias de estrés surgen cuando las demandas del trabajo son altas y, al mismo tiempo, la capacidad de control de la misma es baja; en este contexto, el riesgo psicosocial se origina de una situación ambiental o personal que influye

sobre el individuo, planteándole demandas o exigencias que no controla o no puede atender, lo que representa una amenaza para la misma (Alcalde de Hoyos, 2010).

Las alteraciones en la salud, derivadas de los factores psicosociales y el estrés, influyen negativamente en el funcionamiento de las organizaciones, afectando su desempeño, debido a que se han relacionado como una de las causas asociadas al incremento de los accidentes de trabajo, el ausentismo laboral, la rotación de personal, la disminución del desempeño y la productividad, además los costos generados por esta problemática (Gómez *et al.* 2014).

El personal que trabaja en instituciones hospitalarias es considerado con un alto riesgo psicosocial; en esta categoría, se incluye el auxiliar de enfermería, quien tiene una función social importante, al proporcionar un cuidado integral, en la atención a individuos con diversas alteraciones en salud, desde el apoyo al diagnóstico médico, tratamiento y rehabilitación, hasta acciones propias de cuidado básico, bajo la responsabilidad y orientación de profesionales en salud (Ministerio de Salud y Protección Social, 2005).

Esta población, se encuentra expuesta a factores de riesgos psicosociales y es especialmente susceptible a desarrollar estrés y alteraciones en su salud física y mental, por cuanto el ejercicio de cuidar implica una exposición a diversos factores de riesgo, sobrecarga laboral y emocional, además de exigencias personales, ocupacionales y familiares (Cogollo & Gómez, 2010; Basset *et al.* 2011). De igual manera, se han evidenciado otros factores, no menos importantes, como la deficiente retribución económica, la falta de liderazgo, previsibilidad, apoyo social y una mayor percepción de inseguridad laboral (Sora *et al.* 2011; Martínez *et al.* 2012), además de un alto riesgo de desarrollar Síndrome de *Burnout* (Gil-Monte, 2009; Avendaño *et al.* 2009; Gómez *et al.* 2009).

Lo expuesto anteriormente indica que el trabajo de enfermería en los servicios asistenciales, sin discriminar la formación técnica y profesional, se convierte en un riesgo para la salud, que se puede iniciar con síntomas físicos y cognitivo conductuales del estrés, pero que, a largo plazo, puede desencadenar alteraciones mayores en su salud física y mental (Moreno, 2011), las cuales, aumentan la prevalencia de ausentismo por enfermedad laboral en esta población, con respecto a otros miembros del equipo de salud (Bargas & Monteiro, 2014).

Partiendo de los antecedentes y de la importancia de la exposición a los factores de riesgos psicosociales, surge una pregunta problema, ¿cuáles son los factores de riesgo psicosociales que pueden afectar la salud y el desempeño laboral de los auxiliares de enfermería que laboran en un hospital de la red pública de la ciudad de Bogotá?

El objetivo de la investigación fue identificar, valorar y analizar la exposición a los factores de riesgos psicosociales en los auxiliares de enfermería, de un hospital de la red pública, en Bogotá; se seleccionó esta población, por las altas demandas laborales que les caracteriza. La investigación permite aportar a la evidencia científica de estudios específicos para auxiliares de enfermería, a nivel nacional e internacional, además sirve de insumo para la planificación de las actividades preventivas en pro del bienestar laboral.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Tipo de estudio:** La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con diseño de un estudio descriptivo, de corte transversal.

**Participantes:** La población objeto de estudio para la evaluación del riesgo psicosocial, se conformó por auxiliares de enfermería, hombres y mujeres, mayores de 18 años, con diferentes modalidades de contratación y antigüedad laboral mayor a un mes, que labora en los servicios de hospitalización, unidad de cuidados intensivos, urgencias, salas de cirugía y sala de parto, de un hospital de la red pública en Bogotá, correspondiente a 134 auxiliares de enfermería.

**Muestra:** De tipo intencional, conformada por 90 participantes, quienes voluntariamente respondieron el cuestionario, equivalentes al 67% de la población. Como criterios de inclusión, se tuvieron en cuenta que fueran auxiliares de enfermería y laborar en áreas asistenciales. Se excluyeron aquellos que no respondieron por completo el cuestionario.

**Variables de estudio:** Se definieron variables sociodemográficas (edad, sexo), relativas a la contratación (antigüedad y relación laboral), variables relativas a las dimensiones psicosociales: ritmo de trabajo, inseguridad sobre las condiciones de trabajo, exigencias de esconder emociones, conflictos del rol, exigencias emocionales y exigencias cuantitativas.

**Materiales e instrumentos:** En el desarrollo de la investigación, se tuvo en cuenta los lineamientos establecidos en el CoPsoQ-istas21, versión 2.0 - 2014.

Para la recolección de la información, se utilizó el cuestionario CoPsoQ-istas21, versión 2.0- 2014, instrumento estandarizado, validado y fiable, de referencia en la disciplina de la psicología laboral, a nivel internacional, el cual, está basado en evidencia científica de la teoría general del estrés.

El cuestionario evaluó 5 grandes grupos y 20 dimensiones psicosociales, a las que se considera que un trabajador puede estar expuesto en el ámbito laboral; los valores de referencia de cada dimensión, se distribuyen en terciles, los cuales, han sido etiquetados de color verde, que incluyen, las pun-

tuciones más favorables para la salud: amarillo, puntuaciones intermedias y rojo, puntuaciones más desfavorables para la salud.

El instrumento contenía 109 preguntas cortas, con respuestas tipo Likert: 25 sobre las condiciones de empleo y trabajo, 69 relacionadas con la exposición a factores psicosociales y 15 sobre salud y bienestar personal. Fue aplicado previo consentimiento informado, en forma individual, anónima; el tiempo de diligenciamiento fue en promedio de 40 minutos y su recogida se realizó en un buzón, manteniendo el anonimato de la información. La sistematización de los datos obtenidos en las encuestas fue ingresada a una base de datos, para su procesamiento y análisis posterior. Para ello, se utilizó la aplicación informática que aporta el método CoPsoQ-istas21.

El análisis de la información, se realizó por medio de estadísticas descriptivas, que permitieron observar el comportamiento de las dimensiones estudiadas.

**Consideraciones éticas:** El estudio cumplió con los requerimientos establecidos por la Resolución 8430 de 1993, “por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud” y fue clasificada como un estudio sin riesgo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La población participante del estudio fue auxiliares de enfermería, con un promedio de edad que no supera los 31 años, lo que significa que es una población joven, en etapa productiva. En cuanto al género, el 84,5% corresponde al femenino, condición socio-demográfica esperable en la población de enfermería, relacionada históricamente con el rol de cuidadoras, atribuido a la mujer. Al respecto, Mosqueda *et al.* (2013), lo señalan como una tendencia a la feminización del sector salud, desde el siglo XX hasta la fecha, lo que se debe tener en cuenta a la hora de analizar los factores psicosociales laborales, desde una perspectiva de género y que Dalri *et al.* (2014), ratifica en su investigación sobre carga horaria de trabajo de los enfermeros y su relación con las reacciones fisiológicas de estrés, en el que, el 89,4% del personal de enfermería, es de sexo femenino.

Referente al tipo de contratación, el 75,9% tuvo una relación laboral temporal, situación que responde a las actuales formas de contratación en el país, lo que no garantiza la perspectiva de un futuro digno como trabajador y mucho menos para sus familias (Morales, 2014). Esta condición, se agudiza con la variable antigüedad laboral, pues el 44% del personal ha trabajado entre 1 y 6 meses, aspecto que puede indicar una alta rotación de recurso humano, posiblemente, en busca de mejores condiciones laborales o por políticas internas de la empresa (Tabla 1).

Tabla 1. Características de la población sujeto de estudio.

Características de la población	Variable	Escala de clasificación de la variable	N	%
Socio-demográficas	Edad	Menos de 31 años	46	52,9
		Entre 31 y 45 años	30	34,5
Más de 45 años		11	12,6	
No contesta		3		
Sexo	Mujer	76	85,4	
	Hombre	13	14,6	
	No contesta	1		
Relativas a la contratación	Relación laboral con la institución de trabajo	Temporal	63	75,9
		Planta	3	3,6
		Operador	4	4,8
		No contesta	7	
	Antigüedad laboral	Menos de 30 días.	7	8,3
		Entre 1 y hasta 6 meses.	37	44,0
		Más de 6 meses y hasta 2 años.	20	23,8
		Más de dos años.	20	23,8
No contesta.	6			
n= 90 Auxiliares de Enfermería.				

En cuanto a las dimensiones que constituyen los factores de riesgos psicosociales laborales en los auxiliares de enfermería, la investigación muestra las exposiciones al riesgo psicosocial por terciles, ordenadas en función de porcentajes y clasificadas, según el método, en: situación más desfavorable para la salud (rojo), intermedias o medianamente desfa-

vorables para la salud (amarillas) y bajas o favorables para la salud (verdes).

Por lo amplio y las características del estudio, se presentarán las dimensiones más prevalentes, que pueden afectar o favorecer la salud de la población de auxiliares de enfermería (Tabla 2).

Tabla 2. Exposiciones al riesgo psicosocial del personal auxiliar de enfermería, ordenadas en función del porcentaje de trabajadores/as. En la situación más desfavorable para la salud (Rojo), intermedia (Amarilla) y favorables (verde).

	Dimensión	Más desfavorable	Situación intermedia	Más favorable
<p><b>MÁS PROBLEMÁTICAS</b></p>  <p><b>MENOS PROBLEMÁTICAS O FAVORABLES</b></p>	Ritmo de trabajo	97,6	1,2	1,2
	Inseguridad sobre las condiciones de trabajo	66,1	27,1	6,8
	Exigencias de esconder emociones	65,2	23,2	11,6
	Conflicto de rol	51,3	23,7	25
	Exigencias emocionales	50,6	28,4	21
	Exigencias cuantitativas	46,9	35,8	17,3
	Inseguridad sobre el empleo	46,7	28,3	25
	Doble presencia	44,7	34,2	21,1
	Apoyo social de superiores	44	34,5	21,4
	Calidad de liderazgo	40,8	42,1	17,1
	Claridad del rol	39,3	42,9	19,9
	Previsibilidad	38,6	39,8	21,7
	Apoyo social de compañeros	36	42,7	21,3
	Justicia	24,3	24,3	51,4
	Influencia	20	32	48
	Sentimiento de grupo	15,9	35,2	48,9
	Reconocimiento	7,7	10,3	82,1
	Confianza vertical	7,7	5,1	87,2
	Sentido de trabajo	2,3	6,9	90,8
	Posibilidades de desarrollo	0	9,3	90,7

A continuación, un análisis descriptivo de los resultados más significativos de la investigación. En cuanto a las dimensiones desfavorables, los hallazgos fueron los siguientes:

Dimensión ritmo de trabajo: Esta dimensión corresponde a la exposición más desfavorable para la salud en la población sujeto de estudio, con un 97,6% que, según Moncada *et al.* (2014), constituye la exigencia psicológica referida a la intensidad del trabajo. En este sentido, el estudio mostró que la población debe trabajar muy rápido y mantener un ritmo de trabajo alto durante toda la jornada, comportamiento significativamente superior al presentado por Ceballos *et al.* (2015), en el estudio sobre Factor psicosocial y carga mental en enfermería, en el cual, el 64% de los participantes manifestaron un volumen de trabajo elevado, en relación al tiempo disponible.

El alto ritmo de trabajo en auxiliares de enfermería responde a las condiciones laborales actuales a las que está sometido el trabajador de la salud, como las diversas formas de contratación, que han involucrado una mayor producción y prestación de servicios, con consecuencias, como: el aumento en las jornadas, la intensidad, el poco tiempo para desarrollar el trabajo y la falta de un reconocimiento salarial, acorde a la labor realizada (Mesa *et al.* 2010; Dalri *et al.* 2014; Hernández, 2015). También, el ritmo de trabajo se intensifica por otros factores, como servicios que demandan mayor atención de los pacientes por su complejidad, la falta de personal en las instituciones para cubrir las demandas y la presencia de dos vínculos de empleo (Barrios *et al.* 2012).

De acuerdo a lo anterior, el alto ritmo de trabajo y la sobrecarga laboral, traen consigo consecuencias, como los trastornos músculo-esqueléticos, el ausentismo o la disminución de la productividad (Moreno & Báez, 2010; Trindade *et al.* 2014) y constituirse en un factor de riesgo psicosocial prioritario, que puede desencadenar alteraciones en la salud, como se evidenció en un estudio realizado por Sancinetti *et al.* (2009), en Sao Paulo, en Brasil, en el cual, los técnicos de enfermería fueron los que presentaron mayor cantidad de ausentismo, asociado a alteraciones osteomusculares, con un 41,5% y trastornos mentales y comportamentales, con un 28,4%. En dicho estudio, el porcentaje mensual de licencias por enfermedad fue inversamente proporcional a la tasa de ocupación, sugiriendo que el personal de enfermería se ausentó por enfermedad, después de haber sido sometidos a un alto ritmo de trabajo.

Dimensión inseguridad sobre las condiciones de trabajo: Esta dimensión es entendida como la preocupación por el futuro, en cuanto a los cambios no deseados de aspectos laborales relacionados con el puesto, las tareas, el horario y el salario (Moncada *et al.* 2014) y que en la investigación de Torres *et al.* (2013), se asocia al gran compromiso que deben asumir en la

institución y la incertidumbre que sienten cuando se acerca la fecha de terminación del contrato de trabajo.

Frente a esta dimensión, se encontró una exposición en el 66,1% de la población, resultado inferior al presentado por Bustillo *et al.* (2015), quienes evidenciaron que el 90% del personal que participó en su estudio indicó, como factor estresante, la falta de la estabilidad laboral y el 67,5%, la rotación de turnos de trabajo, datos que contrastan con los resultados obtenidos por Acevedo *et al.* (2013), sobre sesgos psicosociales en el equipo de salud de Hospitales públicos en la Provincia de Córdoba, Argentina, en donde incluyen personal auxiliar de enfermería, donde solo el 19,3% de los encuestados mencionó inseguridad y preocupación frente al contrato de trabajo.

La inseguridad frente a las condiciones de trabajo, es un nuevo factor de riesgo psicosocial, el cual, se explica, en razón a la situación económica actual y a los cambios sociales y políticos que han ocasionado nuevos modelos de contratación y han afectado al personal de la salud y, de manera importante el colectivo de la enfermería, es altamente estresante para esta población, quienes además de tener una alto ritmo y carga de trabajo, se tienen que enfrentar a cambios de turnos, rotaciones, salarios no acordes con la labor y la inseguridad sobre el tiempo de contratación (Sora *et al.* 2011).

Dimensión exigencias de esconder emociones: Son descritas como las demandas para mantener una apariencia neutral, independientemente del comportamiento de usuarios o clientes, compañeros, superiores u otras personas (Moncada *et al.* 2014). De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación, un 65,2% de los participantes, se encuentran expuestos a esta dimensión, porcentaje superior al referido por Acevedo *et al.* (2013), en donde el 49,6% de los encuestados afirmó tener que guardar emociones y no expresarlas durante su trabajo.

En enfermería, las exigencias de esconder emociones, puede ser la respuesta a la carga emocional que se origina al brindar el cuidado, en un ambiente hospitalario impositivo, inflexible, normativo, competitivo y, en el cual, se pueden deteriorar las relaciones interpersonales, lo que origina la represión de sentimientos, emociones y la necesidad de mantener la imagen y el control ante sus pacientes, colegas y superiores (Seguel *et al.* 2015). Lo anterior, conlleva a la aparición de diversos sentimientos, aún más si se tiene en cuenta que estas exigencias se han convertido en un elemento esencial para la evaluación de la calidad del servicio prestado y la satisfacción del paciente, su familia y las instituciones (Moreno *et al.* 2010).

Dimensión conflicto del rol: Entendida, como aquellas exigencias contradictorias que se presentan en el trabajo y que

pueden suponer conflictos de carácter profesional o ético (Moncada *et al.* 2014). La investigación evidenció una exposición desfavorable, en el 51,3% de la población, comportamiento similar al de Campanario *et al.* (2011), quienes evidenciaron una exposición en el 50% de los encuestados, considerando, como situación estresante, realizar demasiadas tareas, que no son propias de su ejercicio profesional y comportamiento levemente inferior, al de Ceballos *et al.* (2015), quienes encontraron en el 47,7% de la población, que no había claridad del rol en su trabajo. Por el contrario, Acevedo *et al.* (2013) evidenciaron una exposición menos desfavorable, en un 29,5%, en su estudio de riesgos psicosociales.

Al respecto del conflicto del rol, actualmente, las funciones que ejerce el personal auxiliar de enfermería, se caracterizan por el desarrollo de actividades propias y anexas, que exigen las instituciones en relación al cuidado de insumos, infraestructura, entre otros y tareas administrativas delegadas, que están generando el desplazamiento de las actividades propias del cuidado humano, que aumenta la carga de trabajo y conflictúan el que hacer del auxiliar (Mesa *et al.* 2010).

Dimensión exigencias emocionales: Se entiende, como las demandas para no dejarse involucrar en situaciones emocionales derivadas de las relaciones interpersonales, que implica el trabajo (Moncada *et al.* 2014). Al respecto, la investigación arrojó una exposición a esta dimensión, en el 50,6% de los auxiliares de enfermería, comportamiento similar al estudio de Acevedo *et al.* (2013), quienes encontraron una exposición del 49,8% y evidenciaron en la población, el desgaste emocional producido por el trabajo.

Las exigencias emocionales son factores de riesgos psicosociales específicos e intrínsecos al contenido de la tarea y a determinados eventos, íntimamente relacionados con la actividad que se realiza (De Puelles Casenave, 2009); en enfermería surgen en la interacción con el sujeto de cuidado, en la permanente confrontación de convivir con el sufrimiento, el dolor, la muerte; de igual forma, cuando el auxiliar se involucra en aspectos emocionales, familiares y sociales del paciente, lo que genera diversos sentimientos, como la preocupación, el miedo, el rechazo y la desesperación (Costa *et al.* 2009).

Al respecto, Martínez *et al.* (2012) plantean esta dimensión como un excelente predictor para el malestar mental, que puede generar sentimientos de ansiedad, desánimo y tristeza, síntomas conductuales, como irritabilidad, agobio, trastornos del sueño y síntomas cognitivos del estrés, entre ellos: dificultad para concentrarse, tomar decisiones, pensar de forma clara y falta de vitalidad.

Dimensión exigencias cuantitativas: Por sus características, el ritmo de trabajo, se encuentra estrechamente relacionado

con la dimensión exigencias cuantitativas, definidas como las demandas psicológicas, derivadas de la cantidad de tareas, las cuales, son altas, cuando se tienen más actividades de las que se puede realizar, en el tiempo asignado (Moncada *et al.* 2014).

En la investigación, se identificó la exposición del 46,9% de la población a esta dimensión; al respecto, el personal auxiliar de enfermería expresó no tener tiempo para realizar las tareas y la distribución de las mismas es irregular, comportamiento inferior al presentado por Bustillo *et al.* (2015), quienes encontraron que el 75,0% del personal de enfermería consideró que el tiempo disponible de trabajo no es suficiente para alcanzar a realizar todas sus tareas, al igual que Campanario *et al.* (2011), quienes evidenciaron que el 61,1% del personal auxiliar considera que un factor estresante es la falta de tiempo suficiente, para realizar todas sus labores.

Dicho hallazgo es contrario al encontrado por Acevedo *et al.* (2013), en su estudio dirigido a personal de la salud, donde se incluyen profesionales de enfermería y auxiliares, en el cual, el 67,8% de los encuestados mencionó poder hacer su trabajo con tranquilidad.

Esta dimensión, comúnmente, se encuentra relacionada, con la falta de personal, la incorrecta distribución de los tiempos, la inadecuada planificación del trabajo y, de igual manera, con otras condiciones, como el salario, la falta de herramientas, materiales o procesos de trabajo (Moncada *et al.* 2014).

Dimensiones favorables para la salud: Por lo amplio del estudio, se mencionarán las dimensiones más favorables o protectoras para la salud, las cuales, deben ser potenciadas en la población sujeto de estudio.

Los resultados fueron los siguientes: posibilidades de desarrollo, 90,7%; sentido del trabajo, 90,8%; confianza vertical, 87,2% y reconocimiento, 82,1%. Al respecto, las posibilidades de desarrollo son consideradas como la posibilidad de que el auxiliar de enfermería ponga en práctica sus conocimientos y habilidades para aprender nuevas experiencias; el sentido de trabajo, como la oportunidad de poner en práctica los valores éticos, sentirse útil y darle un significado a las tareas que se realizan; la confianza vertical, como la seguridad de que la dirección y los trabajadores actuarán competentemente y el reconocimiento, como la valoración, el respeto y el trato justo por parte de la dirección en el trabajo (Moncada *et al.* 2014).

Finalmente, se concluye que el trabajo del auxiliar de enfermería en los servicios asistenciales, es de alto riesgo psicosocial, lo que puede conllevar a corto, mediano y largo plazo alteraciones y daños en la salud física, mental y emocional,

además de repercutir, a nivel organizacional, por los altos costos derivados del ausentismo, disminución de la productividad y la calidad del servicio.

Por lo anterior, el estudio confirma la importancia de documentar, identificar, valorar y controlar los factores de riesgo psicosociales en la población de auxiliares de enfermería, así como la necesidad de generar estrategias de prevención y control de estos factores de riesgo, con el fin de prevenir alteraciones en la salud, mejorar sus condiciones de trabajo y bienestar y, de esta manera, se fomentan ambientes laborales más saludables, se mejora la productividad, la calidad del servicio y el cuidado humanizado, esencial en la atención de enfermería.

**Agradecimientos:** Los autores agradecen al Docente Luis David Olaya, por la colaboración prestada en la investigación. **Financiación:** El estudio fue financiado por la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A). **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACEVEDO, G.; SÁNCHEZ, J.; FARÍAS, M.; FERNÁNDEZ, A. 2013. Riesgos Psicosociales en el Equipo de Salud de Hospitales Públicos de la Provincia de Córdoba, Argentina. *Ciencia & Trabajo*. (Chile). 15(48):140-147.
- ALCALDE DE HOYOS, J. 2010. Estrés laboral. Informe técnico sobre estrés en el lugar de trabajo. Disponible desde Internet en: [http://www.juntadeandalucia.es/salud/export/sites/csalud/galerias/documentos/c\\_3\\_c\\_1vida\\_sana/promocion\\_salud\\_lugar\\_trabajo/estres\\_laboral\\_informe\\_pslt.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/salud/export/sites/csalud/galerias/documentos/c_3_c_1vida_sana/promocion_salud_lugar_trabajo/estres_laboral_informe_pslt.pdf) (con acceso 23/02/2016).
- AVENDAÑO, C.; BUSTOS, P.; ESPINOZA, P.; GARCÍA, F.; PIERART, T. 2009. Burnout y apoyo social en personal del servicio de psiquiatría de un hospital público. *Ciencia y enfermería*. (Chile). 15(2):55-68.
- BARGAS, E.; MONTEIRO, M. 2014. Fatores relacionados ao absenteísmo por doença entre trabalhadores de Enfermagem. *Acta Paulista de Enfermagem*. (Brasil). 27(6):533-538.
- BARRIOS, A.; ARECHABALA, M.; VALENZUELA, V. 2012. Relación entre carga laboral y burnout en enfermeras de unidades de diálisis. *Enfermería Nefrológica*. (España). 15(1):46-55.
- BASSET, M.; ESTÉVEZ, R.; LEAL, G.; GRANADOS, G.; LÓPEZ, V. 2011. Estrés laboral y personal en los recursos humanos de Enfermería de una Unidad de Psiquiatría en México, D.F. *Enf Neurol*. 10(1):27-31.
- BUSTILLO, M.; ROJAS, J.; SÁNCHEZ, A.; SÁNCHEZ, L.; MONTALVO, A.; ROJAS, M. 2015. Riesgo psicosocial en el personal de enfermería. Servicio de urgencias en hospital universitario de Cartagena. *Duazary*. (Colombia). 12(1):32-40.
- CAMPANARIO, R.; REY, M.; ORTEGA, A.; CARDENO, M. 2011. Situaciones estresantes para el personal de enfermería en observación del hospital universitario virgen del rocío. *Revista científica de la Sociedad española de enfermería de urgencias*. (España). 2(17):1-4.
- CEBALLOS, P.; ROLO, G.; HERNÁNDEZ, E.; DÍAZ, D.; PARAVIC, T.; BURGOS, M. 2015. Psychosocial factors and mental work load: a reality perceived by nurses in intensive care units. *Rev. Latino-am. Enfermagem*. (Brasil). 23(2):315-322.
- COGOLLO, M.; GOMEZ, B. 2010. Condiciones laborales en enfermeras de Cartagena, Colombia. *Av. Enferm*. 28(1):31-38.
- COSTA, F.; VIEIRA, M.; SENA, ROSENI, R. 2009. Absenteísmo relacionado à doenças entre membros da equipe de enfermagem de um hospital escola. *Rev. Bras. Enfermagem*. 62(1):38-44.
- DALRI, R.; SILVA, L.; MENDES, A.; ROBAZZI, M. 2014. Carga horaria de trabajo de los enfermeros y su relación con las reacciones fisiológicas de estrés. *Rev. Latino-Am. Enfermagem*. 22(6):959-965.
- DE PUELLES CASENAVE, C. 2009. Exigencia y carga emocional del trabajo policial: la intervención policial ante catástrofes y emergencias masivas. *Psicopatología clínica legal y forense*. (España). 9:171-196.
- DOS SANTOS TRETTENE, A.; SOARES DE ANDRADE, C.; VON KOSTRISCH, L.; MERIGHI, M.; RIBEIRO, A. 2016. stress in nursing professionals working at a specialized hospital. *Rev. Enfermagem*. (Brasil). 10(12):4450-4458.
- EUROFOUND; EU-OSHA. 2014. Psychosocial risks in Europe: Prevalence and strategies for prevention, Publications Office of the European Union, Luxembourg. Disponible desde Internet en: [file:///C:/Users/internet\\_tt/Downloads/Report%20co-branded%20](file:///C:/Users/internet_tt/Downloads/Report%20co-branded%20)

- EUROFOUND%20and%20EU-OSHA.pdf (con acceso 13/04/2016).
16. EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY HEALTH AT WORK –EU-OSHA-. 2016. Psychosocial risks and stress at work. Disponible desde Internet en: <https://osha.europa.eu/en/themes/psychosocial-risks-and-stress> (con acceso 16/11/2016).
17. GIL-MONTE, P. 2012. Riesgos psicosociales en el trabajo y salud ocupacional. *Rev. Perú. Med. Exp. Salud pública*. 29(2):237-241.
18. GIL-MONTE, P. 2009. Algunas razones para considerar los riesgos psicosociales en el trabajo y sus consecuencias en la salud pública. *Rev. Española de Salud Pública*. 83(2):169-173.
19. GÓMEZ, P.; HERNÁNDEZ, J.; MÉNDEZ, M. 2014. Factores de riesgo psicosocial y satisfacción laboral en una empresa chilena del área de la minería. *Ciencia & Trabajo*. 16(49):9-16.
20. GÓMEZ, M.; ÁLAMO, M.; AMADOR, M.; CEACERO, F.; MAYOR, A.; MUÑOZ GONZÁLEZ, A.; IZQUIERDO, M. 2009. Estudio de seguimiento del desgaste profesional en relación con factores organizativos en el personal de enfermería de medicina interna. *Med. Segur. Trab. (España)*. 55(215):52-62.
21. HERNÁNDEZ, C. 2015. Flexibilidad laboral: ¿fin del trabajo permanente? *Rev de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*. Telos. (Venezuela). 18(2):250-265.
22. INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION –ILO-. 2010. Emerging risks and new patterns of prevention in a changing world of work. Disponible desde Internet en: [http://www.ilo.org/public/portugue/region/eurpro/lisbon/pdf/28abril\\_10\\_en.pdf](http://www.ilo.org/public/portugue/region/eurpro/lisbon/pdf/28abril_10_en.pdf) (con acceso 16/11/2016).
23. INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION –ILO-. 2016. Workplace stress: a collective challenge. Disponible desde Internet en: [http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed\\_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms\\_473267.pdf](http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms_473267.pdf) (con acceso 16/11/2016).
24. MARTÍNEZ, M.; ALBORES, L.; MÁRQUEZ, M. 2012. La integridad mental del personal clínico de un hospital psiquiátrico, asociada a una alta exigencia emocional y a la organización nociva del trabajo. *Salud Mental*. (México). 35(4):297-304.
25. MESA, L.; ROMERO, B.; MARÍA, N. 2010. Profesionales de enfermería y cuidado en las condiciones laborales actuales. *Invest. Enferm.: Imagen y Desarrollo*. (Colombia). 12(2):55-92.
26. MINISTERIO DE SALUD. 1993. Resolución N° 8430. Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la Investigación en salud. Disponible desde Internet en: [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/RESOLUCION%208430%20DE%201993.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/RESOLUCION%208430%20DE%201993.pdf) (con acceso 15/09/2016).
27. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL. 2005. Perfiles ocupacionales y normas de competencia laboral para auxiliares en las áreas de la salud. Disponible desde Internet en: <https://www.minsalud.gov.co/salud/Documents/Perfiles%20Ocupacionales.pdf> (con acceso 28/02/2017).
28. MINISTERIO DE TRABAJO. 2013. Informe Ejecutivo de la Segunda Encuesta Nacional de Condiciones de Seguridad y Salud en el Trabajo en el Sistema General de Riesgos Laborales de Colombia. Disponible desde Internet en: <http://www.fasecolda.com/index.php/ramos/riesgos-laborales/documentos-de-interes/> (con acceso 10/11/2016).
29. MONCADA, S.; LLORENS, C.; ANDRÉS, R.; MORENO, N.; MOLINERO, E. 2014. Manual del método CoPsoQ-istas21 (versión 2) para la evaluación y la prevención de los riesgos psicosociales en empresas con 25 o más trabajadores y trabajadoras versión media. Disponible desde Internet en: [http://www.istas.net/copsoq/ficheros/documentos/v2/manual%20Copsq%20\(24-07-2014\).pdf](http://www.istas.net/copsoq/ficheros/documentos/v2/manual%20Copsq%20(24-07-2014).pdf) (con acceso 11/03/2016).
30. MORALES, E. 2014. La enfermería una fuerza para el cambio: recurso vital para la salud. *Rev. ANEC*. (Colombia) 77:2-3.
31. MORENO, B.; GÁLVEZ, M.; RODRÍGUEZ, R.; GARROSA, E. 2010. Emociones y salud en el trabajo: análisis del constructo “trabajo emocional” y propuesta de evaluación. *Rev. Latinoam. Psicología*. (Colombia). 42(1): 63-73.
32. MORENO, B.; BAEZ, C. 2010. Factores y riesgos psicosociales, formas, consecuencias, medidas y buenas prácticas. Disponible desde Internet en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/PUBLICACIONES%20PROFESIONALES/factores%20riesgos%20psico.pdf> (con acceso 15/09/2016).

33. MORENO, B. 2011. Factores y riesgos laborales psicosociales: conceptualización, historia y cambios actuales. *Medicina y seguridad del trabajo*. (España). 57(1):4-19. 38.
34. MOSQUEDA, A.; PARAVIC, T.; VALENZUELA, S. 2013. División sexual del trabajo y Enfermería. *Index de Enfermería*. (España). 22(1):70-74. 39.
35. NARANJO, M. 2009. Una revisión teórica sobre el estrés y algunos aspectos relevantes de éste en el ámbito educativo. *Rev. Educación*. (Costa Rica). 33(2):171-190.
36. QUIÑONES, C.; RODRÍGUEZ, S. 2015. La reforma laboral, la precarización del trabajo y el principio de estabilidad en el empleo. *Rev. Latinoam. Derecho Social*. (México). 21:179-201.
37. SANCINETTI, T.; GAIDZINSKI, R.; ANDRES, V.; TOGELRO, F.; CAMPOS, P.; CIAMPONE, M.; KURCGANT, P.; DA SILVA, F. 2009. Absenteeism - disease in the nursing staff: relationship with the occupation tax. *Rev. Escola Enfermagem da USP*. (Brasil). 43(2):1277-1283.
38. SEGUÉL, F.; VALENZUELA, S.; SANHUEZA, O. 2015. El trabajo del profesional de enfermería: revisión de la literatura. *Ciencia y Enfermería XXI*. (Chile). 21(2):11-20.
39. SORA, B.; CABALLER, A.; PEIRÓ, J. 2011. Consecuencias de la inseguridad laboral. El papel modulador del apoyo organizacional desde una perspectiva multinivel. *Psicothema*. (España). 23(3):394-400.
40. TRINDADE, L.; GRISA, C.; OSTROVSKI, V.; ADAMY, E.; FERRAZ, L.; AMESTOY, S.; COELHO, A.; BORDIGNON, M. 2014. Absenteísmo na equipe de enfermagem no ambiente hospitalar. *Enfermería Global*. (Brasil). 13(36):138-146.
41. TORRES, A.; ACOSTA, M.; CRUZ, Á. 2013. Burnout y estrategias de afrontamiento en personal de atención en salud en una empresa social del estado nivel 2. *Rev. Col. Salud Ocupacional*. 3(4):16-19.

Recibido: Julio 10 de 2016

Aceptado: Mayo 17 de 2017

#### Cómo citar:

Jiménez, C.A.; Orozco, M.M.; Caliz, N.E. 2017. Factores de riesgos psicosociales en auxiliares de enfermería de un hospital de la red pública en la ciudad de Bogotá, Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(1): 23-32.

# RELACIONES ENTRE DIVERSAS MANIFESTACIONES DE LA FUERZA EN DIFERENTES GRUPOS MUSCULARES EN ADULTOS JÓVENES

## RELATIONSHIPS BETWEEN VARIOUS MANIFESTATIONS OF THE FORCE IN DIFFERENT MUSCLE GROUPS IN YOUNG ADULTS

Jairo Alejandro Fernández Ortega<sup>1</sup>, Luz Amelia Hoyos Cuartas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Doctor en Ciencias del Deporte, Licenciada en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Laboratorio de Fisiología del Ejercicio. Universidad Pedagógica Nacional, Facultad de Educación Física. Calle 72 # 11-86, Bogotá, Colombia, e-mail: jairofdz@pedagogica.edu.co; <sup>2</sup> Doctora en Ciencias del Deporte, Licenciada en Educación Física, Licenciatura en Deporte, Facultad de Educación Física. Universidad Pedagógica Nacional, calle 72 #1 1-86, Bogotá, Colombia, e-mail: hoyos@pedagogica.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 33-42, Enero-Junio, 2017

### RESUMEN

La fuerza y la potencia muscular han sido valoradas en el contexto deportivo o de la salud, con el propósito de determinar su grado de desarrollo; sin embargo, la evidencia de la relación que puede existir entre ellas es escasa y contradictoria. El objetivo del estudio fue identificar la relación entre diferentes manifestaciones de fuerza y de potencia muscular. 37 hombres y 13 mujeres, con edades entre 19 y 23 años, participaron en el estudio. Se evaluó, en miembros superiores e inferiores, la fuerza isométrica, dinámica y la potencia y se midió talla, peso e índice de masa corporal (IMC). No se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de fuerza prensil (FP) de la mano derecha e izquierda ( $p < 0,414$ ). La potencia máxima de miembros superiores (PMMS), se obtuvo con una carga del 4,0%. Se observaron buenas correlaciones ( $0,608^{**}$ - $0,869^{**}$ ), entre: FP y potencia máxima de miembros superiores (PMMS) e inferiores (PMMI); fuerza máxima isométrica del tren inferior (FMII) y potencia media fase propulsiva en press pecho (PMPP); fuerza máxima en media sentadilla (1RMS) con fuerza máxima en press pecho (1RMP), potencia media fase propulsiva en media sentadilla (PMPS) y velocidad media propulsiva en press pecho (VMPP); RMP con PMPP, PMMS, PMMI y PMPS; PMMS con PMMI, PMPS y PMPP; PMMI, con PMPS y VMP en media sentadilla (VMPS); salto con contra movimiento (CMJ) con el salto sin contra movimiento SJ; VMPS con PMPS; PMPS con PMPP; PMMS con CMJ; VMPP con PMMS; y PMPP con CMJ.

Palabras clave: Fuerza isométrica, potencia, fuerza máxima dinámica.

### SUMMARY

Strength and muscular power have been evaluated in the sports or health context to determine their degree of development, however evidence of the relationship between these two muscular manifestations is limited and contradictory. The aim of the study was to identify the relationship between different manifestations of strength and muscular power. Thirty-seven men and thirteen women aged between 19 and 23 years participated in this study. We assessed the power and the isometric and dynamic strength in upper and lower limbs; and size, weight and body mass index (BMI) were measured. No significant differences were identified between prehensile force (PF) values of left and right hand ( $p$ -value  $< 0.414$ ). The maximum power of upper limbs (PMMS) was obtained with a 4.0% load. Good correlations were observed ( $0.608^{**}$ - $0.869^{**}$ ) between: PF and maximum power of upper limbs and lower limbs (PMMI); the maximum isometric force of the lower train (FMII) and the mean power propulsive phase in chest press (PMPP); the maximum force in half squat (1RMS) with maximum force in chest press (RMP), the mean power propulsive in half-squat (PMPS) and the mean propulsive velocity in the chest press (VMPP); the RMP with PMPP, PMMS, PMMI and PMPS; the PMMS with PMMI, PMPS and PMPP; the PMMI with PMPS and the VMP in half squat (VMPS); the counter movement jump (CMJ) with squat jump (SJ); the VMPS with PMPS; the PMPS with PMPP; the PMMS with CMJ; the VMPP with PMMS; and finally, the PMPP with CMJ.

Key words: Isometric strength, muscular power, maximum dynamic strength young adult.

## INTRODUCCIÓN

La fuerza máxima y la potencia que genera el músculo son cualidades de la contracción muscular, que reflejan calidades diferentes. Según Vaara *et al.* (2012), desde el punto de vista fisiológico, la fuerza máxima se entiende como la capacidad que tienen las fibras musculares para producir la mayor tensión al contraerse y depende de factores, tales como el tipo de acción, la velocidad y el grado de activación de la unidad motora (Stone *et al.* 2003a). La fuerza muscular es reconocida como una cualidad física fundamental para el rendimiento deportivo, así como para el mantenimiento de la salud y la mejora de la calidad de vida de las personas. La fuerza muscular es importante en casi todas las disciplinas deportivas y un factor determinante del rendimiento, en la mayoría de ellas. No es de extrañar, por tanto, que el entrenamiento de la fuerza muscular es uno de los pilares básicos de cualquier programa de entrenamiento dirigido, tanto a la mejora del rendimiento deportivo como al desarrollo de una condición física saludable, en el ámbito preventivo o terapéutico.

La potencia muscular es igualmente un componente fundamental para el rendimiento en varios deportes. Es el producto de la fuerza y de la velocidad y se obtiene cuando la fuerza y la velocidad están en valores óptimos, que no son necesariamente los valores máximos. Generalmente, se cree que la fuerza juega un papel importante con respecto a la expresión de la potencia. Lund *et al.* (2006) indican que la potencia depende de múltiples factores y su variabilidad no se puede explicar completamente por la diferencia de fuerza; esta relación puede depender del movimiento, debido a las diferencias en el tipo de acción muscular y la carga externa aplicada. La habilidad para generar potencia máxima está asociada, del mismo modo, por el tipo acción muscular implicada, en particular por el tiempo disponible para desarrollar la fuerza, el almacenamiento y la utilización de la energía elástica, las interacciones de los elementos contráctiles y elásticos, la potenciación de los filamentos contráctiles y elásticos y del reflejo de estiramiento (Cormie *et al.* 2011).

La fuerza máxima influye en la potencia; sin embargo, en los movimientos que involucran el ciclo de estiramiento-acortamiento, las correlaciones entre la fuerza y la potencia serían bajas. Por el contrario, en las acciones concéntricas, la potencia depende más de la fuerza, a medida que aumenta la carga (Haff & Nimphius, 2012); por ejemplo, en acciones isométricas, los valores más elevados de potencia muscular se han observado en cifras cercanas al 30% de la fuerza isométrica máxima, durante movimientos aislados, mientras que en acciones anisométricas, aproximadamente, entre el 50 y 60% de la fuerza máxima, en sentadilla (Kawamori & Haff, 2004; Lund *et al.* 2006; Jones *et al.* 2016).

La velocidad juega un papel importante en el desarrollo de la potencia, pero a diferencia de la fuerza, ésta discurre por caminos paralelos. Se ha identificado que la potencia máxima en movimientos dinámicos se obtiene a velocidades entre 100 y 80 m·s<sup>-1</sup>, que han sido consideradas como referentes para expresar y dosificar la intensidad del entrenamiento (Gorostiaga *et al.* 2010).

El propósito del presente estudio fue identificar si existe correlación entre los valores obtenidos de fuerza máxima, potencia y velocidad media propulsiva, en un mismo grupo muscular y entre diferentes grupos musculares, en una población de adultos jóvenes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Muestra.** Se trata de un estudio observacional, correlacional de corte transversal. El grupo de participantes estuvo conformado por 50 estudiantes universitarios, 37 hombres y 13 mujeres, con edades entre 19 y 25 años, quienes se presentaron voluntariamente a una convocatoria abierta y decidieron participar en el estudio. Se presentaron un total de 58 estudiantes, de los cuales, quedaron 50, que cumplían los criterios de inclusión: ser estudiante universitario, con bajos niveles de actividad física y apto para realizar ejercicio físico. Los criterios de exclusión fueron: padecer cualquier tipo de patología, ser fumadores o bebedores habituales, haber participado o estar participando en programas estructurados de ejercicio físico o de entrenamiento en el último año; ocho fueron excluidos por participar en programas de entrenamiento estructurado. El presente estudio fue diseñado siguiendo las normas deontológicas reconocidas por la Declaración de Helsinki y la resolución 008430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia, la cual, "regula la investigación clínica en humanos". Todos los participantes fueron informados de los detalles del estudio y firmaron el consentimiento informado.

**Procedimiento.** La totalidad de las pruebas fueron realizadas en el laboratorio de fisiología del ejercicio de la Universidad Pedagógica Nacional, en febrero del 2016. Se desarrollaron en tres sesiones de evaluación a la misma hora y con 72h de diferencia, entre una y otra, con un calentamiento de 20 minutos estandarizado y específico de los grupos musculares comprometidos. Días previos a las valoraciones, los participantes fueron cuidadosamente familiarizados con el procedimiento de cada una de las pruebas de fuerza máxima y potencia muscular.

**Medidas antropométricas.** Las mediciones antropométricas fueron la masa corporal en kg, que se evaluó utilizando una báscula electrónica Health Metter 599KL, con 50g de precisión; la estatura, con un tallímetro Detecto D52, Usa y

el índice de masa corporal (IMC), se calculó con la fórmula:  $IMC = \text{peso (kg)} / \text{talla (m)}^2$ .

**Fuerza máxima.** La fuerza máxima dinámica de miembros superiores e inferiores se obtuvo, a través de 1RMP y 1RMS. La 1RMP, se evaluó mediante la prueba de press de pecho, realizado en una máquina Schmith; el protocolo inició con una carga del 40% del peso corporal de cada sujeto y se solicitó a los participantes que realizaran seis repeticiones y, al finalizar, se aplicó la escala de OMNI-RES (Naclerio *et al.* 2009). De acuerdo con la valoración obtenida, se efectuaron incrementos progresivos del 10%. La fuerza máxima, se determinó cuando solo fueron capaces de realizar, como máximo, una repetición con dicha carga. Para evitar efectos de la fatiga, se realizaron periodos de recuperación de tres minutos, entre cada serie. La 1RMS, se valoró en una máquina Schmith, ejecutando media sentadilla, utilizando el mismo protocolo, pero se inició con una carga del 60% del peso corporal.

**Fuerza isométrica.** Se valoró, a través de la prueba de FP y de FMII, con el método de dinamometría. Para la FP, se utilizó un dinamómetro Takei Scientific Instruments Co. Ltd, Tokyo, Japan, dispositivo que se ajustó para acomodar las diferencias en el tamaño de la mano. Se realizaron dos intentos con cada mano, con periodos de recuperación de tres minutos y se registró el mejor resultado. La prueba, se realizó en posición de pie, con la muñeca en posición neutra y el codo extendido. La FMII, se evaluó con un dinamómetro Takei Scientific Instruments Co. Ltd, Tokyo, Japan, utilizando el mismo procedimiento.

**Potencia máxima.** La potencia máxima de miembros superiores e inferiores se valoró, a través las pruebas de PMMS, PMMI, PMPP, PMPS, VMPP, VMPS, CMJ y CM. Para la PMMS, se utilizó el protocolo de Wingate, en una bicicleta marca Monark871E Monarkexercice, Varberg Sweden, ajustando la altura y la distancia entre el sujeto y los pedales de la bicicleta, con el fin de alinear la articulación gleno humeral con el centro de los pedales; se realizó un calentamiento de cinco minutos, a 40 rpm, con una carga moderada y en los minutos dos, tres y cuatro, se ejecutaba un sprint, durante cinco segundos. Después de tres minutos de recuperación, con el propósito de determinar la carga óptima para desarrollar la mayor potencia, los participantes realizaron un test con cargas del 3,5, 4,0 y 4,5% del peso corporal, con intervalos de recuperación de seis minutos, entre cada uno.

Para la PMMI, se utilizó la prueba de Wingate, en una bicicleta Monark 835E Monark exercice, Varberg Sweden, con una carga del 7,5% del peso corporal; se ajustó el sillín a la altura de espina lliaca y se realizaron cinco minutos de calentamiento, a 40 rpm, con una carga moderada. En los minutos dos, tres y cuatro, se ejecutaba un sprint durante

cinco segundos; después de tres minutos de recuperación, los participantes realizaron el test.

La PMPP y la VMPP, se obtuvo mediante el movimiento de press de pecho y la PMPS y la VMPS, en media sentadilla. Dichos movimientos fueron realizados en una maquina tipo Smith, a la que se le colocó un transductor de movimiento lineal encoder rotatorio T-Force System, Ergotech, Murcia, España, para detectar la ubicación de barra a lo largo del movimiento, de forma instantánea 1000hz y calcula, de forma automática, los valores de fuerza propulsiva, velocidad y potencia. Para identificar la relación potencia-carga, se utilizaron cargas del 30,45,60,70,80,90% de 1RM y se indicó a los participantes, que realizara la máxima velocidad posible, en cada uno de los movimientos (Izquierdo *et al.* 2002). Para evitar efectos de la fatiga, se realizaron periodos de recuperación de tres minutos, entre cada serie.

**Saltabilidad.** Se realizó, a través del CMJ, que se hizo con las manos en la cintura y el SJ, en una posición de flexión de rodilla de 90°; se utilizó el OptojumpMicrogate ® Alemania precisión de 1/1000 segundos. Se realizaron dos intentos de cada salto, con un intervalo de seis minutos, entre los dos saltos, seleccionando el mejor registro, para el análisis estadístico.

**Análisis estadístico.** Para el análisis estadístico de los resultados, se utilizó el software SPSS 21. Se realizaron análisis descriptivos media y desviación estándar (DS), para cada una de las variables y de los grupos. Todas las variables, se ajustaron a los supuestos de normalidad, utilizando una prueba de Kolmogorov-Smirnov, por lo que se aplicó un análisis paramétrico, para estos resultados. Para comparar las diferentes variables en función de los distintos factores, se empleó un análisis de varianza de un solo factor (ANOVA), con pruebas post-hoc de Bonferroni. Para determinar las correlaciones existentes entre variables, se calcularon, a través del coeficiente de correlación de Pearson. Se utilizó una escala de calificación cualitativa, según la magnitud de la correlación observada: débil, para valores menores a 0,40; moderada, para valores de entre 0,41 y 0,60; fuerte, entre 0,61 y 0,80 y muy fuerte, para valores entre 0,81 y 1.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

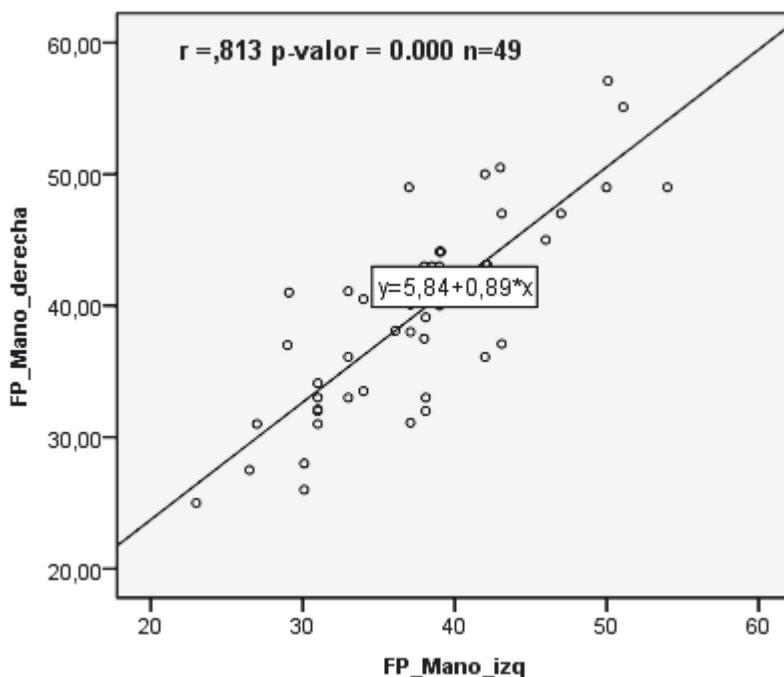
En la tabla 1, se presenta el consolidado de los resultados obtenidos en cada una de las variables evaluadas por género. Se observó, que la FP de la mano derecha e izquierda, estadísticamente, presenta un comportamiento normal (P-valor aproximado de 0,733 y 0,467) y la varianza poblacional es la misma en las dos mediciones. El estadístico de Levene mostró una significancia del 70,4 al 5%, lo que permite concluir, que no existe diferencia estadística entre los valores de FP de la mano derecha y la izquierda (P-valor=0,414), como

se observa en la gráfica 1. En cuanto a la PMMS, se constató que la potencia máxima se obtuvo con la carga del 4,0%, en los dos géneros. Se presentan diferencias significativas en la potencia máxima entre las cargas del 4,5 y 3,5% y el 4,0 y 3,5%. Al 5% de significancia, se concluye que existe diferencia significativa entre las tres mediciones de potencia máxima de miembros superiores (p-valor=0,002), como se observa en la gráfica 2.

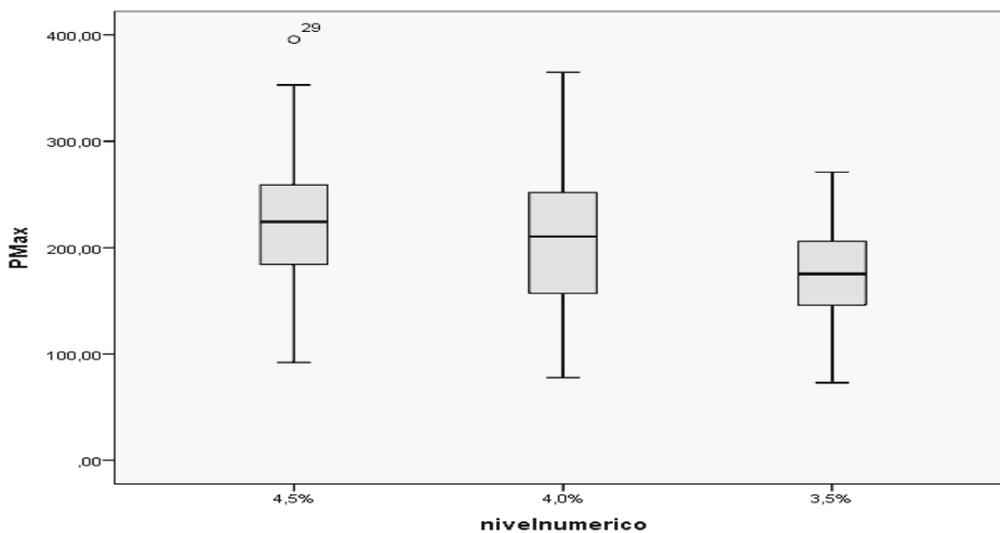
Se identificaron fuertes correlaciones de la FP con la PMMI (r=0.61;p<0,000); la FMII con la PMMI (r=0.76;p<0.003); la 1RMS con 1RMP (r=0.74; p<0.0), la PMPS (r=0.66; p<0.0) y la PMPP (r=0.69; p<0.0); la 1RMP con 1RMS (r=0.74; p<0.000), la PMMS (r=0.75;p<0.000) y la PMPS (r=0.61; p<0.000) y muy fuerte, con la PMPP (r=0.86; p<0.000); la PMMS con la PMMI (r=0.77; p<0.000), la PMPS (r=0.62; p<0.000), la PMPP (r=0.73; p<0.000),

Tabla 1. Valores de fuerza y de potencia del grupo de participantes.

Característica	Hombres		Mujeres		Di. Género	%
	(n=37)	CV %	(n=13)	CV%		
Edad (años)	21,4±2,9	0,13	22,2±4,8	0,22	0,8	4
Peso (kg)	64,7±6,3	0,1	57±6,3	0,11	7,7	12
Talla (m)	1,71±0,5	0,03	1,6±0,1	0,04	0,11	6
IMC(kg·m-1)	22,2±2	0,09	22,1±1,9	0,09	0,1	0
Fuerza prensil mano Izq. (kg)	39,1±6,3	0,16	30,6±4,4	0,15	8,5	22
Fuerza prensil mano Der. (kg)	40,3±7,4	0,18	31,9±4,7	0,15	8,4	21
Fuerza isométrica tren inferior (kg)	145,9±35,5	0,24	111,±32,2	0,29	34	23
Fuerza máxima media sentadilla (kg)	116,6±17,4	0,15	85,2±18,3	0,22	31,4	2
VMP media fase propulsiva media sentadilla (m/s)	0,603±0.07	0,11	0,536±0.01	0,01	0,067	11
Potencia media fase propulsiva media sentadilla (w)	466,3±97.4	0,2	321,1±106,1	0,33	145,2	31
Fuerza máxima press pecho (kg)	61,7±9,9	0,16	36,2±10,1	0,28	25,5	41
VMP media fase propulsiva press pecho(m/s)	0,962±0,22	0,22	0,707±0,21	0,29	0,255	27
Potencia media fase propulsiva press pecho (w)	310±64,4	0,2	149,5±41,2	0,27	160,5	52
P. máxima miembros superiores 4,5%Wingate (w)	250,6±50,7	0,2	136,±28,9	0,21	114,2	46
P. máxima miembros superiores 4,0%Wingate (w)	228,3±44,8	0,2	130,4,±24,5	0,18	97,9	43
P. máxima miembros superiores 3,5%Wingate (w)	185,7±41,7	0,2	114,1,±35,2	0,30	71,6	39
P. máxima miembros inferiores Míngate (w)	513±87,7	0,17	360,±69,8	0,19	152,3	30
P. máxima miembros inferiores Míngate(w/kg)	7,7±1,3	0,17	6,1±1	0,17	1,6	21
SJ altura (cm)	26,4±5,3	0,2	18,2±4,5	0,25	8,2	31
CMJ altura (cm)	33,1±4,1	0,13	25,7±3,9	0,15	7,4	22



Gráfica 1. Correlación de fuerza prensil de mano derecha e izquierda.



Gráfica 2. Valores de la potencia máxima de miembros superiores, a diferentes porcentajes.

1RMP ( $r=0.75$ ;  $p<0.000$ ) y muy fuerte, con el SJ ( $r=0.99$ ;  $p<0.001$ ); la PMMI con la FP ( $r=0.61$ ;  $p<0.000$ ), la PMMS ( $r=0.77$ ;  $p<0.003$ ), la VMPS ( $r=0.63$ ;  $p<0.000$ ), la PMPP ( $r=0.74$ ;  $p<0.002$ ), la PMPS ( $r=0.75$ ;  $p<0.002$ ), la VMPP ( $r=0.75$ ;  $p<0.002$ ) y la FMII ( $r=0.76$ ;  $p<0.003$ ); el CMJ con SJ ( $r=0.72$ ;  $p<0.002$ ) y la PMPP ( $r=0.75$ ;  $p<0.000$ ); el SJ presenta, adicionalmente, una fuerte correlación con la PMPP ( $r=0.95$ ;  $p<0.003$ ). La VMPS con la PMPS ( $r=0.74$ ;  $p<0.000$ ); la VMPP con la PMMI ( $r=0.75$ ;  $p<0.002$ ); la PMPP con la FMII ( $r=0.64$ ;  $p<0.000$ ), 1RMS ( $r=0.69$ ;  $p<0.000$ ), la PMMS ( $r=0.69$ ;  $p<0.000$ ), la PMMI ( $r=0.74$ ;  $p<0.002$ ), el CMJ ( $r=0.75$ ;  $p<0.000$ ) y con la PMPS ( $r=0.69$ ;  $p<0.000$ ) y muy fuerte con 1RMP ( $r=0.86$ ;  $p<0.000$ ) y el SJ ( $r=0.95$ ;  $p<0.003$ ); la PMPS con 1RMS ( $r=0.66$ ;  $p<0.000$ ), la PMMS ( $r=0.62$ ;  $p<0.000$ ), la PMMI ( $r=0.75$ ;  $p<0.000$ ), la VMPS ( $r=0.74$ ;  $p<0.000$ ) y la PMPP ( $r=0.69$ ;  $p<0.000$ ).

La valoración de la aptitud muscular está centrada, fundamentalmente, en la fuerza máxima o la resistencia muscular o la potencia. La fuerza, se puede desarrollar isométrica o dinámicamente y depende de una serie de factores, tales como la tasa y el grado de activación de unidades motoras. De acuerdo a lo planteado por Stone *et al.* (2003b), la potencia es el producto de la fuerza por la velocidad y las alteraciones en la fuerza conducen a cambios en la producción de potencia; lo anterior, ha sido demostrado, a través de diversos estudios, como el de Jones *et al.* (2016), quienes identificaron correlaciones significativas entre la fuerza máxima y la potencia; sin embargo, el nivel de esta correlación está determinado por los postulados que indican que las correlaciones entre la fuerza y la potencia serían más bajas en los movimientos que utilizan el ciclo de estiramiento-acortamiento, como es el caso de las acciones de pedaleo y manivela, como el caso de las pruebas de potencia, a través de la prueba de Wingate. Por el contrario, en las acciones concéntricas, como es el caso del movimiento que se realiza en la fase propulsiva del press de pecho, la potencia depende más de la fuerza (Stone *et al.* 2003a).

En cuanto a la relación de la fuerza entre diversos grupos musculares, Izquierdo *et al.* (2002) plantean que la fuerza muscular es específica a un grupo muscular, por lo tanto, los resultados obtenidos en un grupo no aportan información precisa sobre la fuerza en otros grupos musculares; sin embargo, existe gran controversia frente a esta afirmación. El estudio realizado por Vaara *et al.* (2012) aporta evidencias que indican correlaciones de la fuerza máxima entre diversos grupos musculares; en su estudio, con 846 jóvenes, en edades promedio de 25 años, identificaron correlaciones de la 1RMP con el número de abdominales ( $r = 0,37$ ,  $p < 0,001$ ) y la FP ( $r = 0,34$ ,  $p < 0,001$ ); número de flexiones de codo con 1RMP ( $r=0,61$ ,  $p<0,001$ ); fuerza máxima de extensión de piernas con el número de media sentadillas ( $r=0,23$ ,  $p<0,001$ ); número de flexiones de codo con media sentadi-

lla ( $r=0,55$ ,  $p < 0,001$ ) y abdominales ( $r=0,65$ ,  $p < 0,001$ ). En ese mismo sentido, Ikeda *et al.* (2007) identificaron una fuerte correlación entre el press de pecho, la sentadilla y el pico de potencia en el press de pecho. En el presente estudio, se ratifican estas mismas fuertes correlaciones. McGuigan *et al.* (2010) observaron una correlación muy fuerte, entre el pico de fuerza isométrica y el 1RMS ( $r=0,97$ ,  $p < 0,05$ ) y el 1RMP ( $r=0,99$ ,  $p < 0,05$ ). También, se presentaron fuertes correlaciones entre el salto alto y la fuerza isométrica pico ( $r=0,72$ ,  $p < 0,05$ ) y el 1RMP ( $r=0,70$ ,  $p < 0,05$ ).

Por el contrario, Castro-Pinero *et al.* (2010), en su revisión sistemática, identificaron bajas correlaciones entre el SJ y el CMJ y la fuerza de los miembros superiores. También indicaron que, del conjunto de estudios revisados, solo dos establecieron correlación entre los valores de fuerza de los miembros superiores e inferiores. En el presente estudio, se identificó una muy fuerte correlación entre los valores obtenidos en el SJ y PMMS y PMPP. El CMJ presentó una fuerte correlación con PMPP. En los estudios reportados en la revisión sistemática, no se realizaron pruebas de potencia.

Esta diversidad en los resultados de la fuerza y la potencia no solo se observa cuando se comparan los resultados de las pruebas de miembros superiores e inferiores. En el presente estudio, los valores obtenidos en las diferentes pruebas de miembros superiores, no todas presentaron correlaciones significativas entre ellas. Se presentaron fuertes correlaciones entre la PMMS, 1RMP y la PMPP. Por el contrario, la FP es la más débil de todas, que presenta correlaciones moderadas, con el 75% de las variables de miembros superiores, lo que indicaría, que no es la prueba más apropiada para valorar la fuerza o la potencia de los miembros superiores. Por el contrario, PMMS, 1RMP y la PMPP tendrían un gran valor predictivo, cuando se trata de evaluar la fuerza o la potencia de los miembros superiores.

En cuanto a la correlación entre los valores obtenidos en las diferentes pruebas de miembros inferiores, se observó que la PMPS presenta fuertes correlaciones con 1RMS, la PMMI, la CMJ y la VMPS, seguida de la PMMI, que se correlaciona con la FMII, la VMPS y la PMPS.

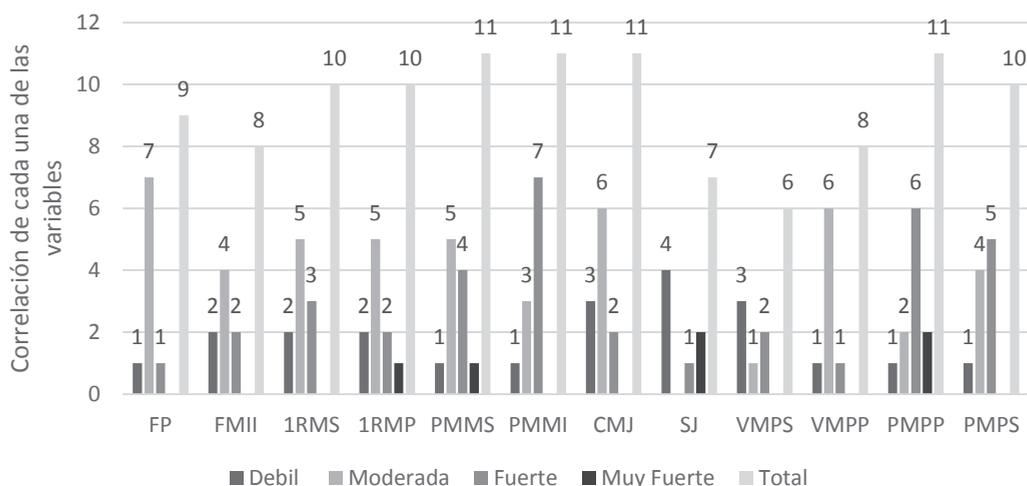
Al observar la correlación entre los valores obtenidos en las pruebas de miembros inferiores y superiores, se identificaron fuertes correlaciones, principalmente, de la PMPP, la PMPS y PMMI, con las demás pruebas del estudio; en la gráfica 3, se pueden observar el número y el nivel de las correlaciones entre cada una de las variables. Las pruebas de potencia muscular presentan el mayor número de correlaciones y de mejor calidad que las observadas en las de fuerza. La PMPP, se correlaciona, de manera fuerte, con el 73% de las variables, seguida de la PMMI, 64% y la PMPS, 55%. Este fenómeno se podría explicar, por el componente de la velocidad

que tienen las pruebas de potencia y sus implicaciones en la activación neuromuscular y elástica del músculo, en comparación a las de fuerza máxima.

En el caso de la fuerza máxima, 1RMP y 1RPS presentan correlaciones fuertes, con el 25% de las otras pruebas.

Estas evidencias preliminares indicarían que, a pesar que se esté evaluando la musculatura de los miembros superiores o inferiores, se presenta una variabilidad en la correlación entre

estas pruebas, que se podría explicar desde la contribución que tienen los diferentes grupos musculares implicados en los movimientos, en cada una de las pruebas que, probablemente, no son los mismos. Esto indicaría que la información proporcionada en cada una de las pruebas es específica para el grupo muscular y el movimiento y no se pueden extrapolar a otro grupo muscular o movimiento. Esta diferencia, también se puede atribuir a las implicaciones neuromusculares que tienen los diferentes tipos de acciones musculares, implicadas en cada prueba.



Gráfica 3. Cantidad y tipo de correlación de cada una de las variables del estudio.

En cuanto a las pruebas de saltabilidad, varios estudios han reportado una fuerte correlación ( $r = 0,69$ ,  $p < 0,05$ ) entre 1RMS y el pico de potencia en el CMJ (Stone *et al.* 2003a; Winchester *et al.* 2005; Nuzzo *et al.* 2008; McGuigan *et al.* 2010). De igual forma, un estudio que comparó las relaciones entre 1RM de varios movimientos olímpicos y el CMJ reportó fuertes correlaciones (Carlock *et al.* 2004). En el presente estudio, con población no deportista, se identificó una correlación moderada entre 1RMS y el CMJ.

Tradicionalmente, la potencia de miembros inferiores ha sido determinada a partir de la relación entre las fuerzas de frenado y el pico de pedaleo, en bicicleta ergométrica o, a través del salto vertical, en dispositivos, como plataformas o celdas foto-eléctricas. Frente a la correlación de los valores de obtenidos a partir de estas dos pruebas, algunos estudios han reportado correlaciones significativas (Davies *et al.* 1984; Vandewalle *et al.* 1987; Dore *et al.* 2008). Otros, como el de Rouis *et al.* (2015), indican que la relación entre CMJ y potencia obtenida en cicloergometro es débil y su nivel de significancia depende del deporte que practiquen los participantes y de componentes étnicos, que son ratificados

en otros estudios, como el de Ben Ayed *et al.* (2011), que indican que el grupo étnico tiene un efecto que corresponde a una diferencia de 0.049m y el tipo de deporte que se practique, a 0.0587m. Rouis *et al.* (2016) confirman con su estudio, que el componente étnico juega un papel fundamental en las pruebas de salto. Goodway *et al.* (2010) observaron, en su estudio, que las personas de raza negra presentan, generalmente, mejor desempeño en actividades, tales como correr, saltar o deslizarse. Las explicaciones a estos resultados, se han soportado, principalmente, por las diferencias constitucionales entre las poblaciones étnicas, como la composición corporal, las propiedades músculo tendinosas y los tipos de fibras musculares (McCarthy *et al.* 2006).

En el presente estudio, se identifica una correlación moderada entre estas dos variables, sin discriminar por grupo étnico y los participantes no practicaban, de forma regular, ningún tipo de deporte.

Esta variabilidad en los resultados de los estudios, también se podría atribuir, en parte, a que la contribución de los diferentes grupos musculares implicados en estos dos

movimientos, probablemente, no es la misma y también se puede explicar, por un mayor grado de complejidad en la coordinación de los músculos de los inferiores, en el trabajo de pedaleo (Ben Ayed *et al.* 2011), por lo tanto, la variación en la contribución relativa de los diferentes músculos extensores podría explicar la gran variabilidad observada, en estas dos pruebas (Vandewalle *et al.* 1987; Dore *et al.* 2008); por ejemplo, el valor de CMJ en los ciclistas fue menor que el estimado, a partir de la regresión CMJ-Pmax.

En cuanto a la relación de la fuerza isométrica y la dinámica existe una serie de estudios que reportan esta relación (Stone *et al.* 2003a; McGuigan *et al.* 2010; Khamoui *et al.* 2011); no obstante, Preedy & Peters (2002) plantean que existe una diferencia de orden neural entre la fuerza isométrica y la fuerza dinámica; esta divergencia radica en las características de las unidades motoras y en el nivel de activación de la musculatura implicada. Durante las acciones isométricas, se incrementa la actividad de las motoneuronas gama, por medio de aferencias del huso muscular (Linnamo *et al.* 2003). A nivel mecánico, la fuerza isométrica no involucra el componente elástico en la generación de la fuerza.

La transferencia de la fuerza isométrica a la producción de energía dinámica sigue siendo poco clara y requiere de investigaciones de mayor profundidad, entre las pruebas de fuerza isométrica y de potencia explosiva, debido a que los mecanismos que contribuyen a la fuerza dinámica parecen no estar relacionados con los mecanismos que contribuyen a una mayor fuerza isométrica (Ikeda *et al.* 2007).

En el presente estudio, se ratifica esta baja correlación de la fuerza isométrica con la fuerza dinámica; por ejemplo, la FP presentó una fuerte correlación únicamente con la PMMI, lo cual, podría cuestionar su utilidad como prueba para la valoración de los niveles de fuerza de una persona y definir factor de riesgo de mortalidad.

Por tratarse de uno de los pocos estudios que intenta establecer correlaciones entre la fuerza y la potencia de diferentes grupos y acciones musculares, los resultados deben ser observados con precaución, debido a que, en algunos casos, se ubican en la línea de estudios que no identifica correlación y, en otros, observa fuertes correlaciones, ratificando la dispersión y el poco consenso que existe en la literatura revisada sobre el tema que, sin abordar una cantidad similar de variables, presentó heterogeneidad en los niveles de relación, entre las variables de fuerza y de potencia.

Basado en los resultados, se podría concluir que es posible la existencia de una relación entre la fuerza de miembros superiores e inferiores, pero esta relación varía de acuerdo al tipo de pruebas que se utilicen. Se reafirma, igualmente, la poca correlación entre la fuerza dinámica y la estática. La

fuerza prensil, al parecer, no es un buen indicador de la fuerza global de un sujeto y no se presenta diferencia entre los valores obtenidos en la mano izquierda o derecha. En cuanto a la potencia de los miembros superiores, se identificó el porcentaje ideal de la carga, donde se obtiene la potencia máxima.

Las pruebas de potencia PMPP, la PMMI y la PMPS, por sus implicaciones estructurales, neuromusculares y mecánicas y por las fuertes correlaciones observadas, serían las más indicadas, para determinar la fuerza muscular global de un sujeto; sin embargo, para refirmar estos postulados es necesario realizar estudios que involucren una amplia gama de pruebas de evaluación de la fuerza y de la potencia de miembros superiores e inferiores, en una población extensa, estratificada, de acuerdo al grupo étnico, género y tipo de deporte que practiquen, que aportarán elementos importantes a la discusión, que existe actualmente frente al tema.

Conflictos de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. Financiación: Este estudio fue financiado con recursos de la Universidad Pedagógica Nacional.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BEN AYED, K.; LATIRI, I.; DORE, E.; TABKA, Z. 2011. Leg muscle power in 12-year-old black and white Tunisian football players. *Res. Sports Med.* 19(2):103-117.
2. CARLOCK, J.; SMITH, S.; HARTMAN, M.; MORRIS, R.; CIROSLAN, D.; PIERCE, K.; STONE, M. 2004. The relationship between vertical jump power estimates and weightlifting ability: a field-test approach. *J. Strength Cond. Res.* 18(3):534-539.
3. CASTRO-PINERO, J.; ORTEGA, F.; ARTERO, E.; GIRELA-REJON, M.; MORA, J.; SJOSTROM, M.; RUIZ, J. 2010. Assessing muscular strength in youth: usefulness of standing long jump as a general index of muscular fitness. *J. Strength Cond. Res.* 24(7):1810-1817.
4. CORMIE, P. 2011. Developing maximal neuromuscular power: Part 1-biological basis of maximal power production. *SportsMed* 41(1):17-38.
5. DAVIES, C.; WEMYSS-HOLDEN, J.; YOUNG, K. 1984. Measurement of short term power output: comparison between cycling and jumping. *Ergonomics.* 27(3):285-296.

6. DORE, E.; BEDU, M.; VAN PRAAGH, E. 2008. Squat jump performance during growth in both sexes: comparison with cycling power. *Res. Q Exerc. Sport.* 79(4):517-524.
7. GOODWAY, J.; ROBINSON, L.; CROWE, H. 2010. Gender differences in fundamental motor skill development in disadvantaged preschoolers from two geographical regions. *Research quarterly for exercise and sport.* 81(1):17-24.
8. GOROSTIAGA, E.; ASIAIN, X.; IZQUIERDO, M.; POSTIGO, A.; AGUADO, R.; ALONSO, J.; IBANEZ, J. 2010. Vertical jump performance and blood ammonia and lactate levels during typical training sessions in elite 400-m runners. *J. Strength Cond. Res.* 24(4):1138-1149.
9. HAFF, G.; NIMPHIUS, S. 2012. Training Principles for Power. *Strength and Conditioning J.* 34(6):3-12.
10. IKEDA, Y.; KIJIMA, K.; KAWABATA, K.; FUCHIMOTO, T.; ITO, A. 2007. Relationship between side medicine-ball throw performance and physical ability for male and female athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 99(1):47-55.
11. IZQUIERDO, M.; HAKKINEN, K.; GONZALEZ-BADILLO, J.; IBANEZ, J.; GOROSTIAGA, E. 2002. Effects of long-term training specificity on maximal strength and power of the upper and lower extremities in athletes from different sports. *Eur. J. Appl. Physiol.* 87(3):264-271.
12. JONES, M.; JAGIM, A.; HAFF, G.; CARR, P.; MARTIN, J.; OLIVER, J. 2016. Greater Strength Drives Difference in Power between Sexes in the Conventional Deadlift Exercise. *Sports.* 4(43):1-10.
13. KAWAMORI, N.; HAFF, G. 2004. The optimal training load for the development of muscular power. *J. Strength Cond. Res.* 18(3):675-684.
14. KHAMOUI, A.; BROWN, L.; NGUYEN, D.; URIBE, B.; COBURN, J.; NOFFAL, G.; TRAN, T. 2011. Relationship between force-time and velocity-time characteristics of dynamic and isometric muscle actions. *Strength Cond. Res.* 25(1):198-204.
15. LINNAMO, V.; MORITANI, T.; NICOL, C.; KOMI, P. 2003. Motor unit activation patterns during isometric, concentric and eccentric actions at different force levels. *J. Electromyogr Kinesiol.* 13(1):93-101.
16. LUND, R.; DOLNY, D.; BROWDER, K. 2006. Strength-power relationships during two lower extremity movements in female division I rowers. *J. Ex. Phys.* 9(3):41-52.
17. MCCARTHY, J.; HUNTER, G.; LARSON-MEYER, D.; BAMMAN, M.; LANDERS, K.; NEWCOMER, B. 2006. Ethnic differences in triceps surae muscle-tendon complex and walking economy. *J Strength Cond Res.* 20(3):511-8.
18. MCGUIGAN, M.; NEWTON, M.; WINCHESTER, J.; NELSON, A. 2010. Relationship between isometric and dynamic strength in recreationally trained men. *Strength Cond. Res.* 24(9):2570-2573.
19. NACLERIO, F.; COLADO, J.; RHEA, M.; BUNKER, D.; TRIPLET, N. 2009. The influence of strength and power on muscle endurance test performance. *J. Strength Cond. Res.* 23 (5):1482-1488.
20. NUZZO, J.; MCBRIDE, J.; CORMIE, P.; MCCAILLEY, G. 2008. Relationship between countermovement jump performance and multijoint isometric and dynamic tests of strength. *J. Strength Cond. Res.* 22(3):699-707.
21. PREEDY, V.; PETERS, T. 2002. Muscle pathology diagnosis and management of disease. London: Greenwich medical media. 716p.
22. ROUIS, M.; ATTIOGBE, E.; VANDEWALLE, H.; JAAFAR, H.; NOAKES, T.; DRISS, T. 2015. Relationship between vertical jump and maximal power output of legs and arms: effects of ethnicity and sport. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 25(2):e197-207.
23. ROUIS, M.; COUDRAT, L.; JAAFAR, H.; ATTIOGBE, E.; VANDEWALLE, H.; DRISS, T. 2016. Effects of ethnicity on the relationship between vertical jump and maximal power on a cycle ergometer. *J Hum Kinet.* 51:209-16.
24. STONE, M.; O'BRYANT, H.; MCCOY, L.; COGLIANESE, R.; LEHMKUHL, M.; SCHILLING, B. 2003a. Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *Strength Cond. Res.* 17(1):140-147.
25. STONE, M.; SANBORN, K.; O'BRYANT, H.; HARTMAN, M.; STONE, M.; PROULX, C.; HRUBY, J. 2003b. Maximum strength-power-performance relationships in collegiate throwers. *J. Strength Cond. Res.* 17(4):739-745.

26. VAARA, J.; KYROLAINEN, H.; NIEMI, J.; OHRANKAMMEN, O.; HAKKINEN, A.; KOCAI, S.; HAKKINEN, K. 2012. Associations of maximal strength and muscular endurance test scores with cardiorespiratory fitness and body composition. *J. Strength Cond. Res.* 26(8):2078-2086.
27. VANDEWALLE, H.; PERES, G.; HELLER, J.; PANEL, J.; MONOD, H. 1987. Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer. Correlation with the height of a vertical jump. *Eur. J. Appl. Physiol.* 56(6):650-656.
28. WINCHESTER, J.; ERICKSON, T.; BLAAK, J.; MCBRIDE, J. 2005. Changes in bar-path kinematics and kinetics after power-clean training. *J. Strength Cond. Res.* 19(1):177-183.

Recibdo: Enero 27 de 2017

Aceptado: Mayo 31 de 2017

#### Cómo Citar:

Fernández Ortega, J.A.; Hoyos Cuartas, L.A. 2017. Relaciones entre diversas manifestaciones de la fuerza en diferentes grupos musculares en adultos jóvenes. *Rev. U.D.C.A Act.& Div. Cient.* 20(1): 33-42.

# PERFIL DE ESTEROIDES SEXUALES DEL CAPITÁN DE LA SABANA (*Eremophilus mutisii*) DURANTE UN CICLO HIDROLÓGICO COMPLETO

## PROFILE OF SEXUAL STEROIDS OF THE CAPITÁN DE LA SABANA (*Eremophilus mutisii*) DURING A COMPLETE HYDROLOGICAL CYCLE

Miguel A. Landines P.<sup>1</sup>, Camilo A. Prieto M.<sup>2</sup>, Liliana Rodríguez V.<sup>3</sup>, Rafael Rosado P.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Zootecnista, Ph.D., Laboratorio de Fisiología de Peces, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia, e-mail: malandinezp@unal.edu.co; <sup>2</sup> Zootecnista, M.Sc., Ph.D., Profesor, Facultad de Ciencias Pecuarias, Programa de Zootecnia. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Bogotá, Colombia, e-mail: camprieto@udca.edu.co; <sup>3</sup> Zootecnista, M.Sc., Laboratorio de Fisiología de Peces, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia, e-mail: lrodriguezv@unal.edu.co; <sup>4</sup> Biólogo Marino, M.Sc., Laboratorio de Fisiología de Peces, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia, e-mail: rrosadop@unal.edu.co. Carrea 30 No. 45-03, Ciudad Universitaria, Edificio 481, Laboratorio 4. Bogotá-Colombia.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 43-50, Enero-Junio, 2017

### RESUMEN

Fueron capturados, mensualmente, adultos de *Eremophilus mutisii*, en la parte alta del río Bogotá (Municipio de Suesca). Los ejemplares fueron anestesiados, pesados y medidos. Posteriormente, se tomaron muestras de sangre, se extrajeron y se pesaron las gónadas, para cálculo del índice gonadosomático (IGS). Se determinaron testosterona (T) y estradiol (E2), por quimioluminiscencia. La proporción de hembras fue mayor que la de machos, existiendo muestras en los que solo se obtuvieron hembras. Los niveles de T en hembras permanecieron muy bajos durante todo el ciclo, manteniéndose así o indetectables, con un único pico en octubre. En machos, los niveles fueron superiores, alcanzando valores mayores en abril, septiembre, noviembre y diciembre, con pico en noviembre. El E2 en hembras mostró niveles variables, observándose niveles elevados durante noviembre, diciembre y enero, con pico en diciembre. En machos, solo fue posible determinar E2 en noviembre, diciembre, marzo, abril y mayo, puesto que durante febrero, junio, agosto y septiembre, los valores fueron indetectables y en los meses restantes, no se capturó ningún macho. El valor máximo fue en noviembre y el mínimo en marzo y abril. En hembras, los picos de E2 coincidieron con los valores más altos de IGS, mientras que la T mantuvo su valor bajo, independientemente de dicho índice. En machos, la relación entre T e IGS también fue coincidente, aunque no de manera tan evidente como en hembras. No se observó una tendencia clara entre la relación de E2 e IGS para machos.

Palabras clave: Testosterona, Estradiol, IGS, Reproducción de peces.

### SUMMARY

Specimens of *Eremophilus mutisii* were captured monthly on the upper part of the Bogotá River (municipality of Suesca). The specimens were anesthetized, weighed and measured. Subsequently, a blood sample was taken. The gonads were extracted and weighed to calculate the gonadosomatic index (GSI). Testosterone (T) and estradiol (E2) were determined by chemiluminescence technique. The proportion of females was always greater than that of males, and there were months in which only females were obtained. The T values of the females remained very low during the whole cycle, remaining low or imperceptible levels, with a single peak in October. In males, levels were always higher reaching high values in April, September, November, and December, with a peak in November. E2 in females showed variables values with high levels in November, December and January with a peak in December. In males, it was only possible to determine E2 in November, December, March, April and May, since, during February, June, August, and September the values were imperceptible and in the remaining months no male was captured. The maximum value was obtained in November and the minimum in March and April. In females, the peaks of E2 coincided with the higher values of GSI, while T maintained its low value, independently of this index. In males, the relationship between T and GSI was

also coincident, although not as evident as in females. Also, a clear trend was not observed between the E2 and GSI ratio for males.

Key words: Testosterone, Estradiol, GSI, Fish reproduction.

## INTRODUCCIÓN

El capitán de la sabana, *Eremophilus mutisii* Humboldt (Siluriformes: Trichomyteridae) es la especie íctica representativa y emblemática del río Bogotá y sus afluentes y desde tiempos ancestrales ha sido importante en la región del altiplano cundiboyacense (Maldonado *et al.* 2008), formando parte habitual de la dieta de los pobladores de la región, incluso, desde tiempos pasados, cuando comunidades indígenas nativas habitaban la zona; sin embargo, el actual deterioro de los ecosistemas, fundamentalmente por acción antrópica, ha diezmando sus poblaciones (Salcedo *et al.* 2012), al punto de pasar en la clasificación de la UICN de categoría "Casi Amenazada", en el 2002 (Mojica *et al.* 2002), a "Vulnerable", en el 2012 (Mojica *et al.* 2012). Este hecho exige un trabajo de conservación de la especie y de su hábitat que, eventualmente, permita su recuperación. Por otro lado, ha sido catalogada por varios autores como, probablemente, la única especie nativa de aguas frías, con posibilidad de ser utilizada para piscicultura (Rosado & González, 2007). Esta actividad, en la actualidad, se realiza de manera exclusiva, con una especie introducida, la trucha arcoíris.

Con base en lo anterior, en diversos escenarios, se ha reiterado la importancia de realizar investigaciones con la especie, tendientes a evitar su probable desaparición y promover su posible incorporación a los sistemas de producción piscícola en cautiverio (Valderrama *et al.* 2011). Para ello, el punto de partida es el conocimiento biológico de la especie, el cual, si bien es cierto ya ha sido abordado por varios autores (González & Rosado, 2005), quienes han adelantado estudios sobre biología básica, ecología, alimentación, patología y hasta reproducción artificial y cultivo experimental (Rodríguez & Rosado, 1993), aún no se registra información suficiente sobre su biología básica y reproductiva y no se ha explorado la viabilidad de ser introducida a los sistemas de cultivo.

De hecho, el volumen de información disponible sobre la especie es limitado, tal como se evidencia en las revisiones que, sobre el particular, realizaron Rosado & González (2007) y González & Rosado (2010), quienes resaltan que la mayoría de las investigaciones realizadas con la especie son valoraciones biológicas y ecológicas; sin embargo, como se mencionó, aún no se conoce, a ciencia cierta, toda la biología reproductiva de la especie en el medio natural y, mucho menos, el perfil de hormonas que regulan sus ciclos re-

productivos, parámetros de trascendental importancia para entender la reproducción en la naturaleza, con miras a una eventual replicación en cautiverio. En tal sentido, el propósito del presente trabajo fue obtener el perfil de esteroides sexuales de adultos de la especie en condiciones naturales, durante un ciclo hidrológico completo, el cual, junto con la descripción del desarrollo gonadal, son los parámetros más importantes para el entendimiento de su biología y fisiología reproductivas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** El área de colecta fue la parte alta del río Bogotá, en inmediaciones de la provincia de Almeidas, localizada al nororiente del departamento de Cundinamarca, a la altura del municipio de Suesca, a 05°06' latitud Norte y 73°48' longitud Oeste y a 2584 msnm. El análisis del material biológico y la determinación de los esteroides sexuales, se llevaron a cabo en el Laboratorio de Fisiología de Peces, adscrito a la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

**Material biológico.** Fueron utilizados 83 individuos adultos de capitán de la Sabana, obtenidos de pesquerías mensuales durante un año, los cuales, en cada una de las fechas de pesca, fueron anestesiados, pesados y medidos *in situ*. Posteriormente, por punción en la vena caudal, se tomó una muestra de sangre de cada individuo, la cual, fue centrifugada durante 7 minutos, a 2.500g, para la obtención del plasma, que fue transportado, debidamente refrigerado, hasta el laboratorio, para su posterior análisis.

Adicionalmente, fueron extraídas las gónadas de todos los ejemplares para su pesaje, en balanza digital, con aproximación a 0,01g, para determinar el índice gonadosomático (IGS), según la siguiente expresión matemática:

$$\text{IGS} = (\text{Peso gónada/Peso total}) * 100$$

**Determinación de esteroides.** En el laboratorio, se determinaron testosterona (T) y estradiol (E2), a través de la técnica de Quimioluminiscencia (CLIA), utilizando kits comerciales Acculite CLIA Microwells (Monobind Inc.®): Testosterone Kit System 3775-300 y Estradiol Kit System 4975-300, respectivamente.

La realización de las pruebas, incluyendo el montaje, la incubación, el lavado y la lectura, se llevó a cabo según el manual de procedimientos del Laboratorio de Fisiología de Peces de la Universidad Nacional de Colombia. La lectura final, se llevó a cabo en el equipo LumiStat 4100 de Awareness Technology®.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En total, se capturaron 83 animales, de los cuales, 56 fueron hembras y 27 machos, obteniéndose una relación hembra/macho de 2,03/1. En la tabla 1, se presentan los valores medios de peso e IGS obtenidos, tanto para hembras como para machos, en todos los meses, pudiéndose observar que, en junio, no fue posible capturar individuos y, en varios de los meses restantes, solamente fueron capturadas hembras, por tal motivo, no fue posible tener información de junio.

En la figura 1, se presentan los valores de testosterona encontrados a lo largo del año, tanto para hembras como para machos, pudiéndose observar que, en las hembras, los niveles permanecieron muy bajos durante todo el ciclo, manteniéndose en valores indetectables o cercanos a 0,01ng/mL,

con un único pico de 0,03ng/mL en octubre. En los machos, los niveles fueron superiores a los de las hembras, alcanzando valores mayores a 0,1ng/mL en abril, septiembre, noviembre y diciembre, con pico en noviembre (0,19ng/mL).

Tales resultados, son similares a los encontrados por Sisneros *et al.* (2004), en *Porichthys notatus* y por Shabana *et al.* (2013), en *Argyrosomus regius*, especies, en las que se observaron, en los machos, fluctuaciones en los niveles de testosterona, con aumento significativo en las épocas de maduración, con un posterior descenso en animales ya maduros; sin embargo, tal descenso ocurriría después del desove, tal como lo reportan Schiavone *et al.* (2012), quienes encontraron niveles aumentados de esteroides durante la época de desove de *Argyrosomus regio*.

Tabla 1. Valores medios de peso e Índice Gonadosomático (IGS) de *Eremophilus mutisii*, capturados en el municipio de Suesca (Cundinamarca).

Mes	Sexo	n	Promedio de Peso (g)	IGS (%)
Octubre	Hembra	9	92,84	11,93
	Macho	0	SD	SD
Noviembre	Hembra	2	91,45	13,31
	Macho	2	101,80	7,56
Diciembre	Hembra	4	101,33	17,05
	Macho	3	113,87	4,41
Enero	Hembra	6	82,43	15,02
	Macho	0	SD	SD
Febrero	Hembra	2	82,15	5,10
	Macho	3	52,73	3,13
Marzo	Hembra	1	159,00	21,07
	Macho	2	119,40	4,34
Abril	Hembra	9	89,50	12,55
	Macho	11	67,10	5,27
Mayo	Hembra	8	125,33	7,97
	Macho	1	128,84	3,17
Junio	Hembra	0	SD	SD
	Macho	0	SD	SD
Julio	Hembra	5	64,60	5,30
	Macho	3	75,50	1,55
Agosto	Hembra	4	40,78	3,70
	Macho	1	36,90	2,59
Septiembre	Hembra	6	119,07	10,74
	Macho	1	106,00	2,16

SD = Sin dato

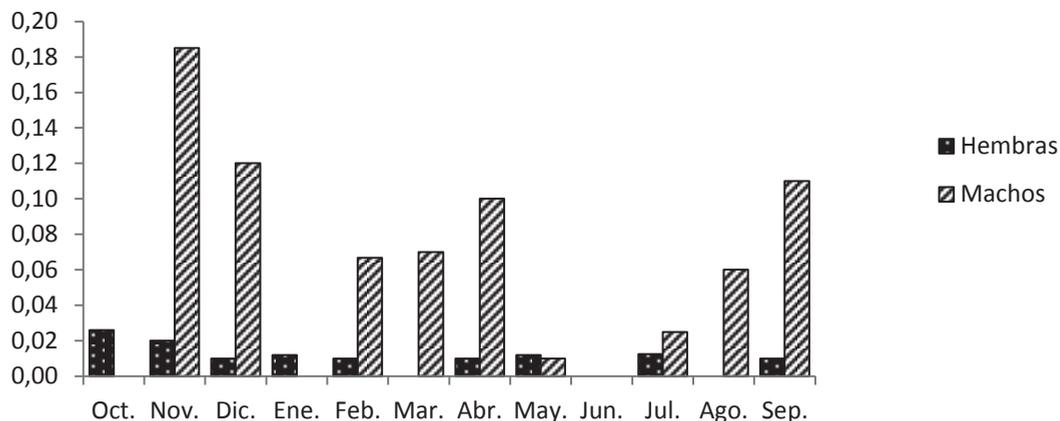


Figura 1. Variación de los niveles plasmáticos de testosterona (ng/mL) en *Eremophilus mutisii*, capturados en el municipio de Suesca (Cundinamarca), a lo largo de un ciclo hidrológico. Las barras ilustran la media (n= entre X y “Y”).

Por otro lado, el hecho que se presenten varios picos con posterior descenso sería un indicativo que, a pesar de existir una época de mayor actividad reproductiva, la especie no tiene una única estación de desove en el año y que se podría reproducir varias veces durante el ciclo anual, tal como lo comprobaron Argungu *et al.* (2015), en *Clarias batrachus*, que al igual que el capitán de la sabana, es un silúrido de migraciones cortas.

Con relación a los niveles plasmáticos de estradiol (Figura 2), en las hembras oscilaron entre 0,04ng/mL, en julio y 0,3, en marzo, presentado niveles elevados (>0,2ng/mL) en noviembre, diciembre y enero, con pico en diciembre (0,26ng/mL). En los machos, solo fue posible determinar E2 en noviembre, diciembre, marzo, abril y mayo, puesto que durante

febrero, junio, agosto y septiembre los valores fueron indetectable y, en los meses restantes, no se logró la captura de individuos machos. El valor máximo obtenido para ellos fue de 0,14 ng/mL, en noviembre y, el mínimo, de 0,01, en marzo y abril.

La dinámica observada en el E2, a lo largo del año, permite corroborar lo ya expuesto, en el sentido de que la especie, probablemente, se reproduce varias veces al año, pues evidencia varios picos de esteroides durante el ciclo hidrológico. Tal situación sería muy importante si se quieren implementar programas de piscicultura, pues uno de los principales cuellos de botella en la producción es la estacionalidad reproductiva de las especies. En especial, tal dinámica se expresó en las hembras, lo cual, puede significar que la época de

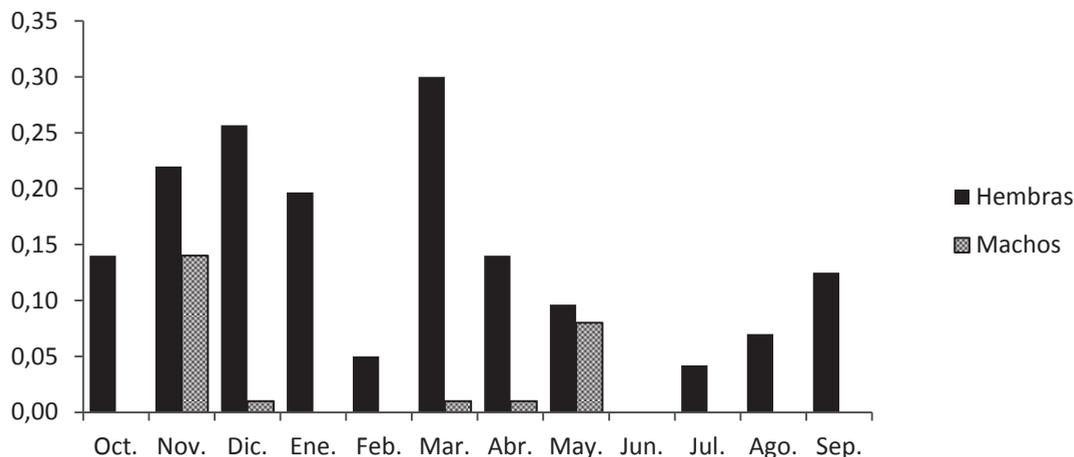


Figura 2. Valores medios de estradiol (ng/mL) de *Eremophilus mutisii*, capturados en el municipio de Suesca (Cundinamarca).

desove estaría íntimamente relacionada con el nivel de estradiol circulante en plasma, resultado similar al encontrado por Harmin *et al.* (1995), en *Pleuronectes americanus*, especie que presentó una dinámica parecida, con aumentos y descensos del nivel de E2, a lo largo del ciclo reproductivo, tal como también fue reportado por Shabana *et al.* (2013), en *Argyrosomus regius* y, por Argungu *et al.* (2015), en *Clarias batrachus*.

Los resultados encontrados para ambos esteroides podrían ser explicados basándose en el hecho de que la especie no realiza grandes migraciones y su ciclo anual incluye varios periodos de reproducción, los cuales, estarían relacionados con los niveles plasmáticos de estradiol y de testosterona. En especies migratorias, con una única reproducción por ciclo, la dinámica esteroidal es diferente, presentando un solo pico durante todo el ciclo, que estaría asociado con la época previa al desove. Tales aspectos son consistentes con los hallados por Lokman *et al.* (1998), en anguilas migratorias y no migratorias. Estos autores explican el comportamiento de los esteroides según si la especie migra o no, concluyendo que, en las que migran, existe un único pico (muy alto) de ambos esteroides, al ser comparados con las especies que no migran, cuyos valores siempre son menores (Lokman & Young, 1998).

Por otro lado, al relacionar los niveles plasmáticos de esteroides con el IGS, se puede entender más claramente la dinámica esteroidal con el grado de maduración de los animales, pudiéndose observar que, en las hembras, los picos de E2 coinciden con los valores más altos de IGS, mientras que

la T mantiene su nivel bajo, independientemente de dicho índice (Figura 3). En los machos (Figura 4), la relación entre T e IGS también es coincidente, aunque no de manera tan evidente como en las hembras y no se observa una tendencia clara entre la relación de E2 e IGS. De hecho, los datos obtenidos no serían suficientes para determinar tal relación, de manera concluyente, en los machos; no obstante, los resultados son coincidentes con los de especies de ambientes lénticos o que no realizan migraciones largas, como los obtenidos por Taghizadeh *et al.* (2013), en *Cyprinus carpio* y por otros autores, en especies cuyo desarrollo gonadal y dinámica esteroidal obedece a otros parámetros medioambientales diferentes a la migración (Cornish, 1998; Rahman *et al.* 2000; Norberg *et al.* 2004).

La dinámica esteroidal encontrada y los valores de IGS permiten suponer que, a pesar que el desarrollo gonadal tiene relación directa con el nivel de esteroides sexuales (Harmin *et al.* 1995), la especie no sigue un patrón estacional estricto, tal como lo reportan Adebiji *et al.* (2013), en *Hemibagrus nemurus* y Argungu *et al.* (2015), en *Clarias batrachus*.

Con base en los resultados encontrados, se podría decir que el perfil de esteroides sexuales de *Eremophilus mutisii* guarda relación directa con el grado de maduración, en términos de IGS de los animales y que, al parecer, la especie se reproduce varias veces al año. Asimismo, se podría concluir que el conocimiento de la dinámica de los esteroides sexuales y su relación con el IGS pueden ser buenas herramientas para el entendimiento del ciclo reproductivo de la especie, con miras a su reproducción en cautiverio, tal como lo ha

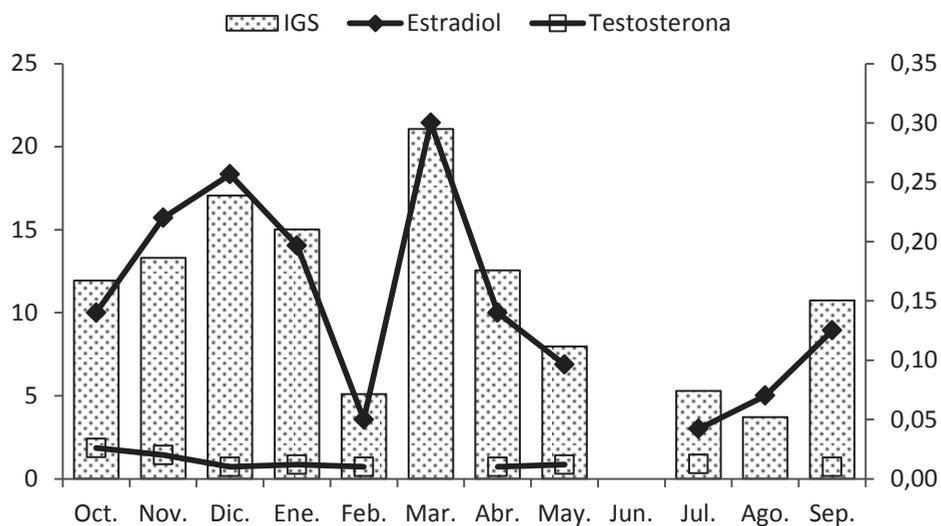


Figura 3. Variación de los índices gonadosomáticos (IGS) (%) y de los niveles plasmáticos de estradiol (ng/mL) y testosterona (ng/mL), en hembras de *Eremophilus mutisii*, capturadas en el municipio de Suesca (Cundinamarca), a lo largo de un ciclo hidrológico. La figura ilustra la media  $\pm$  DE.

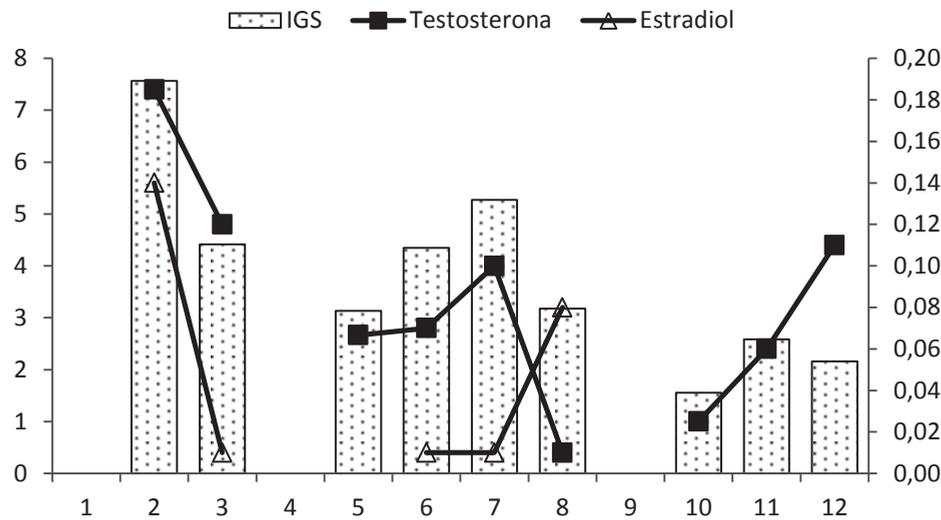


Figura 4. Valores medios de IGS (%), testosterona (ng/mL) y estradiol (ng/mL) en machos de *Eremophilus mutisii*, capturados en el municipio de Suesca (Cundinamarca).

sido para diferentes especies de peces, como *Clarias macrocephalus* (Tan-Fermin *et al.* 1997), *Labeo rohita* (Dasgupta *et al.* 2009), *Arapaima gigas* (Monteiro *et al.* 2010), *Anguilla anguilla* (Burgerhout *et al.* 2016), entre otras; sin embargo, futuras investigaciones, que incluyan edad y talla de maduración, áreas de desoves, proporción sexual, entre otros, tienen que llevarse a cabo, para continuar entendiendo la biología reproductiva de la especie.

**Agradecimientos.** Al señor Pablo Guáqueta, pescador del Municipio de Suesca, por su colaboración en la obtención de los ejemplares. **Financiación.** Este estudio fue financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A y por el Laboratorio de Fisiología de Peces de la Universidad Nacional de Colombia. **Conflictos de intereses.** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaran que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

## BIBLIOGRAFÍA

- ADEBIYI, F.; SIRAJ, S.; HARMIN, S.; CHRISTIANUS, A. 2013. Plasma sex steroid hormonal profile and gonad histology during the annual reproductive cycle of river catfish *Hemibagrus nemurus* (Valenciennes, 1840) in captivity. *Fish Physiol. Biochem.* 39:547-557.
- ARGÜNGÜ, L.; CHRISTIANUS, A.; AMIN, M.; DAÜD, S.; SIRAJ, S. 2015. Annual dynamics of the plasma sex steroid hormones of the Malaysian Walking Catfish *Clarias batrachus* (Linnaeus 1758). *J. Fish. Aquat. Sci.* 10:24-34.
- BÜRGERHOUT, E.; MINEGISHI, Y.; BRITTIJN, S.; DE WIJZE, L.; HENKEL, C.; JANSEN, H.; SPAINK, H.; DIRKS, R.; VAN DEN THILLART, G. 2016. Changes in ovarian gene expression profiles and plasma hormone levels in maturing European eel (*Anguilla anguilla*); Biomarkers for broodstock selection. *General Comparat. Endocrinol.* 225:185-196.
- CORNISH, D. 1998. Seasonal steroid hormone profiles in plasma and gonads of the tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *Water SA.* 24(3):257-264.
- DASGUPTA, S.; SARKAR, S.; SARANGI, N.; BHATTACHARYA, S. 2009. Variation in spawning responses, egg and larvae productions from induced rohu (*Labeo rohita*) during pre-monsoon and monsoon seasons: Relationship with hormonal changes and oocyte responsiveness during final maturation. *Aquaculture.* 290:320-326.
- GONZÁLEZ, J.; ROSADO, R. 2005. Reproducción inducida con hormonas en *Eremophilus mutisii* Humboldt, 1805 (Pisces: Trichomycteridae) en Guasca Cundinamarca, Colombia. *Revista de Investigaciones Universidad de La Salle.* 5(2):233-240.
- GONZÁLEZ, J.; ROSADO, R. 2010. Estado del conocimiento sobre peces nativos del altiplano cundiboyacense: revisión. *Rev. Cien. Anim.* 3:69-79.

8. HARMIN, S.; CRIM, W.; WIEGAND, M. 1995. Plasma sex steroid profiles and the seasonal reproductive cycle in male and female winter flounder, *Pleuronectes americanus*. *Marine Biology*. 121:601-610.
9. LOKMAN, P.; YOUNG G. 1998. Gonad histology and plasma steroid profiles in wild New Zealand freshwater eels (*Anguilla dieffenbachii* and *A. australis*) before and at the onset of the natural spawning migration. II. Males. *Fish Physiology and Biochemistry*. 19:339-347.
10. LOKMAN, P.; VERMEULEN, G.; LAMBERT, J.; YOUNG, G. 1998. Gonad histology and plasma steroid profiles in wild New Zealand freshwater eels (*Anguilla dieffenbachii* and *A. australis*) before and at the onset of the natural spawning migration. I. Females. *Fish Physiology and Biochemistry*. 19:325-338.
11. MALDONADO, O.; VARI, R.; USMA, S. 2008. Checklist of the freshwater fish of Colombia. *Rev. Biota Colombia*. 9(2):44-60.
12. MOJICA, I.; CASTELLANOS, C.; USMA, S.; ÁLVAREZ, R. (Eds). 2002. "Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia". Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá, Colombia.
13. MOJICA, I.; USMA, S.; ÁLVAREZ, R.; LASSO, C. (Eds). 2012. "Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia". Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá, Colombia.
14. MONTEIRO, L.; SOARES, M.; CATANHO, M.; HONCZARYK, A. 2010. Aspectos reproductivos e perfil hormonal dos esteróides sexuais do pirarucu, *Arapaima gigas* (Schinz, 1822), em condições de cativeiro. *Acta Amazônica*. 40 (3):435-450.
15. NORBERG, B.; BROWN, C.; HALLDORSSON, O.; STENSLANDD, K.; BJÖRNSSON, B. 2004. Photoperiod regulates the timing of sexual maturation, spawning, sex steroid and thyroid hormone profiles in the Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture*. 229:451-467.
16. RAHMAN, S.; TAKEMURA, A.; TAKANO, K. 2000. Correlation between plasma steroid hormones and vitellogenin profiles and lunar periodicity in the female golden rabbitfish, *Siganus guttatus* (Bloch). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B*. 127:113-122.
17. RODRÍGUEZ, A.; ROSADO, R. 1993. Ensayos de reproducción inducida en capitán de la sabana *Eremophilus mutisii*, Humboldt, 1805. *Boletín Red Regional de Acuicultura CIID-Colciencias*. 7(3):10-13.
18. ROSADO, R.; GONZÁLEZ, J. 2007. Compilación bibliográfica y análisis del estado actual de la investigación sobre capitán de la sabana, *Eremophilus mutisii*. *Dahlia-Rev. Asoc. Colomb. Ictiol*. 9:43-51.
19. SALCEDO, A.; DÍAZ, S.; GONZÁLEZ, J.; RODRÍGUEZ, A.; VARONA, M. 2012. Exposición a plaguicidas en los habitantes de la ribera del río Bogotá (Suesca) y en el pez capitán. *Rev. Cienc. Salud*. 10(Especial):29-41.
20. SCHIAVONE, R.; ZILLI, L.; STORELLI, C.; VILELLA, S. 2012. Changes in hormonal profile, gonads and sperm quality of *Argyrosomus regius* (Pisces, Scianidae) during the first sexual differentiation and maturation. *Theriogenology*. 77:888-898.
21. SHABANA, N.; EL RAHMAN, S.; AL ABSAWY, M.; ASSEM, S. 2013. Reproductive biology of *Argyrosomus regius* (Asso, 1801) inhabiting the south eastern Mediterranean Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*. 38:147-156.
22. SISNEROS, J.; FORLANO, P.; KNAPP, R.; BASS, A. 2004. Seasonal variation of steroid hormone levels in an intertidal-nesting fish, the vocal plainfin midshipman. *Gen. Comp. Endocrinology*. 136:101-116.
23. TAGHIZADEH, V.; IMANPOOR, M.; MEHDINEJAD, N. 2013. Study the seasonal steroid hormones of common carp in Caspian Sea, Iran. *Springer Plus Journal*. 2:193-196.
24. TAN-FERMIN, J.; IJIRI, S.; UEDA, H.; ADACHI, S.; YAMAUCHI, K. 1997. Ovarian development and serum steroid hormone profiles in hatchery-bred female catfish *Clarias macrocephalus* (Gunther) during an annual reproductive cycle. *Fisheries Science*. 63(6):867-872.
25. VALDERRAMA, M.; MORALES-BETANCOURT, M.; HERNÁNDEZ, S. 2011. *Eremophilus mutisii*. En: Lasso, C.A.E.; Agudelo Cordoba, L.F., Jimenez-Segura, H.; Ramirez-Gil, M.; Morales-Betancourt, R.E.; Ajiaco-

Martínez, F.; de Paula Gutierrez, F.; Usma Oviedo, J.S.; Muñoz Torres, S.E.; Sanabria Ochoa, A.L. (Eds). Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C., Colombia, 715p.

Recibido: Noviembre 30 de 2016  
Aceptado: Abril 30 de 2017

Cómo citar:

Landines P, M.A.; Prieto M., C.A.; Rodríguez V., L.; Rosado P., R. 2017. Perfil de esteroides sexuales del capitán de la sabana (*Eremophilus mutisii*) durante un ciclo hidrológico completo. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 43-50.

# EFFECTO DE UN FOSFATO TÉRMICO SOBRE EL CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE FRÍJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) CV ICA CERINZA

## EFFECT OF THERMAL PHOSPHATE ON GROWTH AND PRODUCTION OF COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) CV 'ICA CERINZA'

Wilmer Alejandro Quintana-Blanco<sup>1</sup>, Elberth Hernando Pinzón Sandoval<sup>2</sup>, David Fernando Torres<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ing. Agrónomo, Investigador Grupo de Investigaciones Agrícolas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja-Boyacá, Av. Central del Norte, e-mail: wilquintana61@hotmail.com; <sup>2</sup> Ing. Agrónomo, M.Sc. Fisiología Vegetal, Grupo de Investigaciones Agrícolas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, e-mail: elberth02@gmail.com; <sup>3</sup> Ing. Agrónomo, M.Sc. Fisiología Vegetal, Estudiante Maestría en Ciencias Agrarias. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Av. Central del Norte, Tunja-Boyacá, email: mollisol89@hotmail.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 51-59, Enero-Junio, 2017

### RESUMEN

El frijol es la leguminosa más importante del mundo por su aporte a la seguridad alimentaria y por el alto contenido de proteínas y de minerales esenciales. En América Latina y especialmente en Colombia, el cultivo de frijol es importante en la economía campesina, pero, en la actualidad, la producción no satisface la demanda, haciendo necesario importar este producto. En la zona ecuatorial y subecuatorial, los suelos, en su mayoría, presentan condiciones ácidas, que conlleva a una baja fertilidad y limitación en la toma de elementos, como el fósforo. Por esto, el uso de fuentes de fósforo no convencionales representa una alternativa en la disponibilidad de este elemento, que mejore la dinámica nutricional y así generar un buen crecimiento y producción de los cultivos. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de un fosfato térmico sobre el crecimiento y el rendimiento del cultivar de frijol 'ICA Cerinza', bajo condiciones agroecológicas, del municipio de Tunja-Boyacá. Se empleó un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos correspondientes a dosis de fosfato térmico 0, 300, 600 y 900 kg ha<sup>-1</sup>, con cuatro repeticiones. Se evaluó el contenido total de clorofila, área foliar, peso seco de órganos, número de vainas por planta y granos por vaina, peso de cien granos, rendimiento y contenido foliar de fósforo. Se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos ( $P \leq 0,05$ ), para las variables de crecimiento y el número de vainas por planta. La aplicación de 600 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato térmico mostró los mejores resultados, posiblemente, debido a las características del producto, tales como solubilidad y composición, siendo una alternativa en suelos de condiciones moderadamente ácidas.

Palabras clave: Fósforo, acidez intercambiable, fosfato térmico, nutrición mineral.

### SUMMARY

The common bean is the world's most important legume for their contribution to food security. In Latin America and especially in Colombia, the bean crop is important in the rural economy, but currently the production does not meet demand, necessitating import this product. In tropical and subtropical soils areas mostly present conditions exchangeable acidity, it leads to low fertility and limitation in making elements such as phosphorus, so the use of unconventional sources of phosphorus, may represent an alternative in the availability of this element that improves the nutritional dynamics and generate good growth and crop production. Therefore, the objective of this research was to evaluate the effect of a thermal phosphate on growth and productivity of bean cv. 'ICA Cerinza' under agro-ecological conditions of the municipality of Tunja-Boyacá. Design was used completely randomized with four treatments corresponding to doses of thermal phosphate 0, 300, 600 and 900 kg ha<sup>-1</sup> with four replications. The total chlorophyll content, leaf area, dry weight of organs, yield components and leaf phosphorus content was evaluated. Statistical differences between treatments ( $P \leq 0.05$ ) for growth variables and the number of pods per plant were presented. Applying 600 kg thermal phosphate ha<sup>-1</sup> showed the best results, possibly because the product characteristics such as solubility and composition, being an alternative flooring moderately acidic conditions.

Key words: Phosphorus, legume, exchangeable acidity, thermal phosphate, mineral nutrition.

## INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa alimenticia más importante para consumo directo en el mundo, por su alto contenido de proteínas y de minerales esenciales (Ulloa *et al.* 2011). Es cultivado por pequeños agricultores en América Latina y África, principalmente, en condiciones desfavorables y con mínimos insumos (Beebe *et al.* 2008). Según FENALCE (2015), el frijol ha sido identificado por organismos nacionales e internacionales, como uno de los cultivos obligatorios para los programas de seguridad alimentaria. Los principales productores son América Latina y África, que aportan cerca del 50% de la producción mundial (Broughton *et al.* 2003).

En Colombia, el cultivo de frijol es unas de las principales actividades de la economía campesina en varias regiones, especialmente, de la zona andina; de gran importancia, como generador de ingresos y empleo rural, pero que ha perdido competitividad frente a la producción de otros países, especialmente, por los altos costos de producción y bajos rendimientos (Arias *et al.* 2007). Según FENALCE (2015), el consumo anual de frijol en Colombia es de 135.511t, con una producción aproximada de 101.497t, en un área de 94.441ha, teniendo un déficit de producción de 34.014t para cubrir la demanda, el cual, es suplido por importaciones de países, como Perú, Estados Unidos, Ecuador y Bolivia.

El fósforo es un elemento esencial porque la planta no puede culminar su ciclo biológico en su ausencia, no puede ser sustituido por otro elemento y debe participar directamente en el metabolismo de las plantas (Fernández, 2007). Se encuentra disponible como ion fosfato y se absorbe, preferentemente, como  $H_2PO_4^-$  en suelos, con un pH inferior a 7 y como anión divalente  $HPO_4^{2-}$  en suelos, con un pH por encima de 7 (Azcón-Bieto & Talón, 2013). Este elemento desempeña funciones estructurales en las macromoléculas, como los ácidos nucleicos y de transferencia de energía en los procesos metabólicos de biosíntesis y degradación. Permanece en su forma más altamente oxidada, ya que no son reducidos en la planta, lo que sí ocurre con los nitratos y los sulfatos (Marschner, 2012).

En zonas ecuatoriales y subecuatoriales de América Latina, África y Asia, existen grandes extensiones de suelos ácidos y de baja fertilidad natural, por presencia de altas concentraciones de elementos, como el aluminio (Zapata & Roy, 2007). Esta condición genera la precipitación del fósforo, en forma de fosfatos de aluminio y tiene como resultado bajas concentraciones de P, disponible en el suelo. Esto ocasiona retraso en la floración, deficiente formación de órganos re-

productivos, puede afectar la radiación interceptada por el cultivo, ya que el fósforo hace parte de enzimas fotosintéticas, como rubisco-pep-carboxilasa y de compuestos, tales como ATP, NADP, fosfolípidos, ADN, ARN e interviene en procesos, como la fotosíntesis, la absorción de iones, la síntesis de proteínas y compuestos orgánicos y la translocación de asimilados (Fernández, 2007).

En la actualidad, la mayoría de fertilizantes fosfóricos se deriva de la roca fosfórica, nombre genérico utilizado para denominar todos los materiales que contienen fosfatos, con algunas impurezas, como sílice, minerales arcillosos, calcita, dolomita y óxidos hidratados de hierro y de aluminio (Zapata & Roy, 2007). Las rocas fosfóricas son un recurso no renovable, por tanto, se prevé que en los próximos 50 años las fuentes de fósforo se agotarán, lo que conllevaría a un gran problema en la producción de los cultivos, reflejado en la seguridad alimentaria mundial (Cordell *et al.* 2009; Gilbert, 2009).

Existe la posibilidad de obtención de un derivado de la roca fosfórica con propiedades de mayor disponibilidad en condiciones de acidez, denominado fosfato térmico, que es un fertilizante fosfórico, obtenido a través del tratamiento térmico a 1600°C, que rompe la estructura rígida de la roca fosfórica, produciendo un material con una solubilidad intermedia, lo cual, mejora la disponibilidad a corto y largo plazo y ofrece a la planta un mayor porcentaje de P, en forma asimilable durante todo su ciclo fenológico (Fernández & Noguera, 2003). El fosfato térmico contiene, además, concentraciones de calcio, de magnesio y de silicio, proveniente de los materiales que componen la roca fosfórica, que estimulan la absorción de fósforo, principalmente, en suelos de condición ácida (Fernández, 2007).

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de tres dosis de un fosfato térmico frente a un testigo sin aplicación en el crecimiento y en la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. 'ICA Cerinza', bajo condiciones agroecológicas del municipio de Tunja, departamento de Boyacá.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio, se realizó bajo condiciones de campo abierto, en la granja La María, de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, con sede en Tunja, Boyacá, con coordenadas 5°32'25"N 73°21'41"O y una altura de 2.691msnm. Las condiciones climáticas durante el desarrollo del experimento fueron las siguientes: temperatura de 13,9°C, humedad relativa del 70% y una precipitación de 81,7mm durante los meses de octubre del 2015 y enero de 2016.

Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos: T1: Testigo sin aplicación; T2: 300kg ha<sup>-1</sup>; T3:

600 kg ha<sup>-1</sup> y T4: 900kg ha<sup>-1</sup> del producto comercial T-Fos® (fosfato térmico), de la empresa Cales y Derivados Calcáreos Río Claro Naranja y Compañía S.C.A., estos determinados, según las condiciones del suelo (Tabla 1). El producto comercial tiene una composición garantizada de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 20%; CaO 28%; MgO 8,5%; SiO<sub>2</sub> 15%. Cada tratamiento se replicó

cuatro veces, para un total de 16 unidades experimentales (UE). Las UE fueron parcelas con dimensiones 1,4 x 2m, para un área de 2,8m<sup>2</sup>/parcela. La siembra, se hizo con una distancia entre surcos de 0,6m y entre plantas de 0,3m, para una densidad de 55.555 plantas ha<sup>-1</sup>. Se colocaron dos granos por sitio, para luego realizar un raleo y tener un total de 18 plantas por UE.

Tabla 1. Propiedades físico-químicas del suelo utilizado en el experimento.

Propiedad	Valor	Interpretación
pH	5,53	Moderadamente. Ácido (Castro, 1998)
M.O (%)	0,99	Baja
P Bray II (ppm)	22,7	Alto
Ca (cmol kg <sup>-1</sup> )	11,35	Alto
Mg (cmol kg <sup>-1</sup> )	3,6	Alto
K (cmol kg <sup>-1</sup> )	1,88	Alto
Na (cmol kg <sup>-1</sup> )	0,75	Medio
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0,63	Baja
Textura	A: 28,8 Ar: 26 L: 45,12	Franca

Para la medición de las variables, se seleccionaron 10 plantas de los surcos centrales, con el fin de evitar el efecto de borde. Se utilizó semilla de frijol tipo arbustivo cultivar 'ICA Cerinza', de buena adaptación en la zona. Antes de la siembra, se realizó un análisis físicoquímico del suelo (Tabla 1). La aplicación del fosfato térmico, se hizo al momento de la siembra. La fertilización, se efectuó de acuerdo a los resultados del análisis de suelos un mes después de la siembra, utilizando Urea, DAP, Cloruro de Potasio y Micronfos. Se aplicó riego por aspersión, según necesidad del cultivo y aplicación de control fitosanitario, con base en monitoreo, aplicando productos para el control de antracnosis y minadores.

Las variables fisiológicas y de crecimiento evaluadas fueron: clorofila total SPAD (con un clorofilómetro Minolta SPAD 502 plus), tomando por planta un total de 10 mediciones en hojas del tercio central; grosor de hoja mm (por medio de un calibrador digital Mitutoyo precisión ±0,05mm); área foliar cm<sup>2</sup> (con un medidor CI 202, Bio-Science Inc.); pesos frescos y secos g (en una balanza electrónica Acculab VIC 612 de 0,01g de precisión y secadas en una estufa de secado Memmert, a 70°C, durante 48h); contenido de fósforo en tejido, por el método de calcinación a 600°C; digestión ácida y valoración por espectrofotometría visible. En cuanto al rendimiento, se realizó la medición de variables, como: número de vainas por planta, número de granos por vaina, peso de 100 granos al 14% de humedad g, balanceado, con

un medidor Motomco Moisture Meter modelo 919, del laboratorio de semillas de FENALCE y rendimiento en kg ha<sup>-1</sup>. Los análisis de fósforo, se efectuaron en el laboratorio de suelos y aguas de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. La medición de variables de crecimiento y de producción, se adelantaron en el laboratorio de fisiología vegetal de la UPTC.

Los datos obtenidos fueron sometidos a pruebas de normalidad y de homogeneidad de varianza, mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Comprobados los supuestos, se realizó análisis de varianza; las variables que mostraron diferencias estadísticas fueron sometidas a pruebas de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Los análisis se formalizaron con el programa estadístico SAS v.9.2e SAS (Institute Inc., Cary, NC).

## RESULTADOS Y DISCUSION

El contenido de clorofila presentó diferencias estadísticas ( $P \leq 0,05$ ) entre tratamientos, desde la aparición de hojas verdaderas hasta llenado de grano (Figura 1). El tratamiento que presentó valores más altos en el contenido de clorofila fue el de 600kg ha<sup>-1</sup> de fosfato térmico, con un valor de  $53,5 \pm 0,96$  unidades SPAD, en la semana 14. Según Shekari *et al.* (2015), el contenido de clorofila está directamente ligado a la tasa fotosintética, en la cual, el fósforo tiene una

participación directa en la transferencia de energía y el metabolismo de los hidratos de carbono, en los cloroplastos. Por otra parte, los procesos fotosintéticos son dependientes de los precursores, como el fosfato inorgánico o intermediarios fosforilados, tales como ADP, ATP, NADPH, esenciales para la transferencia de energía (Singh *et al.* 2013).

Sumado a lo anterior, el fosfato térmico utilizado en la investigación también presenta un porcentaje de silicio y de magnesio; el silicio contribuye al aumento del contenido

de clorofila en unidades SPAD (Soil Plant Analysis Development), debido a que está presente en altas concentraciones por unidad de área de tejido foliar, representando un impacto positivo en la tolerancia de la planta, a bajos o altos niveles de luz, haciendo más eficiente su uso por parte de los pigmentos fotosintéticos, como la clorofila (Adatia & Besford, 1986); por otra parte, el magnesio aportado por el fosfato térmico interviene en varias funciones vitales para la planta, como la formación de clorofila (Cakmak & Kirkby, 2008).

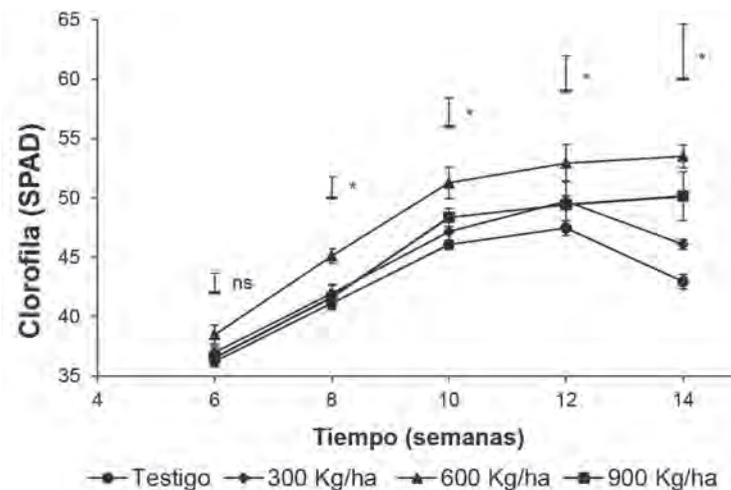


Figura 1. Comportamiento de la clorofila total en fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv 'ICA Cerinza', sometido a diferentes dosis de fosfato térmico. Barras verticales en los tratamientos indican error estándar (n=4). Barras sobre los puntos de muestreo indica la diferencia mínima significativa en cada punto de muestreo, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ), ns: no existen diferencia estadística, \*: diferencias significativas.

Según Cakmak *et al.* (1994), en fríjol y en trigo, cuando existe deficiencia de Mg, se inhibe la concentración de clorofila, ya que el Mg es parte fundamental de la estructura de la misma. Los resultados encontrados en el presente estudio muestran que la aplicación de dosis crecientes del fosfato térmico hasta  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  aumentan el contenido de clorofila en el cultivo de fríjol cv 'ICA Cerinza'; sin embargo, el tratamiento de  $900 \text{ kg ha}^{-1}$  mostró un valor inferior, posiblemente, por exceso del contenido de fósforo en la solución del suelo, ocasionando un antagonismo con aniones, como el  $\text{NO}_3^-$ , lo que pudo causar una disminución leve en el indicador de clorofila total cuantificada, mediante el método no destructivo SPAD, que relaciona el contenido de nitrógeno, como componente de las clorofilas. Singh & Reddy (2015) afirman que la capacidad fotosintética y, por ende, la clorofila, están relacionadas directamente con el contenido de fósforo y de nitrógeno en la planta.

El peso seco de órganos mostró diferencias significativas entre tratamientos ( $P \leq 0,05$ ). El mayor valor de raíz, de tallo, de hojas y de vainas lo presentó la dosis de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  de fosfato térmico, con valores de  $1,09 \pm 0,25 \text{ g}$ ,  $15,79 \pm 1,28 \text{ g}$ ,  $21,18 \pm 1,76 \text{ g}$  y  $63,81 \pm 3,60 \text{ g}$ , respectivamente (Figura 2). El tratamiento testigo fue el que mostró menor valor en todos los casos y la dosis de  $900 \text{ kg ha}^{-1}$  mostró una disminución frente al tratamiento de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$ , con diferencias significativas en peso seco de hojas y de vainas. La acumulación de materia seca por la planta está directamente relacionada con el suministro de nutrientes, siendo la masa seca un indicador de la eficiencia en la absorción de los elementos (Hernández *et al.* 1996). Según Fageria *et al.* (2010), los efectos positivos, en cuanto a la aplicación de fósforo en fríjol común y en la asociación haba-maíz, los atribuyen, principalmente, al incremento en el desarrollo del sistema radical, con lo que se mejora la toma de nutrientes minerales.

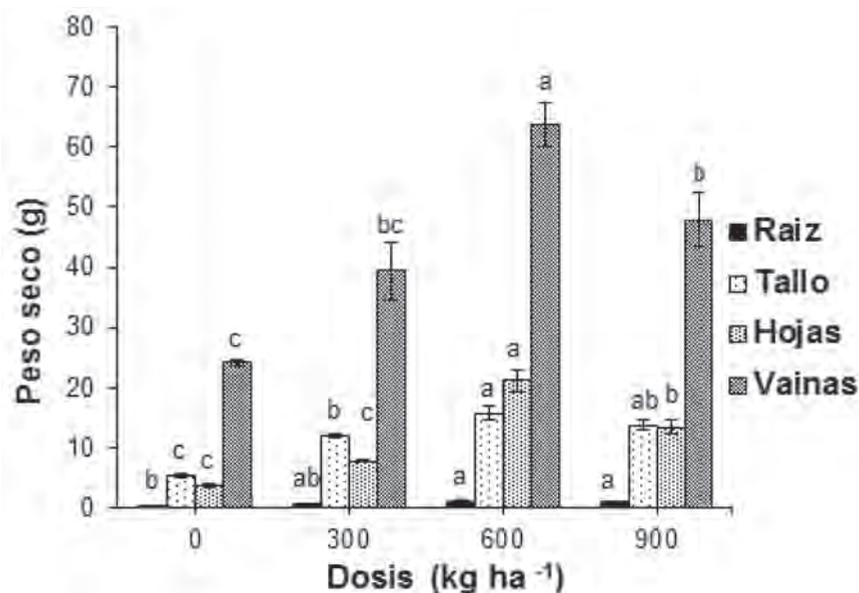


Figura 2. Peso seco de órganos en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv 'ICA Cerinza', sometido a diferentes dosis de fosfato térmico. Tratamientos seguidos de letras distintas presentan diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Barras verticales indican error estándar ( $n=4$ ).

Las plantas con deficiencia de fósforo crecen lentamente, sus hojas se tornan verde oscuras con áreas rojizas y presentan tallos delgados (Rojas, 1993), disminuye la captación de radiación solar por el cultivo y la eficiencia de conversión de la radiación interceptada en materia seca, produciendo, por lo tanto, mermas en la materia seca total.

Según Morales *et al.* (2007), en frijol, cuando se adicionaron  $60 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ , se obtuvo una producción de materia seca superior al testigo en 27%; ello, se puede atribuir a que este nutriente junto con el nitrógeno están relacionados directamente con el contenido de clorofila y el tamaño del dosel vegetal, lo cual, aumenta la intercepción de radiación solar y fotosíntesis, generando una mayor acumulación de materia seca (Abayomi *et al.* 2008). En caupi, el peso seco de las raíces y la materia seca total mostraron resultados positivos en respuesta a la aplicación de fósforo (Okeleye & Okelana, 2000; Nkaa *et al.* 2014).

Hernández *et al.* (1996) indican que aplicaciones según requerimientos nutricionales de fósforo en frijol incrementan la acumulación de masa seca en raíces, en tallos, en hojas, en peciolas y en vainas. Por su parte, Medina *et al.* (1999) indican que el fósforo juega un papel importante en la composición de las membranas y estimula el crecimiento; Haruna & Aliyu (2011) señalan que inicia la formación de nódulos e influencia la eficiencia de la simbiosis *Rhizobium leguminosa*, que es un proceso de conducción de energía y ello con-

tribuye al aumento de materia seca en los distintos órganos de la planta (Nkaa *et al.* 2014).

Por su parte, el área foliar mostró diferencias significativas entre tratamientos, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). El tratamiento de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  de fosfato térmico presentó el mayor valor de área foliar, con  $1750,32 \pm 81,39 \text{ cm}^2$ , sin diferencias estadísticas con el tratamiento de  $900 \text{ kg ha}^{-1}$ , pero sí con la dosis de  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  y el testigo, expresó el menor valor, con  $855,13 \pm 13,25 \text{ cm}^2$  (Figura 3).

Varios estudios fisiológicos indican que el área foliar está estrechamente relacionado con la dinámica de la acumulación de materia seca, fósforo y otros nutrientes (Marschner, 2012), definiéndose a la lámina foliar, como la parte más importante del aparato fotosintético de la planta (Pineda-Mares *et al.* 2001); lo anterior está de acuerdo con lo observado en el presente estudio.

En cuanto a las variables de producción, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, para número de vainas por planta y rendimiento. El mayor valor fue de  $21 \pm 1,08$  y  $2326,6 \pm 184,68 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente, observado, en el tratamiento de  $600 \text{ kg}$  de fosfato térmico,  $\text{ha}^{-1}$ . Para las variables de número de granos por vaina y por peso de cien granos, no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos (Tabla 2).

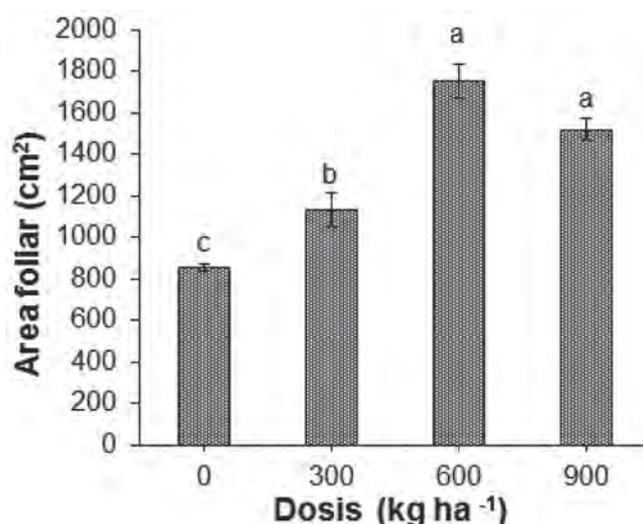


Figura 3. Área foliar en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv 'ICA Cerinza', sometido a diferentes dosis de fosfato térmico. Tratamientos seguidos de letras distintas presentan diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Barras verticales indican error estándar ( $n=4$ ).

Tabla 2. Efecto de diferentes dosis de un fosfato térmico sobre componentes de rendimiento en frijol cv 'ICA Cerinza', en condiciones agroecológicas de Tunja, Boyacá.

Tratamientos (kg ha <sup>-1</sup> )	NVP	NGV	P100	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
0	12±0,4 b	3,35±0,14 a	63,11±0,73 a	1408,7±75,5 b
300	15,5±2,02 ab	3,14±0,11 a	66,37±1,51 a	1781,1±199,0 ab
600	21±1,08 a	3,09±0,12 a	64,22±0,53 a	2326,6±184,6 a
900	20±1,77 a	3,17±0,02 a	61,99±1,36 a	2192,5±226,6 a

Promedios con letras distintas en la misma columna indican diferencia significativa, según la Prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Media acompañada del error estándar ( $\pm$ ). NVP: Número de vainas por planta; NGV: Número de granos por vaina; P100: Peso de 100 granos al 14% de humedad.

Según los resultados, se pudo observar que el componente de rendimiento que determinó en mayor proporción el rendimiento final en kg ha<sup>-1</sup> fue el número de vainas por planta, ya que se observó un aumento en comparación con el testigo, mientras que las demás variables fueron similares. El número de vainas por planta, a menudo, es recomendado como un criterio de selección indirecta para aumentar la productividad, principalmente, debido a su mayor y más consistente correlación con el rendimiento (Fageria *et al.* 2010).

También, se pudo observar que, a medida que el número de vainas aumentó, el número de granos por vaina disminuyó, posiblemente, debido a un efecto de dilución por crecimen-

to. En cuanto al aumento de peso de cien granos, se dio el mejor resultado numéricamente con la aplicación de 300kg de fosfato térmico ha<sup>-1</sup>, que se podría atribuir a la función del fósforo en la formación de semillas y llenado de grano acumulado, como fitatos (Haruna, 2011; Taiz & Zeiger, 2010).

Según investigaciones realizadas la aplicación de 150kg ha<sup>-1</sup> de fósforo junto con aplicación de nitrógeno logró aumentar la biomasa total, el número de vainas, el número de granos, el rendimiento de grano y la eficiencia en el uso del agua (Apáez *et al.* 2013). Otros autores afirman que el fósforo desempeña un papel importante en la fotosíntesis, la respiración, el almacenamiento, la transferencia de energía,

la división y el crecimiento celular, promoviendo, además, la rápida formación y crecimiento de las raíces y mejorando la calidad de granos (Múnera & Meza, 2012).

En cuanto a la variable concentración de fósforo en tejido foliar al momento de maduración, se presentaron diferencias significativas entre tratamientos ( $P \leq 0,05$ ). La mayor concentración de P se obtuvo con la dosis de aplicación de 600kg de fosfato térmico  $\text{ha}^{-1}$ , con un valor de  $0,32 \pm 0,01\%$ , sin diferencias estadísticas con la mayor dosis aplicada, pero sí con 300kg  $\text{ha}^{-1}$  y el testigo que presentó la menor concentración con  $0,21 \pm 0,004\%$  al terminar la etapa de llenado de vainas (Figura 4). Estos resultados indican que el uso de un fosfato térmico contribuyó al aumento de la concentración en tejido de fósforo, representado en un incremento en el crecimiento y en la productividad de frijol cv 'ICA Cerinza', ya que se observó una relación directa con variables, como

contenido de clorofila, masa seca de órganos, área foliar y número de vainas por planta.

También, el fosfato térmico, al tener concentraciones de silicio, los sitios de fijación de P pueden ser ocupados parcialmente por el ácido silícico y en contraste cuando el P, se adsorbe, el si se libera a la solución del suelo; estas reacciones de adsorción-desorción son reversibles y constituyen un mecanismo fundamental para mejorar la disponibilidad de P en los suelos, generando una buena dinámica nutricional (Datnoff *et al.* 2007). El mismo autor indica que, en el suelo, uno de los efectos más importantes de la aplicación de enmiendas silicatadas es mejorar la disponibilidad de P y así mejorar su absorción por las plantas; estos efectos son muy evidentes en suelos tropicales, debido a la competencia del ion  $\text{H}_2\text{PO}_4$  y el  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ , por sitios de adsorción sobre la superficie de arcillas y de óxidos e hidróxidos de Fe y Al.

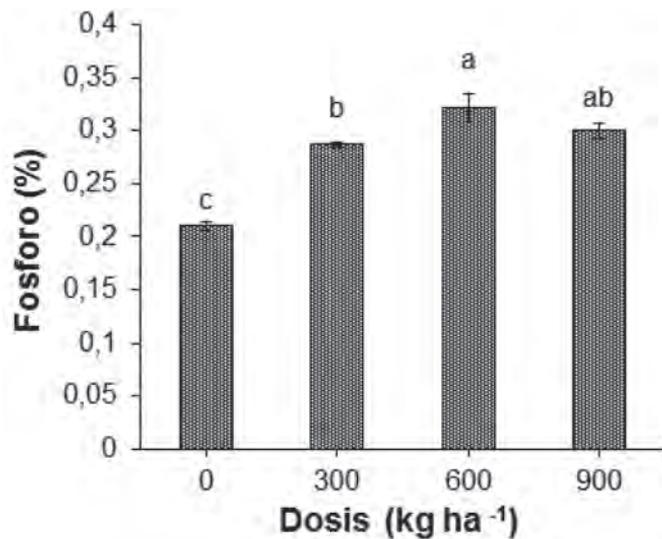


Figura 4. Concentración en tejido vegetal de fósforo (%) en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv 'ICA Cerinza', sometido a diferentes dosis de fosfato térmico. Tratamientos seguidos de letras distintas presentan diferencias significativas, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Barras verticales indican error estándar ( $n=4$ ).

Según Marschner (2012), en la mayoría de plantas la concentración de fósforo que se considera adecuada es 0,2% en relación al peso seco, en el presente estudio, se tuvo una mayor acumulación de fósforo a nivel foliar, que tiene un efecto directo en la capacidad fotosintética de las plantas (Singh *et al.* 2013). Otros afirman que el fósforo es acumulado en partes vegetativas hasta la floración, para luego ser movilizado hacia los granos en crecimiento; en maíz, se han encontrado concentraciones de 0,17% y 0,22% peso seco y en algodón, valores de 0,24% y 0,66%, para hojas y grano, respectivamente (Múnera & Meza, 2012).

Se puede concluir, que la aplicación de T-Fos® (fosfato térmico) en condiciones de suelo, moderadamente ácidas, con pH 5,53, favoreció de manera significativa variables, como contenido total de clorofila, masa seca de órganos, área foliar, fósforo en tejido foliar y número de vainas por planta. Además, la aplicación del fosfato térmico frente al testigo generó un aumento de un 65%, en el rendimiento con la dosis de 600kg  $\text{ha}^{-1}$ .

Los resultados encontrados en la presente investigación indican que la aplicación de fosfato térmico enriquecido con cal

cio, silicio y magnesio contribuye a aumentar el rendimiento de frijol, en un suelo de condición moderadamente ácida, haciendo más eficiente la absorción de fósforo, posiblemente, debido a las características del producto que mejoran la solubilidad en condiciones ácidas, siendo una alternativa importante en la incorporación de las prácticas agronómicas.

**Agradecimientos:** La presente investigación se realizó con el apoyo de Cales y Derivados Calcáreos Rio Claro Naranja y Compañía S.C.A. y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, sede Tunja. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABAYOMI, Y.A.; AJIBADE, T.; SAMMUEL, O.; SAADU-DEEN, B. 2008. Growth and yield responses of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) genotypes to nitrogen fertilizer (NPK) application in the Southern Guinea Savanna zone of Nigeria. *Asian J. Plant Sci.* 7:170-176.
- ADATIA, M.; BESFORD, R. 1986. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Ann. Bot.* 58:343-351.
- APÁEZ, P.; ESCALANTE, J.; RAMÍREZ, P.; DOUGLAS, S.; SOSA, E.; OLALDE, V. 2013. Eficiencia agronómica de nitrógeno y fósforo en la producción de frijol chino en espaldera de maíz. *Terra Latinoamericana.* 31(4):285-293.
- ARIAS, J.H.; JARAMILLO, M.; RENGIFO, T. 2007. Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en la producción de frijol voluble. CORPOICA – MANA – FAO. C.I. La Selva. Medellín. 168p.
- AZCÓN-BIETO, J.; TALÓN, M. 2013. Fundamentos de fisiología vegetal. 2ª ed. Mc Graw Hill. Universidad de Barcelona. España. 656p.
- BEEBE, S.; RAO, I.; CAJIAO, C.; GRAJALES, M. 2008. Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. *Crop Sci.* 48:582-592.
- BROUGHTON, W.; HERNANDEZ, G.; BLAIR, M.; BEEBE, S.; GEPTS, P.; VANDERLEYDEN, J. 2003. Beans (*Phaseolus* spp.) – model food legumes. *Plant and Soil.* 252:55–128.
- CAKMAK, I.; HENGELER, C.; MARSCHNER, H. 1994. Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency. *J. Exp. Bot.* 45:1245-1250.
- CAKMAK, I.; KIRKBY, E.A. 2008. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. *Physiol. Plant.* 133:692-704.
- CASTRO, H. 1998. Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas: Manual técnico. Instituto Universitario Juan de Castellanos. 360p.
- CORDELL, D.; DRANGERT, J.; WHITE, S. 2009. The story of phosphorus: global food security and food for thought. *Global Environ Change.* 19:292-305.
- DATNOFF, L.; RODRIGUES, F.; SEEBOLD K. 2007. Silicon and Plant Disease. En: *Mineral Nutrition and Plant Disease: The American Phytopathological Society.* p.233-246.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; MOREIRA, A.; PORTES, T. 2010. Dry bean genotypes evaluation for growth, yield components and phosphorus use efficiency. *J. Plant Nutr.* 33:2167-2181.
- FENALCE. 2015. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas. Departamento económico y apoyo a la comercialización. Indicadores cerealistas. Bogotá D.C. 102p.
- FERNÁNDEZ, M. 2007. Fósforo: amigo o enemigo. ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar. 41(2):51-57.
- FERNÁNDEZ, S.; NOGUERA, R. 2003. Producción de fosfatos térmicos a partir de rocas fosfóricas nacionales. *Agr. Trop.* 53(1):49-58.
- GILBERT, N. 2009. The disappearing nutrient. *Nature.* 461:716-718.
- HARUNA, I. 2011. Dry matter partitioning and grain yield potential in sesame (*Sesamum indicum* L.) as influenced by poultry manure, nitrogen and phosphorus at Samaru, Nigeria. *J. Agric. Technol.* 7:1571-1577.
- HARUNA, I.; ALIYU, L. 2011. Yield and economic returns of sesame (*Sesamum indicum* L.) as influenced by poultry manure, nitrogen and phosphorus at Samaru, Nigeria. *Elixir Agric.* 39:4884-4887.

20. HERNÁNDEZ, G.; TOSCANO, V.; MÉNDEZ, N.; GÓMEZ, L.; MÜLLINGS, M. 1996. Efecto de la concentración de fósforo sobre su asimilación en tres genotipos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Agron. Me-soam. 7(1):80-85.
21. MARSCHNER, P. 2012. Mineral nutrition of higher plants. 3<sup>rd</sup>. Ed. Elsevier. Oxford, UK. 645p.
22. MEDINA, G.; OROZCO, M.; BOLÍVAR, J.; RAMÍREZ, P. 1999. Acumulación y concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en *Gypsophila paniculata* L. cv. Perfecta. Agron. Colomb. 16(1-3):46-50.
23. MORALES, E.; ESCALANTE, J.; LÓPEZ, J. 2007. Producción de biomasa y rendimiento de semilla en la asociación girasol (*Helianthus annuus* L.) frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en función del nitrógeno y fósforo. Ciencia Ergo Sum. 14(2):177-183.
24. MÚNERA, G.; MEZA, D. 2012. El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal. Manual. Universidad Tecnológica de Pereira. 52p.
25. NKAÁ, F.A.; NWOKEOCHA, O.; IHUOMA, O. 2014. Effect of phosphorus fertilizer on growth and yield of cowpea (*Vigna unguiculata*). J. Pharmacy Biological Sc. 9(5):74-82.
26. OKELEYE, K.A.; OKELANA, M. 2000. Effect of phosphorus fertilizer on nodulation, growth, and yield of cowpea (*Vigna unguiculata*) varieties. Indian J. of Agric. Sci. 67(1):10-12.
27. PINEDA-MARES, P.; MARTÍNEZ-MONTOYA, J.; AMANTE-OROZCO, A.; RUIZ-VERA, V. 2001. Respuesta del maíz al fósforo y un mejorador de suelos en áreas yesosas de la zona media de San Luis de Potosí. Rev. Chapingo Serie zonas áridas. p.106-113.
28. ROJAS, M. 1993. Fisiología vegetal aplicada. Interamericana. Mc Graw Hill. México. 275p.
29. SHEKARI, F.; ABBASI, A.; MUSTAFAVI, S. 2015. Effect of silicon and selenium on enzymatic changes and productivity of dill in saline condition. J. Saudi Soc. Agr. Sc. Corrected Proof. In Press. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2015.11.006>.
30. SINGH, S.K.; REDDY, V.R. 2015. Response of carbon assimilation and chlorophyll fluorescence to soybean leaf phosphorus across CO<sub>2</sub>: Alternative electron sink, nutrient efficiency and critical concentration. J. Photochem. Photobiol. B: Biology.151:276-284.
31. SINGH, S.K.; BADGUJAR, G.B.; REDDY, V.R.; FLEISHER, D.H.; TIMLIN, D.J. 2013. Effect of phosphorus nutrition on growth and physiology of cotton under ambient and elevated carbon dioxide. J. Agron. Crop Sci. 199:436-448.
32. TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2010. Plant Physiology. 5<sup>th</sup> Ed. Sinauer Associates, Sunderland. 782p.
33. ULLOA, J.A.; ROSAS ULLOA, P.; RAMÍREZ, J.C.; ULLOA, B.E. 2011. El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. Rev. Fuente Año 3(8):5-9.
34. ZAPATA, E.; ROY, R. 2007. Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible. Boletín FAO. Fertilizantes y nutrición vegetal 13. Roma. 177p.

Recibido: Septiembre 15 de 2016

Aceptado: Febrero 16 de 2017

#### Cómo citar:

Quintana-Blanco, W.A.; Pinzón Sandoval, E.H.; Torres, D.F. 2017. Efecto de un fosfato térmico sobre el crecimiento y producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv Ica Cerinza. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 51-59.



# COMPORTAMIENTO ECOFISIOLÓGICO DEL CAFETO (*Coffea arabica* L.) CV. CASTILLO EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE TIBACUY, CUNDINAMARCA

## ECOPHYSIOLOGY PERFORMANCE OF COFFEE (*Coffea arabica* L.) CV. CASTILLO IN AGROFORESTRY SYSTEMS IN TIBACUY, CUNDINAMARCA

Piedad Cecilia Zapata Arango<sup>1</sup>, Hernán Jair Andrade Castañeda<sup>2</sup>, Zaira Katerine Nieto Abril<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Agrozootecnista, M.Sc, en Agroforestería Tropical, Docente-Investigadora. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Calle 222 N. 55-37, Bogotá, Colombia, e-mail: pzapata@udca.edu.co; <sup>2</sup>Ingeniero Agrónomo, Ph.D., en Agroforestería, Docente- Investigador. Universidad del Tolima, Barrio Santa Helena Parte Alta, Código Postal N. 730006299, Ibagué, Colombia, e-mail: hjandrade@ut.edu.co; <sup>3</sup>Ingeniera Agrónoma, M.Sc., en Agroforestería Tropical. Consorcio Pomcas 2014, Carrera 48 # 93 -61, Bogotá, Colombia, e-mail: niabka@hotmail.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 61-70, Enero- Junio, 2017

### RESUMEN

En Tibacuy, Cundinamarca, Colombia, se encuentran cultivos de café, tanto a pleno sol como con diferentes coberturas arbóreas y de plátano (*Musa AAB*); sin embargo, no se han realizado investigaciones que estudien las interacciones entre el dosel de sombra y el cultivo. Esta investigación, se centró en evaluar la respuesta ecofisiológica de plantas de café cv. Castillo en sistemas agroforestales (SAF), con tres niveles de sombra: baja, de 0 a 20%; media, 21 a 47% y alta, de 48 a 70%. Se seleccionaron cinco fincas por condición de sombra, con cafetales de 4 a 6 años. En cada predio, se estableció una parcela de 1.000m<sup>2</sup>, en la que se realizaron tres muestreos en el 2015: periodo lluvioso-enero, época de transición-junio y época seca-julio. En cada parcela, se seleccionaron tres plantas de café representativas y en cada planta tres hojas, una por estrato vertical: bajo, medio y alto. Se midió la radiación fotosintéticamente activa incidente (RAFAi), conductancia estomática, transpiración y asimilación neta de carbono, con un sistema de fotosíntesis portable CIRAS-3. Los resultados indican que niveles de sombra entre 48 y 70% afectaron negativamente la fotosíntesis de las plantas de café, mientras que con niveles de sombra, hasta de 47%, se obtiene una eficiencia fotosintética similar a plantas de café a pleno sol. Estos resultados son importantes para las decisiones de establecimiento y de manejo de sistemas productivos de café, principalmente, las relacionadas con el dosel de sombra.

Palabras clave: Asimilación neta de CO<sub>2</sub>, conductividad estomática, radiación fotosintéticamente activa, transpiración.

### SUMMARY

Coffee crops under full sun and different tree covers and plantain (*Musa AAB*) are located in Tibacuy, Cundinamarca, Colombia; however, no studies about interactions between canopy layer and the crop have been carried out. This research is focused in evaluating the ecophysiological performance of coffee bushes cv. Castillo in agroforestry systems (AFS) under three conditions of tree and plantain (*Musa AAB*) shade: low shade, 0-20%, medium shade, 21-47% and high shade, 48-70%. Five farms by type of shade with coffee plantations in production, aged between 4 and 6 years were selected. In each place, a sampling plot of 1000m<sup>2</sup> was established in which three recordings were taken in 2015: rainy season, January, transition period, June, and dry season, July. In each sampling plot, three representative coffee plants were selected, which were representative and in each plant, three leaves were selected: one by vertical strata: low, medium and high. The incident radiation photosynthetically active (PARI), stomatal conductance, transpiration and net assimilation of CO<sub>2</sub> were measured with a portable photosynthesis system CIRAS 3. The results show that high levels of shade between 48 and 70% negatively affected the photosynthesis rates of coffee plants; whereas with medium levels of shade up to 47% a similar photosynthetic efficiency than plants under full sun was obtained. These results are important inputs to consider in taking decisions for the establishment and management of coffee production systems regarding shade canopy.

Key words: Net assimilation of CO<sub>2</sub>, photosynthetically active radiation, stomatal conductance, transpiration.

## INTRODUCCIÓN

En Colombia, la zona cafetera se encuentra localizada en las laderas de las cordilleras que atraviesan el país de sur a norte; estos suelos son altamente variables en sus características, debido a su distribución en la zona cafetera, por su ubicación sobre distintos tipos de relieve, desde plano o ligeramente ondulado hasta abrupto, con valores de pendiente superiores al 75% (Arcila *et al.* 2007; Federación Nacional de Cafeteros, 2010).

Aunque el café es originario de ambientes sombreados, lo que le confiere capacidad de adaptación a estas condiciones, a menudo, crece mejor y produce mayores rendimientos sin sombra, pero a expensas de altas demandas de fertilización, particularmente de Nitrógeno y de su vida productiva (Da-Matta & Rodríguez, 2007; Franck & Vaast, 2009; Pompelli *et al.* 2010). Estudios demuestran que, con niveles de sombra superiores al 40%, la producción disminuye (Soto Pinto *et al.* 2000; Botero Jaramillo *et al.* 2010), pues se generan relaciones de competencia por agua, luz y nutrientes con el cultivo asociado y, como consecuencia la disminución de su rendimiento.

La producción está relacionada con la capacidad fotosintética de la planta, donde la Radiación Fotosintéticamente activa - RAFAi, se convierte en el principal factor limitante (Castilla *et al.* 2013); por esta razón, en estos sistemas de producción, el manejo de las interacciones biofísicas, principalmente transmisión de radiación y competencia por agua, determina, en gran medida, su éxito (Brenda, 2010; Charbonnier *et al.* 2013).

A su vez, la utilización de árboles de uso múltiple, que producen alimentos, forraje, madera y leña y su integración a los sistemas de producción agropecuarios, ofrecen soluciones sostenibles a varios problemas graves de gestión de la tierra, tal como la seguridad alimentaria, la protección del medio ambiente y mitigación del cambio climático, al capturar el CO<sub>2</sub> atmosférico, en biomasa y suelos (Nair, 2014; Farfán, 2014; Andrade *et al.* 2014).

Las especies vegetales, se encargan de transformar el CO<sub>2</sub> en carbono orgánico y almacenarlo como madera, materia orgánica, raíces y suelo, mediante el balance entre fotosíntesis y respiración (IPCC, 2013). Estos sistemas también permiten adaptarse al cambio climático, al regular el microclima y amortiguar los eventos climáticos extremos (Andrade *et al.* 2013). La presencia del dosel de sombra en sistemas agroforestales es capaz de reducir la demanda evaporativa general y la transpiración de café, por lo que ofrece un mayor nivel de protección de los cultivos frente a la vulnerabilidad agrícola a los recursos hídricos reducidos (Brenda, 2010).

Por todo lo anterior, el objetivo de este trabajo, se centró en evaluar el efecto del nivel de sombrero sobre el comportamiento ecofisiológico de cafetos (*Coffea arabica* L.) cv. Castillo, en el municipio de Tibacuy, Cundinamarca, de manera que los resultados puedan ser insumos para la toma de decisiones, sobre el manejo de los sistemas productivos de café, en esta región.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio y sistemas evaluados:** La investigación, se desarrolló en el municipio de Tibacuy, departamento de Cundinamarca, Colombia, ubicado en las coordenadas 4°21'04" N y 72°27'23" O. La cabecera municipal, se encuentra situada a una altitud de 1.647m, una temperatura media de 22°C y una precipitación media de 1.092mm/año. Los principales ingresos del municipio de Tibacuy son originados por actividades pecuarias y por el cultivo de café, que cubría 1.287ha con cv. Castillo, en el 2014, lo que representa el 87% del área en cultivos permanentes del municipio (Alcaldía de Tibacuy, 2016). El dosel de sombra en las fincas estudiadas estaba representado por árboles y plátano (*Musa* AAB). Las fincas seleccionadas, se ubicaron en la zona cafetera del municipio, en un rango altitudinal entre 1.442 y 1.712m. Las parcelas de muestreo tuvieron un rango de pendiente entre 30 a 60%, con suelos catalogados como fuertemente ácidos, pH entre 4,5 y 4,9, con una textura franca y niveles de materia orgánica, entre 5 y 11%.

Se hicieron recorridos por fincas cafeteras del municipio, a partir de los cuales, se seleccionaron cinco plantaciones de café por cada condición de sombrero: bajo, 0 – 20%; medio, 21 - 47% y alto, 48 – 70%. Todos los lotes seleccionados estaban plantados con cafetos cv. Castillo, con edades entre cuatro y seis años. Este cultivar y el cv. Colombia provienen de la misma estrategia de selección, del cruzamiento de Caturra x Híbrido de Timor, lo que les confiere similitud en muchos aspectos; el cv. Castillo posee resistencia a la roya del café y probable tolerancia a la enfermedad de las cerezas del café. El cv. Castillo, se caracteriza por que las hojas se disponen en el tallo casi verticalmente, dando una sensación de adormecimiento y la altura total promedio es de 2,3m. Durante la selección de esta variedad, se le dio prioridad al tamaño de grano (proporción de grano supremo > 80%) y a la productividad, con base en su comportamiento en regiones específicas de Colombia (Alvarado *et al.* 2005; Cortina Guerrero *et al.* 2012).

En todas las fincas seleccionadas, la fertilización era química inorgánica y el área de los lotes seleccionados estuvo entre 0,3 a 1ha, con una distancia de siembra entre plantas de café de 1,5 x 1,5m. En cada plantación, se estableció una parcela de muestreo rectangular de 1.000m<sup>2</sup> (20 x 50m), en donde se tomaron sistemáticamente cinco fotografías digi-

tales verticales a la copa de los árboles, con lente plano, a una altura de 1,50m sobre los cafetos, para estimar la sombra. Estas fotografías fueron procesadas con el software libre Gap Light Analyzer - GLA® (Frazer *et al.* 1999). A partir de estos resultados, se establecieron los rangos de sombrero evaluados.

Los sistemas de sombrero alto registraron una abundancia de 192 árboles/ha, representados en 14 especies, donde *Caliandra pittieri*, *Cordia alliodora*, *Citrus sinensis* e *Inga edulis* constituyen, en conjunto, el 82,3% de todos los individuos de esos sistemas. Los árboles tuvieron una altura total promedio de 13,6m y un diámetro a la altura del pecho-DAP, de 21,9cm. La abundancia de plátano fue en promedio de 110 individuos/ha.

En sistemas de sombra media, se registraron 144 árboles/ha y una mayor diversidad de especies, 24 en total, siendo las más abundantes *C. alliodora*, *Myrsine guianensis*, *Persea americana*, *Pittosporum undulatum*, *Aiouea dubia*, *Cedrela montana* y *C. sinensis* que, en conjunto, representan el 63% del total de individuos en el sistema. La altura promedio de los árboles fue de 11,6m y el DAP, de 18,9cm. La abundancia de plátano fue de 4 individuos/ha.

En cafetales con sombrero bajo, la densidad arbórea promedio fue de 40 individuos/ha, agrupados en 11 especies, donde las más abundantes fueron: *C. alliodora*, *Trichanthera gigantea*, *Myrsine coriacea*, *P. americana* que, en conjunto suman el 65% del total de individuos. La altura promedio de los árboles fue de: 11,6m y el DAP, de 20,3cm y se encontró una abundancia de 256 individuos/ha de plátano.

**Medición de las variables ecofisiológicas:** En cada parcela de muestreo, se seleccionaron tres plantas de café, que presentaban óptimas condiciones fisiológicas y fitosanitarias y que reflejaban la condición del sistema productivo. En cada planta monitoreada, se seleccionó una hoja sana por estrato bajo, medio y alto, del cuarto par, a partir del ápice de la rama. Se seleccionaron ramas con orientación al norte, buscando reducir la variabilidad espacial y temporal. La rama donde se inserta la hoja fue marcada con cinta de color, para hacer todas las mediciones en la misma hoja o en una hoja vecina, en caso de no encontrar la primera.

Se monitoreó la radiación incidente - RAFAi, la conductancia estomática - gs y la asimilación neta de CO<sub>2</sub> -A, con un sistema de fotosíntesis portable - CIRAS 3 PP SYSTEMS y una cubeta de hoja universal PCL-3, que incluye un analizador infrarrojo de gases CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O. Se realizó una medición en cada época en las parcelas de muestreo, en tres horas del día: 09:00, 12:00 y 15:00h, con el fin de obtener un comportamiento diario de las variables de estudio. Antes de iniciar cada medición, se realizó un procedimiento de estabilización del equipo, el cual, se logra cuando el diferencial de CO<sub>2</sub> es

0 ± 0,5mb. Las mediciones, se realizaron en días despejados, condiciones necesarias para el óptimo desempeño del equipo; sin embargo, en algunos horarios, se presentó poca nubosidad, con muy baja densidad.

**Precipitación:** A partir de la información obtenida en la estación agroclimática de la estación de la granja Tibacuy, Código 2119503 (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia & CENICAFÉ, 2015), se clasificó cada uno de los muestreos, de acuerdo a su precipitación promedio: enero, se definió como la época lluviosa, mientras que junio fue de transición y julio, la época seca. La precipitación de las épocas de muestreo, se contrastó con los datos históricos, observando una menor precipitación en enero, época lluviosa, respecto al histórico: 96,9 vs 70,1mm/mes; mientras que para junio y julio de 2015, la cantidad de lluvia disminuyó frente al histórico: 33,6 vs 56,5 y 17,6 vs 41,3mm/mes, respectivamente.

**Métodos estadísticos:** Se empleó un diseño completamente al azar, con cinco repeticiones y una estructura de parcelas divididas (bandas) en el tiempo, en donde las parcelas principales fueron los tres niveles de sombra y las bandas correspondieron a las tres épocas de muestreo. Se realizaron transformaciones logarítmicas para los datos de conductancia estomática, RAFAi y de raíz cuadrada para la asimilación neta, transpiración, con el fin de lograr la normalidad.

Se realizaron análisis de varianza y en los casos en que se rechazó la hipótesis de igualdad de tratamientos, se utilizó la prueba de comparación de medias LSD de Fisher, con una significancia de 0,05. Se estudió la relación entre las variables ecofisiológicas de los cafetos y el nivel de sombrero, mediante un análisis de correlación de Pearson. En el caso de encontrar correlación entre estas variables, se probaron modelos lineales, exponenciales y cuadráticos, que pudieran explicar la variable fisiológica, en función de la sombra. Los datos fueron analizados mediante el programa estadístico InfoStat versión 2009 (Di Rienzo *et al.* 2009).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Radiación fotosintéticamente activa incidente (RAFAi):** Se detectaron diferencias significativas ( $p < 0,0001$ ) en la RAFAi entre los tres niveles de sombrero. Como era de esperarse, la mayor RAFAi se alcanzó en los cafetales con baja sombra, lo que superó en más de cuatro y casi dos veces lo alcanzado en cafetales de alta y media sombra. Siles & Vaast (2002) encontraron reducciones en la radiación entre 30 y 72%, en cafetales bajo *Eucalyptus deglupta* y *Terminalia ivorensis*, frente a aquellos a plena exposición solar, en Costa Rica. Estos resultados confirman que el sombrero limita la cantidad de RAFAi para el cultivo asociado, restricción que está relacionada con la densidad, edad y características estructurales de las especies arbóreas.

Se encontró una interacción estadística ( $p < 0,0001$ ) en la RAFAi entre el nivel de sombra y la época de muestreo, en donde el mayor valor de esta variable se alcanzó en la época seca en SAF con bajo sombrío y los valores inferiores en la misma, pero en alta sombra; en la época lluviosa, las tenden-

cias contrastaron con lo hallado en la seca: la mayor RAFAi se presentó en plantas de café con sombra media (Figura 1). Esto último podría obedecer a patrones localizados de nubosidad, que imponen una limitación a la radiación incidente disponible para el cultivo (Somarriba, 2004).

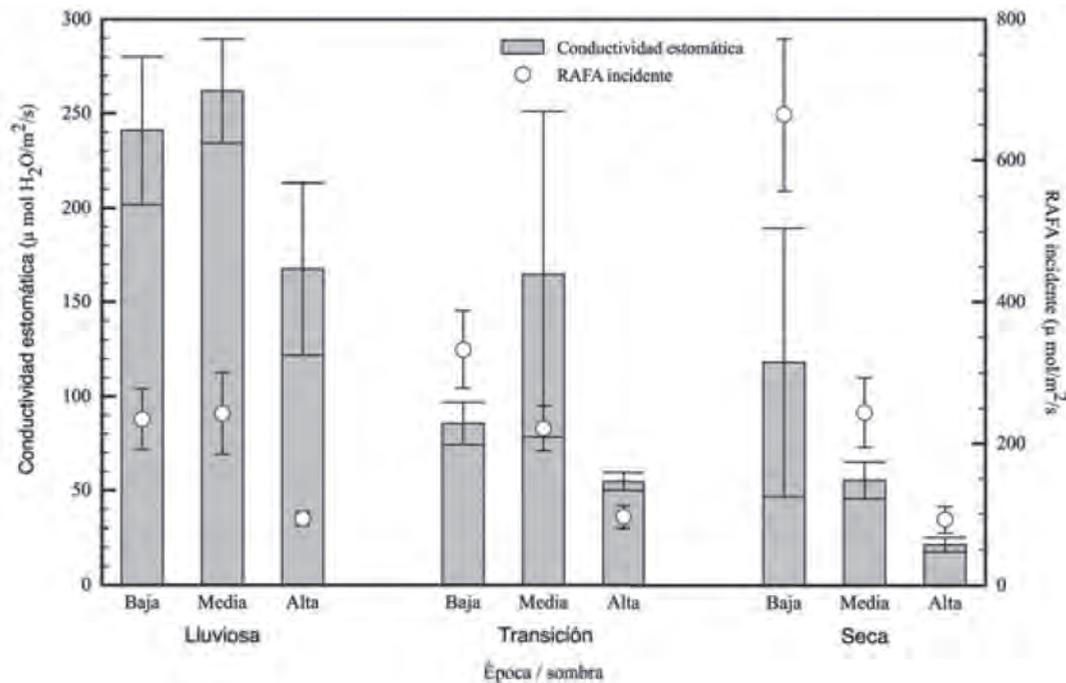


Figura 1. Radiación fotosintéticamente activa incidente (RAFAi) y conductividad estomática en cafetos en sistemas agroforestales, con tres niveles de sombra en Tibacuy, Cundinamarca, Colombia. Las barras de error corresponden al error estándar de la media de los tratamientos.

Hubo una relación inversa entre la sombra del SAF y la RAFAi a los cafetos (Figura 2a). La tendencia de esta relación muestra que la RAFAi puede variar, en promedio, entre cerca de  $550 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  en los cafetales con bajo sombrío, hasta los  $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  en cafetales con niveles de sombra del 70%. Se encontró una ecuación exponencial negativa, la cual, indica una reducción rápida de la RAFAi con incrementos de la sombra (Figura 2a), que tiende a estabilizarse a altos niveles de sombra.

A excepción de cafetales con sombra baja en el periodo seco, los niveles de RAFAi, en este estudio son menores a  $600 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  que, de acuerdo con Araujo *et al.* (2008), no afectan significativamente la asimilación neta, ya que las hojas de los cafetos presentan una plasticidad morfológica o anatómica, más que fisiológica, para responder a cambios de radiación.

**Conductancia estomática:** Se detectaron diferencias significativas ( $p < 0,01$ ) en la conductancia estomática entre niveles de sombra, siendo mayor en los SAF con media y baja sombra, con respecto a los de sombra alta:  $160,6 \pm 36,1$ ;  $148,2 \pm 31,0$  y  $81,3 \pm 21,9 \mu\text{mol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$ , respectivamente. En la época lluviosa, se registró una mayor conductancia estomática en sombra media y baja, que en alta, comparado con menores valores de actividad estomática en SAF con alta sombra, durante la época seca (Figura 1). Estos hallazgos resultan concordantes con lo reportado por Hay & Porter (2006), quienes mencionan que los estomas se cierran bajo la influencia de la sequía. A su vez, DaMatta *et al.* (2007) manifiestan que los valores de la conductancia estomática máxima se han promediado en  $108 \mu\text{mol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$  para el café arábica, valores inferiores a los del presente estudio.

Se presentó una leve tendencia estadística ( $r = -0,3$ ;  $p = 0,27$ ) de reducción de la conductividad estomática, a medi-

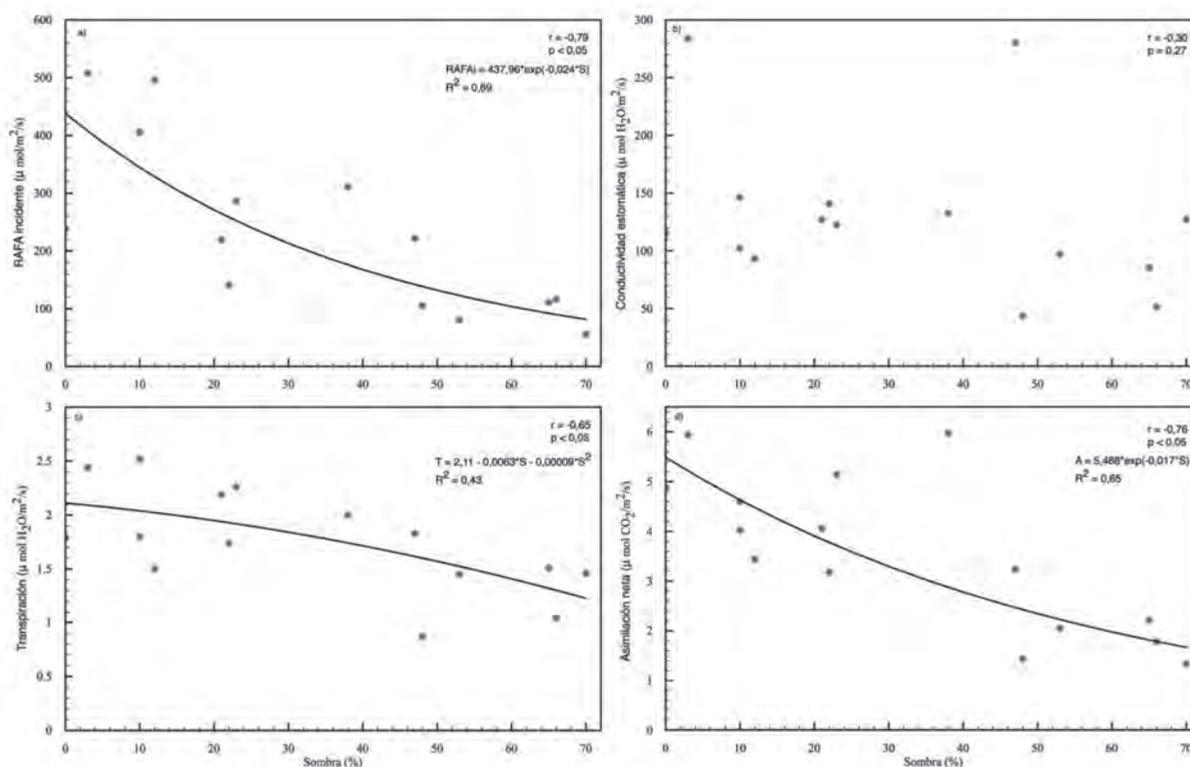


Figura 2. Relación entre nivel de sombra y a) radiación fotosintéticamente activa incidente (RAFAi); b) conductividad estomática; c) transpiración y d) asimilación neta en cafetos en sistemas agroforestales, con tres niveles de sombra en Tibacuy, Cundinamarca, Colombia. RAFAi: RAFA incidente ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ); S: sombra (%); T: transpiración ( $\mu\text{mol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$ ); A: asimilación neta ( $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ).

da que se incrementa la sombra (Figura 2b). Así, en la época seca, la RAFAi tuvo un impacto directamente proporcional en la conductividad estomática, mientras que en la transición y en la época lluviosa, la mayor actividad de los estomas, se alcanzó en sombras intermedias. Resultados similares al presente estudio fueron hallados por Martins *et al.* (2014), al estimar que un 10% de sombra causa una reducción del 36% en la conductividad estomática, respecto a plantas que crecían a pleno sol.

**Transpiración:** Los cafetos que crecían a sombra baja y media presentaron tasas de transpiración estadísticamente superiores ( $p < 0,05$ ), que aquellos en SAF con alta sombra:  $2,0 \pm 0,4$ ;  $2,0 \pm 0,4$  y  $1,3 \pm 0,3 \mu\text{mol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$ , respectivamente. La transpiración presentó una interacción estadística ( $p = 0,0002$ ) entre el nivel de sombrero y la época, ya que en época seca y lluviosa este valor fue mayor en sombra media, mientras que en la época de transición la mayor pérdida de agua fue en baja sombra (Figura 3). Durante el periodo de lluvias, los cafetos transpiraron más, disminuyendo a medida que se reducía la precipitación; la mayor tasa de transpiración en cafetos durante la época lluviosa estaría relacionada con mayores tasas de conductancia estomática.

En todas las épocas, a mayor nivel de sombrero menor resultó la transpiración (Figura 3); esto coincide con Van Kanten & Vaast (2006), quienes afirman que los cafetos transpiran más por unidad de área foliar, cuando están a pleno sol que bajo sombra, lo cual, indica una situación de estrés de estas plantas, en condiciones no sombreadas.

Entre el nivel de sombra y la transpiración, se encontró una relación significativa e inversa  $r = -0,65$ ;  $p < 0,05$  (Figura 2c), lo cual, demuestra la importancia del manejo de la sombra en la economía hídrica y, posiblemente, en la eficiencia de uso de agua. La transpiración de cafetos en los SAF con alta sombra se redujo, en promedio, en un 36% respecto a los cafetales con baja y media sombra. La transpiración, se puede explicar mediante una ecuación cuadrática, empleando la sombra, como variable independiente (Figura 2c).

Los resultados de López (2004), con tasas de transpiración de  $1,3 \mu\text{mol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$ , en cafetos de 12 meses de edad de cv. Colombia, a pleno sol y una altitud de 1.400m, contrastan con este estudio y podrían estar relacionados con factores, como la etapa fenológica de los cultivos, la edad y la consiguiente área foliar de las plantas (Van Kanten & Vaast, 2006) y los requerimientos ambientales propios de cada especie.

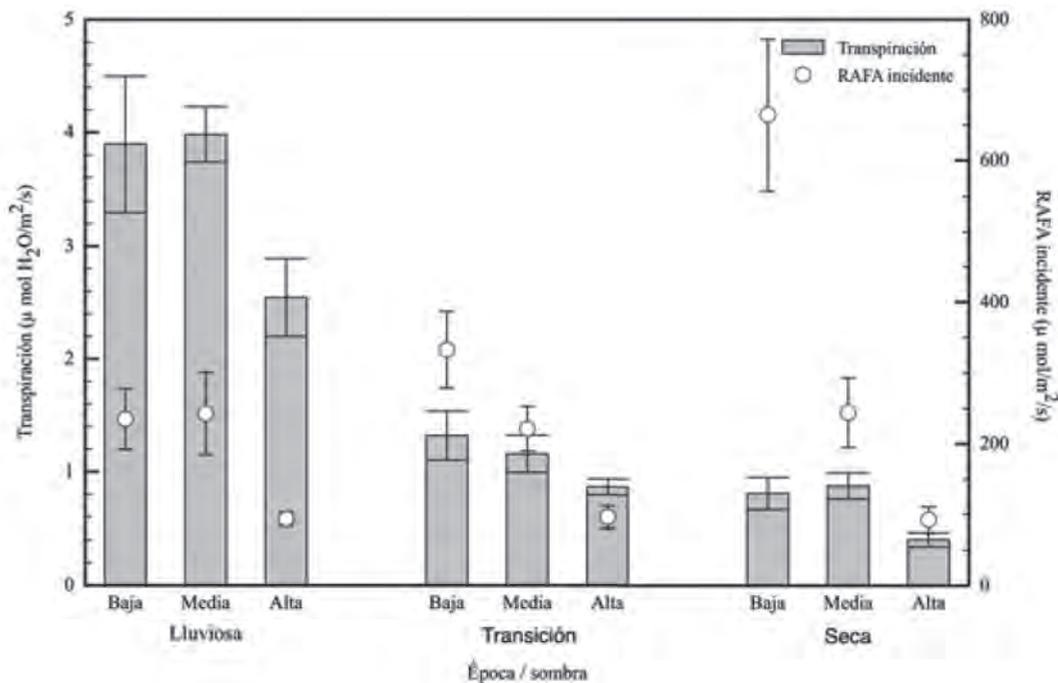


Figura 3. Transpiración en cafetos en sistemas agroforestales, con tres niveles de sombra arbórea en Tibacuy, Cundinamarca, Colombia. Las barras de error corresponden al error estándar de la media de los tratamientos.

La reducción de la transpiración al incrementarse la sombra arbórea indica un ahorro de agua, principalmente importante para sitios con sequía estacional (Andrade *et al.* 2008). Esto se puede explicar por una menor tasa transpiratoria al reducirse la conductancia estomática. Mariño (2014), en sistemas de producción de café con sombra, concluyó que las reducciones de la conductividad hidráulica en el suelo y la transpiración de los cafetos indican una optimización del uso del agua; sin embargo, este fenómeno de ahorro hídrico usualmente trae consecuencias negativas a la asimilación de  $\text{CO}_2$ . En Chiapas, México, Brenda (2010), en sistemas con sombra igual o superior al 30%, se redujo la demanda transpiracional, en cerca de un 32%, respecto a un sitio con poca sombra.

**Asimilación neta de  $\text{CO}_2$ :** Se detectaron diferencias estadísticas ( $p < 0,0001$ ) en la asimilación neta entre los tres niveles de sombrero, siendo mayor en aquellos SAF que tenían baja y media sombra, con respecto a los de alto:  $4,6 \pm 0,7$ ;  $4,3 \pm 0,6$  y  $1,8 \pm 0,3 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ , respectivamente. Los cafetos presentaron una asimilación neta estadísticamente superior ( $p < 0,05$ ) durante la época lluviosa, que en la de transición y seca:  $5,8 \pm 0,7$ ;  $2,7 \pm 0,3$  y  $2,1 \pm 0,3 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ , respectivamente; sin embargo, se detectó una interacción significativa ( $p=0,0059$ ) entre el nivel de sombrero y la época (Figura 4). Los resultados de asimilación neta en SAF con baja y media sombra fueron concordantes con López (2004), quien para cafetos de cv. Colombia, de 12 meses de edad,

hallaron tasas de  $4,4 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ , a una altura de 1.400m. Se detectó una relación significativa y negativa entre el nivel de sombra y la asimilación  $r = -0,76$ ;  $p < 0,05$  (Figura 2d). Martins *et al.* (2014) afirman que la asimilación neta en cafetos se reduce con incrementos de la sombra:  $7,9$  vs  $12,0 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ , en plantas de 12 meses de edad, bajo 10% de sombra artificial y a plena luz, respectivamente. En contraste, Araujo *et al.* (2008) y Franck & Vaast (2009) afirman que el café es una especie adaptada a la sombra con hojas, que mantienen su desempeño fotosintético, en baja disponibilidad de luz. Tal como en el caso de la RAFAi, la asimilación decrece exponencialmente, con incrementos de la sombra (Figura 2d).

La mayor asimilación de  $\text{CO}_2$  en SAF, con bajos niveles de sombra, concuerda con los principios generales de la fisiología de las plantas (Taiz & Zeiger, 2006) y, en específico, de los cafetos (López, 2004), donde la fotosíntesis es determinada por la RAFAi, que es el principal factor limitante del proceso productivo. En cafetales en el Valle de Orosí, Costa Rica, Franck & Vaast, (2009) encontraron que la asimilación de  $\text{CO}_2$  se limitó fuertemente, al pasar de  $5,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2/\text{s}$ , en sistemas con 100% de radiación, a  $2,7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2/\text{s}$ , en aquellos con 19% de RAFAi. Estos autores concluyen que estas diferencias fueron causadas, principalmente, por limitaciones en la conductancia estomática y que la sombra, de hasta 55%, es beneficiosa para la fotosíntesis del café, en esa región.

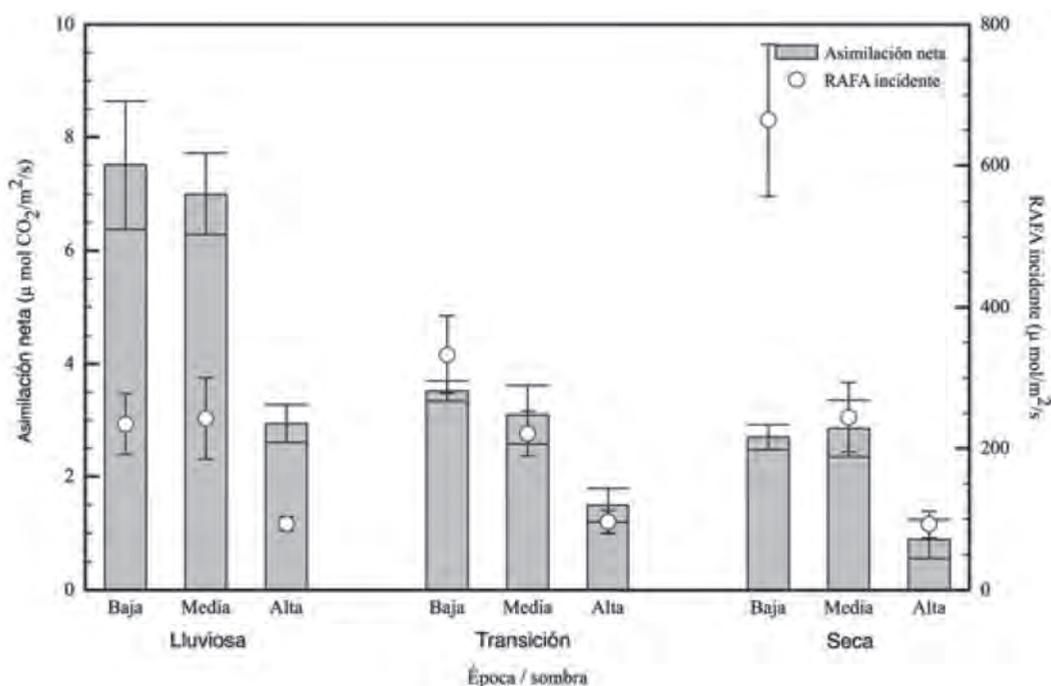


Figura 4. Asimilación neta de CO<sub>2</sub> en cafetos en sistemas agroforestales, con tres niveles de sombra arbórea en Tibacuy, Cundinamarca, Colombia. Las barras de error corresponden al error estándar de la media de los tratamientos.

Mosquera *et al.* (1999) afirman que la mejor actividad fotosintética de cafetos de cv. Colombia, Caturra e Híbrido de Timor, se encuentra a una temperatura de 25°C, la cual, está entre 5,4 – 11,7 μmol CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/s. Estos resultados resultan superiores a los de este estudio, donde la máxima asimilación ocurrió en cafetales con bajos niveles de sombra, durante el periodo lluvioso: 7,5 ± 1,1 μmol CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/s. Esta regulación climática puede estar dada por el sombrío de los árboles, ya que algunos autores, como Wilson & Wild (1991) y Siles *et al.* (2010) afirman que, bajo la copa, la temperatura ambiental se puede reducir hasta en 9°C. De acuerdo con López (2004), en plantas C3, como el café, un aumento en la temperatura superior a 28°C inhibe la actividad enzimática de rubisco, lo que repercutiría negativamente en la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>. Por esta razón, en zonas bajas de Colombia, donde se esperan incrementos de temperatura de 2°C para el 2100 (Ruíz Murcia *et al.* 2015), el sombrío de los árboles proporcionaría una regulación climática, para el cultivo asociado (Muschler, 1999; DaMatta & Rodríguez, 2007).

En este estudio hubo una relación estadística ( $p=0,06$ ), entre la asimilación neta y la conductividad estomática, aunque ambas variables se redujeron al incrementarse la sombra en los SAF (Figura 2). En ese sentido, Morais *et al.* (2012) concluyen que la asimilación de CO<sub>2</sub> se ve limitada, principalmente, por los factores estomáticos y bioquímicos, mientras

que Rodríguez-López *et al.* (2013) hallaron una fuerte relación entre la asimilación y la conductancia estomática ( $r \geq 0,85$ ) en café robusta, en un sistema de cultivo en callejones, en Espírito Santo, Brasil.

La asimilación neta de CO<sub>2</sub> fue afectada por la disponibilidad de agua, disminuyendo 63% en la época seca frente a la lluviosa. Al respecto, Cavatte *et al.* (2012) manifiestan que, en condiciones de alta radiación, la sequía limita la tasa fotosintética de plantas de café, a través de limitaciones estomáticas. En Viçosa, Brasil, se detectó una disminución en la asimilación de 92%, en la época seca y de 76%, en época lluviosa, en *C. arabica*, cuando la disponibilidad de agua en el suelo se redujo a un 35% (Mariño, 2014). De la misma forma, se detectó una relación significativa entre la asimilación neta y la transpiración  $r = 0,84$  y el nivel de sombra  $r = -0,76$ ;  $p < 0,05$  (Figura 2d). Estas relaciones indican que la sombra de árboles en cafetales ayuda al ahorro de agua, al disminuir la transpiración, pero también reduce la fotosíntesis neta y, por ende, la acumulación de biomasa y producción.

En conclusión, la sombra en los cafetales estudiados disminuye la transpiración del café, pero cuando ésta es superior al 40%, se reduce la fotosíntesis neta y, por ende, se vería afectada la productividad del café, para las condiciones de

estudio, lo cual, concuerda con lo planteado por Soto Pinto *et al.* (2000). Con base en los resultados para Tibacuy, se recomiendan niveles de sombra, que no sobrepasen este valor.

**Agradecimientos:** Los autores manifiestan su agradecimiento a los 15 caficultores donde se realizó la investigación, por el acceso a sus fincas; a Diana Sánchez y Daniel Díaz, por su apoyo en la toma de datos; a la alcaldía y comité de cafeteros de Tibacuy, por el apoyo durante la ejecución del Convenio 009 de 2014, en el cual, se desarrolló la presente investigación. **Conflictos de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiamiento:** Esta investigación fue financiada con recursos del departamento de Cundinamarca del Sistema General de Regalías - Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación, a través del Convenio 009 de 2014, suscrito entre el departamento de Cundinamarca y la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, donde participaron, como aliados, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca y la Corporación Latinoamericana Misión Rural.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ALCALDÍA DE TIBACUY. 2016. Plan de desarrollo municipal 2016-2019 "Porque Tibacuy Avanza". Disponible desde Internet en: [http://www.tibacuy-cundinamarca.gov.co/Nuestros\\_planes.shtml](http://www.tibacuy-cundinamarca.gov.co/Nuestros_planes.shtml) (con acceso el 11/08/2016).
2. ALVARADO, G.; POSADA SUÁREZ, H.E.; CORTINA GUERRERO, H.A. 2005. Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya. *Avances Técnicos Cenicafe*. 337; 8p.
3. ANDRADE, H.J.; BROOK, R.; IBRAHIM, M. 2008. Growth, production and carbon sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry lowlands of Costa Rica. *Plant and Soil*. (Netherlands). 308(1-2):11-22.
4. ANDRADE, H.J.; SEGURA, M.A.; CANAL, D.S.; GÓMEZ, M.J.; MARÍN, M.P.; SIERRA, E.; ORTÍZ, I.G.; ALVARADO, J.J.; FERIA, M. 2013. Estrategias de adaptación al cambio climático en sistemas de producción agrícola y forestal en el Departamento del Tolima. Sello Editorial Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia. 100p.
5. ANDRADE, H.J.; SEGURA, M.A.; CANAL, D.S.; FERIA, M.; ALVARADO, J.J.; MARÍN, L.M.; PACHÓN, D.; GÓMEZ M.J. 2014. The carbon footprint of coffee productive chains in Tolima, Colombia. En: Oelberman, M. (Ed.). *Sustainable Agroecosystems in Climate Change Mitigation*. (The Netherlands). Wageningen Acad. Publishers p.53-66.
6. ARAUJO, W.L.; DIAS, P.C.; MORAES, G.A.B.K.; CELIN, E.F.; CUNHA, R.L.; BARROS, R.S.; DAMATTA, F.M. 2008. Limitations to photosynthesis in coffee leaves from different canopy positions. *Plant Physiol. Biochem*. 46(10): 884-890.
7. ARCILA, P.J.; FARFÁN, V.F.; MORENO, A.M.; SALAZAR, L.F.; HINCAPIÉ, E. 2007. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, Cenicafe, 2007. 309p.
8. BOTERO JARAMILLO, C.; SILVA SANTOS, R.H.; PRIETO MARTÍNEZ, H.E.; CECÓN, P.R.; PEREIRA FARDIN, M. 2010. La producción y el crecimiento vegetativo de los árboles de café bajo niveles de fertilización y sombra. *Scientia Agrícola*. (Brasil). 67(6):639-645.
9. BRENDA, B. 2010. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems, *Agricultural and Forest Meteorology* (Netherlands). 150(4):510-518.
10. CASTILLA, N.; BAEZA, E.J.; PAPADOPOULOS, A.P. 2013. *Greenhouse technology and management*. CABI Publishing. 2ª ed. 360p.
11. CAVATTE, P.C.; OLIVEIRA, A.; MORAIS, L.E.; MARTINS, S.; SANGLARD, L.; DAMATTA, F. 2012. Could shading reduce the negative impacts of drought on coffee? A morphophysiological analysis. *Physiologia Plantarum*. (United Kingdom). 144(111-122):111-122.
12. CHARBONNIER, F.; LE MAIRE, G.; DREYER, E.; CASANOVES, F.; CHRISTINA, M.; DAUZAT, J.; EITEL, J.; VAAST, P.; VIERLING, L.; ROUPSARD, O. 2013. Competition for light in heterogeneous canopies: Application of MAESTRA to a coffee (*Coffea arabica* L.) agroforestry system. *Agricultural and Forest Meteorology*. 181:152-169.
13. CORTINA GUERRERO, H.; MONCADA BOTERO, M.P.; HERRERA PINILLA, J.C. 2012. Variedad Castillo: preguntas frecuentes. *Avances Técnicos Cenicafe*. 426; 12p.
14. DAMATTA, F.; RODRÍGUEZ, N. 2007. Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del Neotrópico: Una visión agronómica y ecofisiológica. *Agronomía Colombiana*. 25(1):113-123.

15. DAMATTA, F.M.; RONCHI, C.P.; MAESTRI, M.; BARROS, R.S. 2007. Ecophysiology of coffee growth and production. *Braz. J. Plant Physiol.* 19(4):485-510.
16. DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2009. Software estadístico-InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
17. FARFÁN, F. 2014. Agroforestería y sistemas agroforestales con café. Manizales, Caldas. CENICAFÉ. 342p.
18. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. 2010. Nuestras Regiones cafeteras. Disponible desde Internet en: [http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/la\\_tierra\\_del\\_cafe/regiones\\_cafeteras/](http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/la_tierra_del_cafe/regiones_cafeteras/) (con acceso 16/02/2017).
19. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA –FNC-; CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – CENICAFÉ-. 2015. Registros de precipitación y brillo solar de la estación climática de la Granja Tibacuy para el periodo enero a julio de 2015. Disciplina de Agroclimatología, Archivos Climáticos, Chinchiná, Caldas, Colombia.
20. FRANCK, N.; VAAST, P. 2009. Limitation of coffee leaf photosynthesis by stomatal conductance and light availability under different shade levels. *Trees.* (Germany). 23(4):761-769.
21. FRAZER, G.W.; CANHAM, C.D.; LERTZMAN, K.P. 1999. Gap Light Analyzer (GLA) Version 2.0: Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia- Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York. 36p.
22. HAY, R.; PORTER, J. 2006. The physiology of crop yield. 2ª ed. Iowa, USA: Blackwell Publishing LTDA. 314p.
23. IPCC. 2013. Climate change 2013: En: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Stocker, T.F.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M.; Allen, S.K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P.M. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.1535p.
24. LÓPEZ, J. 2004. Comportamiento del intercambio gaseoso de *Coffea arabica* L. en tres altitudes de la zona cafetera central colombiana. *Cenicafé.* (Colombia). 55(3):202-212.
25. MARIÑO, Y.A. 2014. Respuesta fotosintética de *Coffea arabica* L. a diferentes niveles de luz y disponibilidad hídrica. *Acta Agronómica.* (Colombia). 63(2):128-135.
26. MARTINS, S.; GALMÉS, J.; CAVATTE, P.C.; PEREIRA, L.F.; VENTRELLA M.C.; DAMATTA, F.M. 2014. Understanding the low photosynthetic rates of sun and shade coffee leaves: bridging the gap on the relative roles of hydraulic, diffusive and biochemical constraints to photosynthesis. *Plos One.* (United States). 9(4):1-10.
27. MORAIS, L.E.; CAVATTE, P.; DETMANN, K.; SANGLARD, L.; RONCHI, C.; DAMATTA, F. 2012. Source strength increases with the increasing precociousness of fruit maturation in field-grown clones of conilon coffee (*Coffea canephora*) trees. *Trees.* 26(4):1397-1402.
28. MOSQUERA, L.; RIAÑO, N.; ARCILA, J.; PONCE, C. 1999. Fotosíntesis, respiración y fotorrespiración en hojas de café *Coffea* sp. *Cenicafé.* 50(3):215-221.
29. MUSCHLER, R. 1999. Árboles en cafetales. Módulo de enseñanza agroforestal N. 5. CATIE. (Costa Rica). 139p.
30. NAIR, P.K. 2014. Agroforestry: practices and systems, in encyclopedia of agriculture and food systems, Van Alfen, N. (ed.). Academic Press. (Inglaterra). p.270-282.
31. POMPELLI, M.F.; MARTINS, S.; ANTUNES, W.; CHAVES, A.; DAMATTA, F. 2010. Photosynthesis and photoprotection in coffee leaves is affected by nitrogen and light availabilities in winter conditions. *J. Plant Physiology.* (Germany).167(13):1052-1060.
32. RODRÍGUEZ-LÓPEZ, N.F.; CAVATTE, P.C.; SILVA, P.E.; MARTINS, S.C.; MORAIS, L.E.; MEDINA, E.F.; DAMATTA, F.M. 2013. Physiological and biochemical abilities of robusta coffee leaves for acclimation to cope with temporal changes in light availability. *Physiologia Plantarum.* 149(1):45-55.
33. RÚIZ MURCIA, F.; GUTIÉRREZ VALDERRAMA, J.E.; DORADO DELGADO, J.; MENDOZA, J.E.; MARTÍNEZ ZULETA, C.; LASERNA, M.; HERNÁNDEZ GAONA, D.; RODRÍGUEZ SALGUERO, M. 2015. Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100: Herramientas científicas para la toma de decisiones – enfoque nacional – departamental: Tercera comunicación nacional de cambio climático. IDEAM- PNUI. Bogotá. 60p.

34. SILES, P.; HARMAND, J.M.; VAAST, P. 2010. Effects of *Inga densiflora* on the microclimate of coffee (*Coffea arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. *Agroforestry systems*. (Netherlands). 78:269-286.
35. SILES, P.; VAAST, P. 2002. Comportamiento fisiológico del café asociado con *Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* y sin sombra. *Agroforestería en las Américas*. 9(35-36):44-49.
36. SOMARRIBA, E. 2004. ¿Cómo evaluar y mejorar el dosel de sombra en cacaotales? *Agroforestería en las Américas*. 41-42:120-128.
37. SOTO PINTO, L.; PERFECTO, I.; CASTILLO HERNANDEZ, J.; CABALLERO NIETO, J. 2000. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, México. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 80(1-2):61-69.
38. TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2006. *Plant Physiology*, Fourth Edition. Sinauer Associates. Sunderland, MA. 764p.
39. VAN KANTEN, R.; VAAST, P. 2006. Transpiration of arabica coffee and associated shade tree species in sub-optimal, low-altitude conditions of Costa Rica. *Agroforestry Systems* (Netherlands). 67(2):187-202.
40. WILSON, J.R.; WILD, D.W. 1991. Improvement of nitrogen nutrition and grass growth under shading. In: Shelton, H.M.; Stur, W.W. (Eds.) *Forages in plantations crops*. ACIAR Proc. no. 32:77-82.
- Recibido: Octubre 10 de 2016  
Aceptado: Marzo 26 de 2017

#### Cómo citar:

Zapata Arango, P.C.; Andrade Castañeda, H.J.; Nieto Abril, Z.K. 2017. Comportamiento ecofisiológico del cafeto (*Coffea arabica* L.) CV. Castillo en sistemas agroforestales de Tibacuy, Cundinamarca. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(1): 61-70.

# GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE MORINGA (*Moringa oleifera* Lam.) EN DIFERENTES TIEMPOS DE IMBIBICIÓN EN AGUA

## GERMINATION OF MORINGA SEEDS (*Moringa oleifera* Lam.) IN DIFFERENT WATER IMBIBITION TIMES

Fernando Barraza A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Horticultura, Ph.D. Horticultura, Profesor investigador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería Agronómica y Desarrollo Rural, Grupo de investigación Agricultura Sostenible. Universidad de Córdoba, carrera 6 No. 76-103, Montería, Colombia, e-mail: fbarraza@correo.unicordoba.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 71-77, Enero-Junio, 2017

### RESUMEN

La siembra del cultivo de moringa con semillas gámicas tiene ventajas sobre la propagación vegetativa con estacas, por la buena disponibilidad de semillas, rapidez en la fase de semillero, facilidad de trasplante, economía en las labores y mejor anclaje definitivo; sin embargo, se ha reportado que las semillas maduras presentan bajo porcentaje de germinación, por lo cual, se hizo una investigación en la Universidad de Córdoba, Colombia, con el objetivo de establecer el efecto de la imbibición de semillas en agua sobre el porcentaje de germinación. Se hizo un bioensayo con semillas extraídas de un árbol de un año de edad, sembrado en el campo experimental de cultivos de hortalizas. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar y se aplicaron tres tratamientos: semillas embebidas en agua 24h, semillas embebidas en agua 48h y semillas embebidas en agua 72h, teniendo como testigo semillas sin imbibición en agua. Los datos de porcentaje de germinación PG se ajustaron al modelo logístico y se obtuvieron la velocidad absoluta de germinación VAG y velocidad relativa de germinación VRG. De acuerdo con los resultados, se estableció que, a mayor tiempo de imbibición de las semillas, se disminuyó el porcentaje de germinación, desde 66 hasta 29% y la velocidad absoluta de germinación, desde 29 semillas·día<sup>-1</sup> hasta 7 semillas·día<sup>-1</sup>.

Palabras clave: Imbibición en agua, modelo logístico, germinación.

### SUMMARY

Sowing of the moringa crop with gamic seeds has advantages over vegetative propagation with stakes due to the good availability of seeds, rapidity in the nursery phase, ease of

transplantation, economy in the work and best definitive anchorage. However, it has been reported that mature seeds have a low percentage of germination, therefore a research was made at the Universidad de Córdoba, Colombia, with the objective of establishing the effect of the imbibition of seeds in water on germination percentage. A bioassay with seeds extracted from a one year old tree, planted in the experimental field of vegetable crops was carried out. The experimental design used was completely randomized and three treatments were applied, seed imbibition in water during 24h, seed imbibition in water during 48h and seed imbibition in water during 72h having as control seeds without imbibition in water. The germination percentage GP data were adjusted to the logistic model and the absolute rate of germination ARG and relative rate of germination RRG were obtained. According to the results it was established that the GP decreased at a longer seed imbibition time and AGR decreased from 29 seeds·day<sup>-1</sup> to 7 seeds·day<sup>-1</sup>.

Key words: Imbibition in water, logistic model, germination.

### INTRODUCCIÓN

*Moringa oleifera* es nativa del sur del Himalaya. Se ha introducido y cultivado en Bangladesh, en Afganistán, en Pakistán, en Sri Lanka, en el sureste asiático, en Asia occidental, en Península Arábiga, en África del este y oeste, en Madagascar, en el sur de Florida, en Islas del Caribe, en América Central, en América del Sur, como por ejemplo en Venezuela (Falasca & Bernabé, 2009); en algunos casos, como en Brasil y en Nicaragua, se introdujo como ornamental. En Cuba tiene uso como poste vivo en cercados y se considera promisoría en la alimentación de ganado, por medio de pastoreo de corte. En la actualidad, se ha valorado en muchos países

del mundo, porque diferentes partes de la planta contienen minerales, proteínas, vitaminas, beta-caroteno, aminoácidos y compuestos fenólicos, que le confieren importancia alimenticia, medicinal e industrial (Padilla *et al.* 2012).

De acuerdo con Del Toro *et al.* (2011), moringa se adapta a las condiciones climatológicas y de suelos de la región Caribe colombiana y conserva e, incluso, supera las propiedades nutricionales de origen, lo que permite considerarla como planta con un potencial importante.

La propagación de moringa, según Pérez *et al.* (2010), se puede realizar de manera sexual, con semillas gámicas y vegetativamente, con estacas. Mediante este método, las plantas presentan menor cantidad de raíces y con patrón de distribución fasciculado, lo que las hace propensas a ser derribadas por el viento y pueden presentar estrés por sequía y menor toma de nutrimentos del suelo (Bernal *et al.* 2013).

Según Pérez *et al.* (2010), la forma más utilizada para propagar moringa es la sexual, especialmente, cuando el objetivo es la producción de forraje, ya que, además de investigadores, industriales y agricultores, la planta ha atraído la atención de ganaderos, como alternativa sostenible y de gran importancia ecológica, para implementar bancos proteicos, porque, de acuerdo con Ramos *et al.* (2015), posee óptimas características nutricionales y de digestibilidad.

Mubvuma *et al.* (2013) indicaron que las semillas de moringa tienen bajo porcentaje de germinación y Nouman *et al.* (2012), señalaron que puede fluctuar entre 60 y 90%, por lo que una necesidad prioritaria de investigación es la búsqueda de estrategias para aumentar la germinación y así mejorar el proceso de establecimiento del cultivo.

De acuerdo con lo anterior, se han ensayado tratamientos para vigorizar las semillas entre los que se encuentran acondicionamiento osmótico, cebado hormonal, endurecimiento, imbibición en extracto de hojas de moringa e imbibición en agua (Nouman *et al.* 2012).

El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto que tiene la imbibición de semillas de moringa en agua sobre el porcentaje de germinación, velocidad absoluta de germinación y velocidad relativa de germinación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación, se realizó entre el 29 de octubre y el 27 de noviembre de 2015, en la Universidad de Córdoba-Montería, Colombia, ubicada a 08°49' latitud Norte y 75°51' longitud Oeste, con temperatura anual promedio de 28°C, humedad relativa de 78%, 1.249mm de precipitación anual y altitud de 25msnm. Se hizo un bioensayo de germinación en el labora-

torio de fisiología vegetal de la facultad de ciencias agrícolas, con semillas de moringa, recolectadas manualmente de las vainas secas de un árbol de un año de edad, sembrado en el campo experimental de cultivos de hortalizas.

Se utilizó diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones y tres tiempos de imbibición de semillas de moringa en agua, a temperatura ambiente 22°C: 24, 48 y 72h, con testigo de semillas sin imbibición. La unidad experimental consistió en una placa petri de vidrio de 90mm de diámetro, en donde se dispusieron, en cada una, 25 semillas de moringa, en patrón circular, sobre papel filtro, humedecido con 25mL de agua destilada estéril, de acuerdo con lo establecido por ISTA (2014). Cada tercer día, se aplicaron 5mL de agua destilada estéril a las placas petri. En total, se utilizaron 16 unidades experimentales y 100 semillas por tratamiento, lo que correspondió a 400 semillas para el bioensayo. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación (PG), velocidad absoluta de germinación (VAG) y velocidad relativa de germinación (VRG).

Porcentaje de germinación (PG). Se hizo el conteo diario de semillas con emergencia de radícula y se utilizó la ecuación propuesta por Nouman *et al.* (2012):

$$PG = (NSR/NSG) * 100$$

donde:

NSR: número de semillas con emergencia de radícula  
NSG: número de semillas colocadas a germinar

Para conocer el comportamiento inicial de los datos de PG, se utilizó el software Curve Expert versión 1.3 (Hyams, 2003). Por las características de la información obtenida, se seleccionó el modelo logístico para realizar el ajuste, de acuerdo con lo indicado por Calvo *et al.* (1994):

$$y = A / (1 + B * e^{-Cx})$$

donde:

y: porcentaje de germinación (PG)  
A: máximo valor observado en PG  
B: no tiene significado biológico y solo toma lugar en el tiempo inicial  $x = 0$   
x: tiempo (días) después de colocadas a germinar las semillas  
C: parámetro relacionado con el valor de x para el punto de inflexión  
e: constante matemática base del logaritmo natural = 2,718281828

Para establecer la aproximación de los datos experimentales a los modelos logísticos obtenidos, se hizo el cálculo del coeficiente de determinación  $R^2$ : proporción de la variabili-

dad presente en los datos experimentales, que es explicada por el modelo de análisis de la varianza, mediante la siguiente ecuación:

$$R^2 = \text{SCt} / \text{SCT}$$

donde:

SCt = suma de cuadrados de los tratamientos

SCT = suma de cuadrados total

Velocidad absoluta de germinación (VAG). Se calculó como la primera derivada del modelo logístico  $y'$ , de acuerdo a lo indicado por Calvo *et al.* (1994):

$$y' = (A * B * C * e^{-Cx})$$

Velocidad relativa de germinación (VRG). Se calculó, según lo indicado por Calvo *et al.* (1994), mediante la ecuación:

$$\text{VRG} = \text{VAG} / \text{PG}$$

A los datos de PG, VAG y VRG, se les hizo análisis de regresión no lineal, mediante el procedimiento PROC NLIN; análisis

de varianza, mediante el procedimiento PROC ANDEVA y pruebas de comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), con el software SAS versión 9.1.3 (SAS Institute, 2008).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de germinación (PG). Como se observa en la tabla 1, la germinación inició a los dos días después de colocadas las semillas a germinar, lo que estuvo en concordancia con lo reportado por Mubvuma *et al.* (2013) y Medina *et al.* (2007), en el sentido de que las semillas de moringa pueden germinar rápidamente una vez son sembradas y encuentran las condiciones necesarias para la germinación. A los 2 y 3 días no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos y desde los 4 hasta 10 días, los tratamientos T1, T2 y T3 fueron estadísticamente iguales entre sí y diferentes al tratamiento T0 que, de acuerdo con las tablas 1 y 2, tuvo mayor PG, el cual, estuvo cercano a los valores reportados por Toral *et al.* (2013), para las accesiones PKM-1 68%, Criolla-Granma 68%, Supergenius 69% y se halla por debajo de los valores indicados para las accesiones Plain 84%, Holguín-Mayarí 80% y Matanzas 78%.

Tabla 1. Comparación de medias del porcentaje de germinación de semillas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.), en tres tratamientos de imbibición en agua.

Tiempo (días)	Porcentaje de germinación (%)			
	T0	T1	T2	T3
2	4 a	2 a	2 a	0 a
3	8 a	10 a	6 a	4 a
4	44 a	26 b	22 b	17 b
5	52 a	41 b	31 b	19 b
6	60 a	47 b	31 b	20 b
7	63 a	50 b	36 c	26 c
8	66 a	51 b	37 c	27 c
9	66 a	53 b	37 c	28 c
10	66 a	54 b	37 c	28 c

T0: sin imbibición; T1: semillas embebidas en agua durante 24h; T2: semillas embebidas en agua durante 48h y T3: semillas embebidas en agua durante 72h. Valores con la misma letra en hileras son iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Tabla 2. Análisis de varianza del porcentaje de germinación, de velocidad absoluta de germinación y de velocidad relativa de germinación de semillas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.), en tres tratamientos de imbibición en agua.

Cuadrados medios				
FV	GL	Pg	VAG	VRG
Tratamientos	3	1153 *	347 *	0,74 *
Error	12	154	0,64	0,01
CV (%)		17,42	12,50	6,99

FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; Pg: porcentaje de germinación; VAG: velocidad absoluta de germinación; VRG: velocidad relativa de germinación; CV: coeficiente de variación y \*diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0,05$ ).

En la tabla 3, se observa que los datos de porcentaje de germinación obtenidos se ajustaron al modelo logístico, lo que coincidió con lo indicado por Bezerra *et al.* (2004) y Valdés *et al.* (2014).

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, la imbibición de semillas de moringa en agua durante 24, 48 y 72h tuvo efectos negativos sobre el PG, que descendió para T1, T2 y T3, con respecto a T0, en 18, 42 y 56%, respectivamente.

Tabla 3. Modelos logísticos para el porcentaje de germinación de semillas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.), en tres tratamientos de imbibición en agua.

Tratamiento	Modelo	R <sup>2</sup>
T0	$y = 63,7486 / (1 + 1162,6e^{-1,8797*d})$	0,98
T1	$y = 51,6675 / (1 + 651,7e^{-1,5803*d})$	0,97
T2	$y = 36,2297 / (1 + 407,1e^{-1,5635*d})$	0,97
T3	$y = 27,5501 / (1 + 70,7836e^{-1,0171*d})$	0,97

y: porcentaje de germinación; d: días después de colocadas a germinar las semillas; T0: sin imbibición; T1: semillas embebidas en agua durante 24h; T2: semillas embebidas en agua durante 48h; T3 semillas embebidas en agua durante 72h y R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación.

Por lo anterior, es posible considerar que las semillas, como organismos vivos, se vieron afectadas, ya que con la práctica de remojo en agua, según Eilert *et al.* (1981), muchas semillas aceleran su germinación cuando se embeben por 8h, pero por periodos de 24h o más, con el exceso de agua, se pueden liberar sustancias inhibitoras de la germinación, como terpenos, lectinas, saponinas, metabolitos secundarios polifenólicos y alcaloides con actividad tóxica, de acuerdo con lo indicado por Igwilo *et al.* (2013) y Rabbani *et al.* (2013). Al respecto, estudios de Njehoya *et al.* (2014) mues-

tran que, con remojo de semillas en agua durante 12 horas, se pudo alcanzar 90% de germinación, mientras que con remojo durante 24 y 36 horas, se obtuvo solo el 15%.

Velocidad absoluta de germinación (VAG). En la figura 1, se observa que la VAG aumentó hasta alcanzar valores máximos y, posteriormente, descendió a valores cercanos a cero, lo que correspondió a un comportamiento gráfico de distribución normal en forma de campana, que concuerda con lo indicado por Moravec *et al.* (2008) y Hegazi (2015).

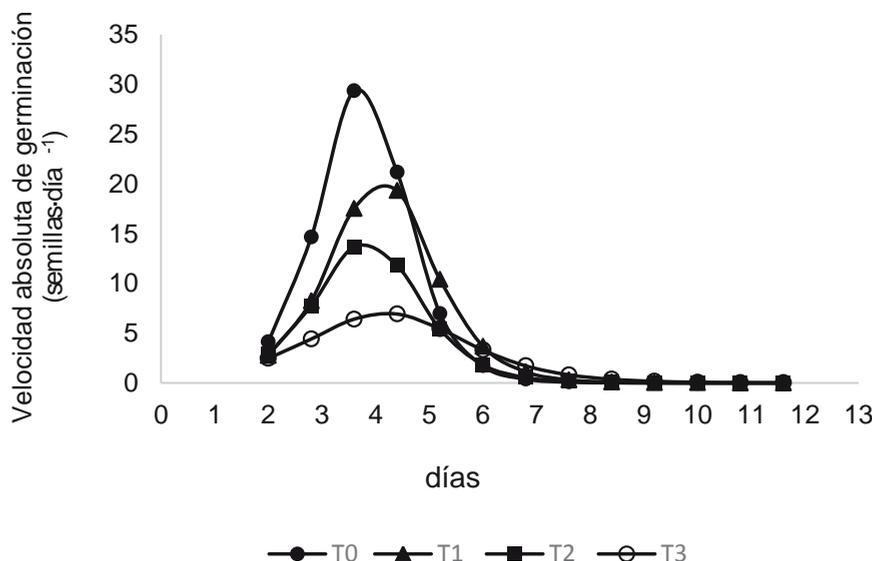


Figura 1. Velocidad absoluta de germinación de semillas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.), en tres tratamientos de imbibición en agua.

En la tabla 1 y figura 1, se observa que desde los 3 hasta 5 días, el tratamiento T0 fue estadísticamente superior a los tratamientos T1, T2 y T3 y obtuvo la mayor VAG, a los 4 días. El tratamiento T3 presentó menores valores de VAG, con respecto a los demás tratamientos.

El efecto negativo observado sobre la VAG, por efecto de la imbibición de semillas en agua durante diferentes tiempos, puede estar relacionado con lo indicado por Alves *et al.* (2005), en cuanto a que el proceso de germinación se vio afectado en el nivel crítico de hidratación, necesario para reactivar el metabolismo y producir el crecimiento embrionario, ya que la evolución del proceso de imbibición, a través del tiempo, afecta las diferentes fases de la germinación y, de acuerdo con Moravec *et al.* (2008), la imbibición de las semillas de moringa ocurre rápidamente durante las primeras tres horas después de la siembra, ya que los tejidos de las

cubiertas son altamente permeables al agua y puede ocurrir sofocación del embrión o disminución de oxígeno.

Velocidad relativa de germinación (VRG). Como se observa en la figura 2, a partir de los 2 días, la VRG tuvo valores máximos, que presentaron disminución en su magnitud hasta alcanzar valores cercanos a cero, cuya trayectoria gráfica coincidió con lo reportado por Ferreira *et al.* (2011). Se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos y se encontró que tratamiento testigo T0 mostró a los 2 días mayor VRG, en relación a los tratamientos T1, T2 y T3, como se observa en la tabla 1, lo que muestra, según Ferreira *et al.* (2011), que las semillas de *M. oleifera* sin tratamiento de imbibición en agua no presentaron daños en su estado fisiológico, con respecto a las semillas embebidas en agua, permitiendo que su vigor de germinación se pudiera expresar, a través de un mayor porcentaje de germinación y a una velocidad más rápida, en comparación con los tratamientos con imbibición en agua.

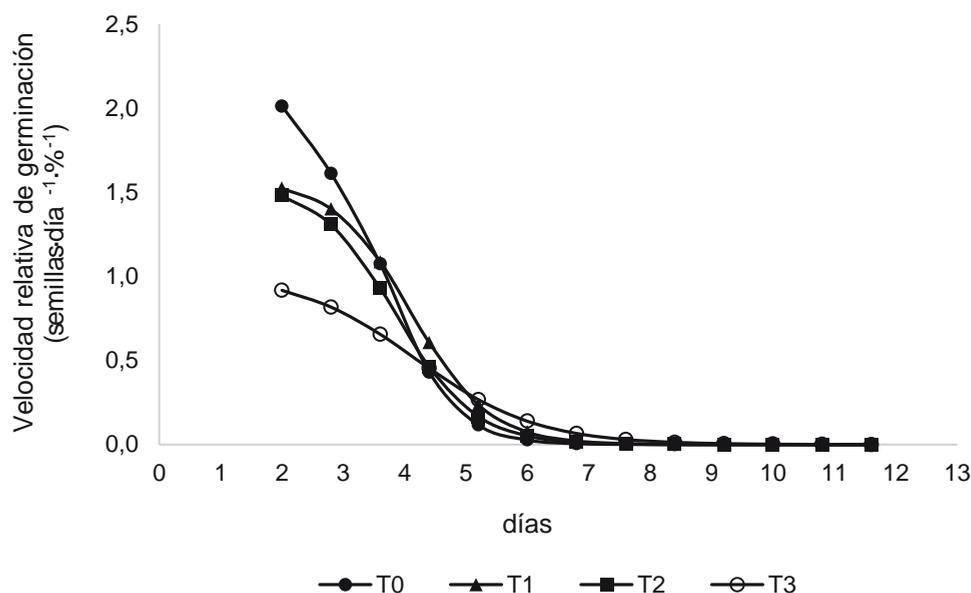


Figura 2. Velocidad relativa de germinación de semillas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.), en tres tratamientos de imbibición en agua.

Desde los 6 hasta los 10 días no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos, lo que indica que al inicio del proceso de germinación los tratamientos T1, T2 y T3 pudieron alcanzar valores de VRG iguales o superiores a los de T0, pero que funcionalmente las semillas estuvieron afectadas en la velocidad con que ocurrió el proceso de germinación, según los tratamientos, ya que la imbibición en agua pudo haber provocado daños irreversibles que, de acuerdo con lo indicado por Rabbani *et al.* (2012), se evidencian, a través de respuestas bioquímicas, que alteran la respiración y la es-

tructura física de las membranas celulares, lo que modifica la tasa de hidratación, de liberación de enzimas, de transporte iónico, pH y contenido de inhibidores de la germinación.

Además de lo anterior, es importante señalar que, de acuerdo con Animashaun & Teye (2013) y Hegazi (2015), las semillas de moringa tienen una excelente y rápida capacidad de propagación durante largos periodos de sequía, con lo cual, es posible considerar que la imbibición en agua aumentó la velocidad de asimilación de agua por parte de las semillas

que, cuando es rápida en esta especie, de acuerdo con lo indicado por Gomaa y Picó (2011), Ferreira *et al.* (2011) y Rabbani *et al.* (2013), puede ocasionar fallas en membranas celulares, daños en la activación de enzimas responsables de liberar ATP, con lo que se pudo afectar el PG y la VRG.

**Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado por el autor, quien declara que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Este estudio fue financiado por la Universidad de Córdoba.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALVES, M.; FILHO, S.; BEZERRA, A.; OLIVEIRA, V. 2005. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de *Moringa oleifera* L. em diferentes locais de germinação e submetidas à pré-embebição. *Ciênc. Agrotec.* (Brasil). 29(5):1083-1087.
- ANIMASHAUN, J.; TOYE, A. 2013. Feasibility analysis of leaf-based *Moringa oleifera* plantation in the Nigerian Guinea savannah: case study of University of Ilorin moringa plantation. *Agrosearch*. 13(3):218-231.
- BERNAL, M.; OQUENDO, G.; SUÁREZ, M.; RODRÍGUEZ, E.; VELA, O. 2013. Evaluación del marco de siembra de *Moringa oleifera* Lam. *Agr. Org.* 19(2):23-27.
- BEZERRA, A.; MOMENTÉ, V.; FILHO, S. 2004. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato. *Hortic. Bras.* 22(2):295-299.
- CALVO, R.; GONZÁLEZ, J.; PÉREZ, S. 1994. Manual de modelos no lineales en los ámbitos agronómico, ganadero y forestal. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid, España. 110p.
- DEL TORO, J.; CARBALLO, A.; ROCHA, L. 2011. Valoración de las propiedades nutricionales de *Moringa oleifera* en el departamento de Bolívar. *Rev. de Cienc.* (Colombia). 15:23-30.
- EILERT, U.; WOLTERS, B.; NAHRSTEDT, A. 1981. The antibiotic principle of seeds of *Moringa oleifera* and *Moringa stenopetala*. *J. Medic. Pl. Res.* 42:55-61.
- FALASCA, S.; BERNABÉ, M. 2009. Zonificación agroclimática de la moringa (*Moringa oleifera*) en Argentina para producir biodiesel y bioetanol. *Av. en Energ. Renov. y M. Amb.* (Argentina). 13:65-70.
- FERREIRA, A.; ROUSE, A.; SILVA, R.; FERREIRA, R.; SOUZA, A. 2011. Water pre-hydration as priming for *Moringa oleifera* Lam. seeds under salt stress. *Trop. and Subtrop. Agroec.* (México). 14(1):201-207.
- GOMAA, N.; PICÓ, X. 2011. Seed germination, seedling traits, and seed bank of the tree *Moringa peregrina* (moringaceae) in a hyper-arid environment. *Amer. J. Bot.* 98(6):1024-1030.
- HEGAZI, M. 2015. Influence of soil type, sowing date and diluted seawater irrigation on seed germination, vegetation and chemical constituents of *Moringa oleifera* Lam. *J. Agr. Sci.* (Canadá). 7(3):138-147.
- HYAMS, D. 2003. Curve Expert 1.3. A comprehensive curve fitting system for Windows®. USA.
- IGWILO, I.; OGOKE, T.; OGBU, D.; IGWILO, E.; ABDUL-SALAMI, M. 2013. Effect of soaked *Moringa oleifera* seeds on growth rates and the levels of some biochemical parameters in albino rats. *Pakistan J. Biol. Sci.* 16(1):48-50.
- INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION – ISTA-. 2014. Rules proposals for the international rules for seed testing. Executive Committee. Bassersdorf, Switzerland. 53 p.
- MEDINA, M.; GARCÍA, D.; CLAVERO, T.; IGLESIAS, J. 2007. Estudio comparativo de *Moringa oleifera* y *Leucaena leucocephala* durante la germinación y la etapa inicial de crecimiento. *Zootec. Trop.* 25(2):83-93.
- MORAVEC, C.; BRADFORD, K.; LACA, E. 2008. Water relations of drumstick tree seed (*Moringa oleifera*): imbibition, desiccation, and sorption isotherms. *Seed Sci. & Technol.* (EE.UU). 36:311-324.
- MUBVUMA, M.; MAPANDA, S.; MASHONJOWA, E. 2013. Effect of storage temperature and duration on germination of moringa seeds (*Moringa oleifera*). *Greener J. Agr. Sci.* 3(5):427-432.
- NJEHOYA, C.; BOUIROU, S.; AWONO, K.; BOUBA, H. 2014. Évaluation du potentiel de germination de *Moringa oleifera* dans la zone soudano-guinéenne du Cameroun. *J. Appl. Biosci.* 74:6141-6148.

19. NOUMAN, W.; SIDDIQUI, M.; BASRA, S.; AFZAL, I.; REHMAN, H. 2012. Enhancement of emergence potential and stand establishment of *Moringa oleifera* Lam. by seed priming. Turk. J. Agric. For. 36:227-235.
20. PADILLA, C.; FRAGA, N.; SUÁREZ, M. 2012. Effect of the soaking time of moringa (*Moringa oleifera*) seeds on the germination and growth indicators of the plant. Cuban J. Agr. Sci. 46(4):419-421.
21. PÉREZ, A.; SÁNCHEZ, T.; ARMENGOL, N.; REYES, F. 2010. Características y potencialidades de *Moringa oleifera* Lamark. Una alternativa para la alimentación animal. Pastos y For. (Cuba). 33(4):1-16.
22. RABBANI, A.; MANN, R.; FERREIRA, R.; PESSOA, A.; BARROS, E.; MESQUITA, J. 2012. Restrição hídrica em sementes de moringa (*Moringa oleifera* L.). Rev. Cient. UDO Agr. (Venezuela). 12(3):563-569.
23. RABBANI, A.; SILVA, R.; FERREIRA, R.; VASCONCELOS, M. 2013. Pré-embrição em sementes de moringa. Sci. Plena (Brasil).9(5):1-8.
24. RAMOS, O.; CASTILLO, J.; SANDOVAL, J. 2015. Efecto de intervalos y alturas de corte en la productividad forrajera de *Moringa oleifera*. Rev. Bio Cienc. (México). 3(3):187-194.
25. SAS INSTITUTE INC. 2008. Statistical analysis system. The SAS<sup>®</sup> system for Windows<sup>®</sup> version 9.1.3. The Power to Know. Cary, NC, EEUU.
26. TORAL, O.; CEREZO, Y.; REINO, J.; SANTANA, H. 2013. Caracterización morfológica de ocho procedencias de *Moringa oleifera* (Lam.) en condiciones de vivero. Pastos y For. (Cuba). 36(4):409-416.
27. VALDÉS, O.; MUÑOZ, C.; PÉREZ, A.; MARTÍNEZ, L. 2014. Análisis y ajuste de curvas de crecimiento de *Moringa oleifera* Lam. en diferentes sustratos. Rev. Cien. Biol. Agrop. Tuxpan. 2(2):66-70.

Recibido: Junio 15 de 2016

Aceptado: Febrero 18 de 2017

#### Cómo citar:

Berraza A., F. 2017. Germinación de semillas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) en diferentes tiempos de imbibición en agua. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 71-77.



# EFFECTO DEL ALMACENAMIENTO EN LA CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLA DE MORINGA (*Moringa oleifera* Lam.)

## STORAGE EFFECTS ON THE PHYSIOLOGICAL QUALITY OF MORINGA SEEDS (*Moringa oleifera* Lam.)

Arnol Ruíz-Pérez<sup>1</sup>, Hermes Araméndiz-Tatis<sup>2\*</sup>, Carlos Cardona-Ayala<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero Agrónomo, Asistente Técnico Particular, email: arp987@hotmail.com; <sup>2</sup> Ingeniero Agrónomo, PhD., Profesor Titular, Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Córdoba, Montería – Colombia, \*autor para correspondencia, email: haramendiz@hotmail.com; <sup>3</sup> Ingeniero Agrónomo, PhD., Profesor Titular, Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Córdoba, Carrera 6 N°76-103, email: ccardonaayala@yahoo.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 79-89, Enero-Junio, 2017

### RESUMEN

La moringa (*Moringa oleifera* Lam.), recientemente introducida en el departamento de Córdoba - Colombia, es sembrada para forraje, alimento y medicina en humanos. Su semilla es almacenada en diferentes tipos de recipientes, bajo condiciones oscilatorias de temperatura y de humedad relativa, que influyen en la germinación, el vigor y la calidad de plántulas. El objetivo fue evaluar la calidad fisiológica de la semilla en diferentes tipos de envases, en ambientes controlados y al ambiente local, durante un año de almacenamiento. Se utilizó el diseño experimental completamente al azar, con cinco tratamientos: i) en nevera y envase de aluminio, a 7°C y 77,0% de humedad relativa (H.R.); ii) en nevera y envase de plástico, a 7°C y 77,0% H.R.; iii) en cuarto frío y envase de aluminio, a 6°C y 70% H.R.; iv) en cuarto frío y envase de plástico, a 6°C y 70% H.R. y v) sin refrigeración, en envase de vidrio, a temperatura media de 28°C y H.R. promedio de 74%. Se usaron semillas de árboles de la región. Mensualmente, se evaluó el porcentaje de germinación, el índice de velocidad de germinación, el contenido de humedad, la altura de plántula y el número de folíolos. La semilla de moringa, almacenada bajo condiciones ambientales del valle del Sinú, pierde su calidad fisiológica en 150 días, por los efectos de las altas temperaturas y fluctuaciones de humedad, que causan su deterioro. El almacenamiento bajo refrigeración, en envase de plástico o aluminio, permite conservar su potencial fisiológico, hasta por 360 días.

Palabras clave: Vigor, deterioro, germinación, humedad, altura de plántula.

### SUMMARY

The moringa (*Moringa oleifera* Lam.) recently introduced into the department of Córdoba - Colombia, is planted for fodder, food and human medicine. Seeds are stored in different types of containers under oscillatory conditions of temperature and relative humidity, influencing germination, vigor and seedling quality. The objective was to evaluate the physiological seed quality in different types of packaging in both controlled environments and the local environment during a year of storage. The experimental design was completely randomized with five treatments. i) in a refrigerator and aluminum container 7°C and 77.0% relative humidity (RH), ii) in a refrigerator and plastic container 7°C and 77.0% RH, iii) in cold room and aluminum container 6°C and 70% RH, iv) cold room and plastic container 6°C and 70% RH, v) without refrigeration in glass container at average temperature of 28°C and HR average of 74%. Seeds of regional grown trees were used. Monthly physiological quality based on the percentage of germination, germination rate index, moisture content, seedling height and number of leaflets was evaluated. Moringa seeds stored under ambient conditions of the Sinú valley loses its physiological quality in 150 days, due to the effects of high temperature and humidity fluctuations that cause deterioration. The storage under refrigeration, in plastic or aluminum packaging, allows to preserve its physiological potential for up to 360 days.

Key words: Vigor, deterioration, germination, moisture, seedling height.

## INTRODUCCIÓN

La moringa pertenece a la familia de Moringaceae, crece en la mayoría de los trópicos y es nativa de la India, Pakistán, Bangladesh y Afganistán (Ayerza, 2012). El árbol de la moringa (*Moringa oleifera* Lam.) es objeto de gran atención por parte de los productores, tanto que el número de proveedores que promueven la planta, es alto (Olson & Fahey, 2011). En Colombia, esta especie tiene un alto potencial de uso en diversos sectores: energético, tratamiento del agua y saneamiento básico, restauración de suelos degradados, alimentación humana y animal, aprovechamiento agroindustrial y farmacéutico, generador de empleo y alternativa sostenible, en equilibrio con el medio ambiente (Neves *et al.* 2007; Manzoor *et al.* 2007; Kafuku & Mbarawa, 2010; Sánchez-Machado *et al.* 2010; Rashid *et al.* 2011).

Las características nutricionales de moringa son excelentes, por lo que es usada como forraje, a gran escala, en varios países, con una alta productividad de materia verde, comparada con pastos y alfalfa (Martín *et al.* 2013). Estudios en Nicaragua, bajo producción intensiva, han determinado que es factible obtener hasta 650t de materia fresca/ha/año o 120t/ha-año de materia seca (Pérez, 2013).

Actualmente, el sector ganadero utiliza semilla sexual para establecer cercas vivas, pero la calidad fisiológica es afectada por la temperatura y la humedad relativa, que constituyen los factores externos que la afectan en almacenamiento, dado que es conservada en diferentes tipos de recipientes, en condiciones ambientales de alta humedad relativa (85% HR) y temperatura ambiental (>27°C), factores que influyen negativamente en el porcentaje de germinación, de vigor y de calidad de plántula producida (Araméndiz *et al.* 2007).

Las semillas son la parte principal de cualquier sistema de producción agrícola; están diseñadas para dar lugar a nuevas plantas, con una economía de medios y una resistencia a las condiciones adversas (Rosello & Soriano, 2008). Por ello, el uso de semillas de excelente calidad fisiológica, sanitaria, física y genética, son aspectos a tener en consideración en la obtención de plántulas de óptima calidad de moringa (Peireira *et al.* 2015).

Dada la importancia de la moringa en diversos sectores y la necesidad de dilucidar las mejores condiciones ambientales para el almacenamiento de su semilla, el presente trabajo planteó como objetivo evaluar el efecto de los envases de aluminio y de plástico, en dos ambientes controlados y en el ambiente local, durante un año de almacenamiento

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio, se realizó en el laboratorio de Genética y Fito-mejoramiento de la Universidad de Córdoba, localizado en Montería, ubicada a una altura de 13msnm. Sus coordenadas geográficas corresponden a los 8° 52' de latitud Norte y 76° 48' longitud Oeste, respecto al meridiano de Greenwich. La zona de vida a la cual corresponde la capital del departamento, Montería, se denomina bosque seco tropical (bs-T), con precipitación anual de 1.200mm, temperatura media del aire de 28°C, humedad relativa de 84% y brillo solar anual de 2108,2 horas (Palencia *et al.* 2006). En el laboratorio, la temperatura fue 25°C y la humedad relativa de 70%.

Se utilizó el diseño completamente al azar, con cinco tratamientos y tres repeticiones. Cada unidad experimental, estuvo conformada por 22 semillas, obtenidas de predios de productores pecuarios, distribuidas así: 15, para la evaluación de la calidad fisiológica y siete, para medir el contenido de humedad.

La estructura de tratamientos fue la siguiente:

T1 = almacenamiento en nevera, en envase de aluminio de 10cm de semiperímetro circular y 15cm de altura, con una capacidad aproximada de 350cm<sup>3</sup> a 7,0°C y 77,0% de humedad relativa (HR).

T2 = almacenamiento en nevera, en envase de plástico cilíndrico, con tapa de rosca, de dos litros de capacidad a 7,0°C y 77,0% HR.

T3 = almacenamiento en cuarto frío, en envase de aluminio de 10cm de semiperímetro circular y 15cm de altura, con una capacidad aproximada de 350cm<sup>3</sup> a 6,0°C y 70,0% HR.

T4 = almacenamiento en cuarto frío, en envase de plástico cilíndrico, con tapa de rosca, de dos litros de capacidad a 6,0°C y 70,0% HR.

T5= almacenamiento sin refrigeración, en envase de vidrio, a temperatura media de 28°C y HR promedio de 74%.

Las semillas fueron almacenadas durante un período de 360 días y se tomaron muestras de los recipientes de almacenamiento cada 30 días, para sembrarlas y observar la variación del contenido interno de humedad, de germinación, de vigor y de crecimiento de las plántulas; por tanto, se realizaron análisis de varianza, contrastes ortogonales y se ajustaron modelos de regresión, según las tendencias de las respuestas.

En cada tratamiento, se evaluó la calidad inicial de la misma, mediante las siguientes variables: germinación (%), índice de velocidad de germinación (IVG), altura de la plántula (cm), número de foliolos y contenido de humedad de la semilla (%).

Para cuantificar la germinación, se utilizó el método del Ministerio de Agricultura y Reforma Agraria de Brasil (Brasil, 1992), con algunas modificaciones ligeras sobre tres muestras (repeticiones), tomadas al azar. En cada unidad experimental, se depositaron 15 semillas en bandejas de aluminio sobre una capa de algodón, se humedecieron con agua destilada sin sobresaturación y se pusieron en cámara de germinación, a 28°C y 80% HR, período de luz: oscuridad de 8:16 horas. Las semillas germinadas fueron aquellas que presentaron radícula de, al menos, 2mm; el conteo de las plántulas normales, se llevó a cabo hasta los cinco días después de la germinación. Como plántulas normales, se calificaron aquellas con el potencial para continuar su desarrollo y dar origen a plantas sanas; plántulas anormales, aquellas que no mostraron su potencial para continuar su desarrollo y no dieron origen a plantas normales, aun creciendo bajo condiciones favorables, es decir, plántulas deformadas y deterioradas (Brasil, 1992).

Las observaciones sobre germinación, se hicieron durante 14 días, a las 10:00 a.m. En la determinación del índice de velocidad de germinación, se utilizó la fórmula utilizada por Maguire (1962) y el número de plántulas normales, hasta el sexto día, se usó para cuantificar el vigor (Barros *et al.* 2002).

$$IVG = \frac{P_1}{t_1} + \frac{P_2}{t_1+t_2} + \frac{P_3}{t_1+t_2+t_3} + \dots + \frac{P_k}{t_1+t_2+t_3+\dots+t_k}$$

Dónde:  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_k$  = número de plántulas normales en el primer, segundo, tercer y último conteo de la evaluación, y,  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_k$  es el tiempo requerido para cada fecha de evaluación del vigor.

El contenido de humedad, se determinó por el método gravimétrico, mediante de desecación en estufa, a 105°C por 17 horas (Besnier, 1989). Se tomó una muestra de siete semillas, guardadas en los recipientes de cada tratamiento. Luego del tiempo determinado previamente, se tomó, de nuevo, el peso y mediante la siguiente fórmula, se calculó el porcentaje de humedad:

$$H(\%) = \frac{W_i - W_f}{W_i} * 100$$

Donde, H (%): porcentaje de humedad de las semillas;  $W_i$  = peso inicial;  $W_f$  = peso final.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Efecto del almacenamiento:** Los cuadrados medios del análisis de variancia para cada una de las fechas consideradas, se encuentran consignados en las tablas 1 y 2. La dispersión de los datos alrededor de las medias, estimada con los coeficientes de variación, se hallan dentro un rango común, para este tipo de experimento, en todas las variables y es similar a la reportada por Bezerra *et al.* (2004a).

En lo pertinente al porcentaje de germinación e índice de velocidad de germinación (IVG), durante los primeros 90 días de almacenamiento, no hubo diferencias en la calidad fisiológica de la semilla, lo cual, sugiere que, a corto plazo, la temperatura o la humedad relativa y el tipo de envase no influyeron en el deterioro de la calidad de las semillas, lo que concuerda con lo reportado por Araméndiz *et al.* (2007); no obstante, el contraste: tratamientos refrigerados (T1, T2, T3, T4) vs tratamiento no refrigerado (T5), resultó altamente significativo en ambas variables, con 21,67% de germinación y 1,00 plántulas/d menos que el promedio de los cuatro tratamientos refrigerados, como se puede apreciar en los contrastes  $C_1$  y  $C_2$  (Tablas 2 y 3). El deterioro progresivo de la calidad germinativa de la semilla de moringa en T5, se hizo más evidente a los 120 y 150 días, con disminuciones significativas de 35,50 y 52,78% de la germinación y 2,06 y 2,81 plántulas/d, de la velocidad de germinación, respectivamente y perdió su capacidad germinativa a los 180 días, por la liberación de lixiviados de ácidos grasos (Fotouo-M. *et al.* 2015).

Hay evidencia que ciertas condiciones afectan con mayor intensidad la integridad de las membranas celulares, ocasionando pérdidas de electrolitos (Fotouo-M. *et al.* 2015), que inciden en los parámetros fisiológicos relacionados con el vigor, como fue reportado por Bezerra *et al.* (2004a), en moringa. Es claro que las semillas de T5, al abrir el envase para extraerlas, quedan expuestas a un intercambio gaseoso con el medio ambiente local, de manera que, al cerrar nuevamente el envase, se genera un nuevo equilibrio entre la humedad del microambiente interno y la de las semillas que, por su higroscopicidad, puede conducir a un aumento de su contenido de su humedad y, al estar simultáneamente expuestas a una temperatura promedio de 28°C, se acelera su deterioro. En el caso de las semillas almacenadas en ambientes refrigerados, la apertura y el cierre de los envases es menos influyente, puesto que la humedad en el microambiente del envase es menor, en razón a que la HR, tanto en nevera como cuarto frío, es también menor.

Una vez excluido T5 por pérdida total de la viabilidad, entre los 180 y 360 días, el análisis de varianza no detectó diferencias significativas entre tratamientos (Tablas 1 y 2); sin embargo, a los 180 días, el contraste  $C_3$ : almacenamiento en nevera en envase de aluminio (T1) vs envase de plástico (T2),

resultó significativo y mostró a favor del envase de plástico 17,77% más de germinación y 0,61 plántulas/d más que en envase de aluminio. Con el aumento del tiempo de almacenamiento, no se detectaron diferencias entre los envases de

plástico y de aluminio. Esto sugiere que, el material de constitución de los envases proporciona suficiente aislamiento para garantizar el mantenimiento de la calidad fisiológica de la semilla durante un año de almacenamiento.

Tabla 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables porcentaje de germinación (G) y porcentaje de humedad de la semilla (H), durante 360 días de almacenamiento.

TIEMPO (d)	G (%)				IVG (Plántulas/ d)				H (%)			
	CMT	CME	$\bar{X}$	CV	CMT	CME	$\bar{X}$	CV	CMT	CME	$\bar{X}$	CV
30	136,29 <sup>ns</sup>	162,95	79,55	16,04	0,267 <sup>ns</sup>	0,308	3,75	14,8	2,13 *	0,43	10,71	6,12
60	228,93 <sup>ns</sup>	233,83	73,28	20,86	0,42 <sup>ns</sup>	0,329	3,39	16,9	5,42 *	1,01	10,86	9,24
90	292,17 <sup>ns</sup>	104,07	77,34	13,19	0,613 <sup>ns</sup>	0,279	3,47	15,21	3,56 **	0,2	10,56	4,27
120	792,55 *	225,81	72,84	20,62	2,56 **	0,29	3,37	16,13	2,85 **	0,09	10,63	2,89
150	1755,5 **	139,23	68,88	17,12	5,25 **	0,52	3,38	21,46	2,05 **	0,309	9,8	5,67
180	157,95 <sup>ns</sup>	51,84	86,67	8,31	0,226 <sup>ns</sup>	0,101	3,76	8,46	4,57*	0,74	10,99	7,82
210	202,43 <sup>ns</sup>	88,89	85,56	11,02	0,560 <sup>ns</sup>	0,16	3,86	10,48	3,97**	0,17	11,38	3,62
240	83,95 <sup>ns</sup>	62,98	76,67	10,35	2,65 <sup>ns</sup>	1,75	4,76	27,80	3,43*	0,57	11,21	6,72
270	82,75 <sup>ns</sup>	29,63	77,22	7,88	0,19	0,11	3,64	9,04	7,09**	0,15	11,47	3,36
300	217,18 <sup>ns</sup>	155,59	84,45	14,77	0,64	0,29	4,16	13,05	2,93**	0,23	11,30	4,21
330	102,44 <sup>ns</sup>	140,73	81,66	14,53	0,62 <sup>ns</sup>	0,28	3,85	13,85	1,10 <sup>ns</sup>	0,42	10,41	6,25
360	128,42 <sup>ns</sup>	66,66	77,78	10,50	0,25 <sup>ns</sup>	0,23	2,03	23,70	8,30 <sup>ns</sup>	3,96	11,34	17,54

CMT: cuadrado medio de tratamientos; CME: cuadrado medio del error experimental; CV: coeficiente de variación (%);  $\bar{X}$  : media de tratamiento; ns: no significativo; \*: significativo al 5%; \*\*: significativo al 1%.

Los contrastes C<sub>2</sub>: almacenamiento en nevera (T1, T2) vs almacenamiento en cuarto frío (T3, T4) y C<sub>4</sub>: almacenamiento en cuarto frío en envase de aluminio (T3) vs almacenamiento en cuarto frío en envase de plástico (T4), no resultaron significativos consistentemente en la germinación y en el vigor, en las 12 pruebas realizadas cada 30 días (Tablas 3 y 4). Es evidente que el almacenamiento en nevera como en cuarto frío, bien en envase de aluminio o de plástico, es favorable para la conservación de la calidad fisiológica de la semilla a largo plazo, debido a la reducción del metabolismo del embrión por efecto de las temperaturas bajas y por el equilibrio higroscópico entre la semilla y el ambiente de almacenamiento (Camargo & Carvalho, 2008).

**Tendencias de la germinación en el tiempo:** El porcentaje de germinación inicial, antes del almacenamiento, fue de 86,7%, superior al reportado por Bezerra *et al.* (2004b) y

similares a los manifestados por Pereira *et al.* (2015). A partir de este porcentaje de germinación, las semillas conservadas bajo almacenamiento no refrigerado (T5), en sólo 180 días de almacenamiento, registró germinación nula y la tasa de disminución lineal de la germinación fue de 0,43%/d (Tabla 5), debido a las oscilaciones de temperatura y de humedad relativa, en el valle del Sinú, que incidieron en el deterioro de la semilla almacenada en envase de vidrio, resultados concordantes con los de Teófilo *et al.* (2003) y Oliveira *et al.* (2009), en moringa. En este orden de ideas, Fotouo-M. *et al.* (2015) sostiene que es mejor almacenar en las vainas bajo condiciones ambientales no controladas, con el fin de reducir los daños en las membranas celulares y salida de electrolitos, ya que pueden ser conservadas hasta con un 47% de germinación por dos años.

Tabla 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables altura plántula (AP) y número de folíolos por planta (NF), a través del tiempo de almacenamiento.

TIEMPO (d)	AP ( cm)				NF			
	CMT	CME	$\bar{X}$	CV	CMT	CME	$\bar{X}$	CV
30	3,33 <sup>ns</sup>	3,75	16,27	11,91	10,19 *	2,28	18,76	8,05
60	0,79 <sup>ns</sup>	3,27	14,81	12,21	6,14 <sup>ns</sup>	5,44	17,99	12,96
90	11,92 *	2,1	16,83	8,61	6,42 *	1,81	18,56	7,2
120	10,08 *	2,45	16,5	9,49	17,12 *	3,51	20,28	9,24
150	97,87 **	2,66	16,41	9,95	98,37 **	2,16	17,02	8,63
180	1,990 <sup>ns</sup>	0,62	14,14	10,93	4,68 <sup>ns</sup>	1,75	14,66	9,03
210	6,61 <sup>ns</sup>	2,76	14,09	11,80	3,98 <sup>ns</sup>	23,66	16,27	11,75
240	2,65 <sup>ns</sup>	5,59	19,59	12,08	5,05*	0,74	23,18	3,71
270	1,98 <sup>ns</sup>	0,98	17,29	5,72	0,54 <sup>ns</sup>	1,59	16,08	7,83
300	2,34 <sup>ns</sup>	2,27	17,91	8,42	1,00 <sup>ns</sup>	1,76	20,95	6,33
330	4,86 <sup>ns</sup>	6,94	10,94	24,08	2,47 <sup>ns</sup>	1,85	12,46	10,91
360	1,09*	0,17	7,53	5,45	0,39 <sup>ns</sup>	0,40	10,39	6,08

CMT: cuadrado medio de tratamientos; CME: cuadrado medio del error experimental; CV: coeficiente de variación (%);  $\bar{X}$  : media de tratamiento; ns: no significativo; \*: significativo al 5%; \*\*: significativo al 1%.

Por otro lado, el índice de velocidad de germinación (IVG) registró 4,88 plántulas/d, al iniciar el almacenamiento, valor superior al reportado por Silva *et al.* (2012), de 1,5 y 2,4 y similar al de Pereira *et al.* (2015), en moringa. Análogo a lo ocurrido con el porcentaje de germinación, el IVG en T5 presentó valor nulo a los 180 días y en el intervalo de 0 a 150 días de almacenamiento, registró una pérdida lineal de 0,023 plántulas/d (Tabla 3).

El porcentaje de germinación no mostró tendencia de disminución o aumento en el tiempo en T1, T2 y T3, en 360 días de almacenamiento y solo T4 expuso una leve disminución lineal, pero significativa, a razón de 0,04%/d (Tabla 5). Relacionado con este resultado, el vigor de las semillas almacenadas, tanto en nevera como en cuarto frío y con ambos tipos de envases, registró una tendencia explicada por funciones polinómicas de tercer grado (Tabla 5); en éstas, se observan los efectos lineales cuadráticos y cúbicos en el intervalo de 0 a 360 días. Al respecto, el mantenimiento de la calidad fisiológica de esta semilla por 360 días, bajo las condiciones de almacenamiento favorables descritas, superan lo reportado por Bezerra *et al.* (2004a), quienes señalaron que las semillas de moringa pueden ser almacenadas hasta por seis meses bajo condiciones no controladas. En este ensayo,

bajo condiciones no controladas el deterioro fue evidente, con una disminución significativa de la calidad de la semilla.

El análisis de varianza para el contenido de humedad acusó diferencias significativas entre los métodos de almacenamiento, en los muestreos realizados cada 30 días; en las respectivas pruebas de germinación, hasta los 150 días y entre los cuatro tratamientos restantes, hasta los 270 días, una vez excluido T5, por pérdida total de la viabilidad a los 180 días (Tablas 1 y 2).

El porcentaje de humedad al iniciar el almacenamiento fue de 8,7%, el cual, aumentó en todos los tratamientos al transcurrir el tiempo, desde los 30 días, con mayor incremento en T5. Este incremento, posiblemente, se debe a la influencia de la humedad relativa dentro del envase y el ambiente de almacenamiento, que conduce a ajustes en los contenidos de humedad de las semillas, como lo indica Flores (1996), Carvalho & Nakagawa (1998) y Mendoça *et al.* (2003) e influye, de esta manera, en la calidad fisiológica de la semilla. En algunos ambientes, el deterioro de la semilla es mayor por la acción conjunta de temperatura y de humedad interna de la semilla (Popinigis, 1985), lo que es coherente con lo reportado por Bezerra *et al.* (2004a), en moringa.

Tabla 3. Valores de contrastes ortogonales de las variables porcentaje de germinación (G), índice de velocidad de germinación (IVG), porcentaje de humedad de la semilla (H), altura plántula (cm) y número de folíolos por planta a través del tiempo de almacenamiento (30 a 180 d).

CONTRASTE	TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (d)					
	GERMINACIÓN (%)					
	30	60	90	120	150	180
C1	13,33 ns	11,06 ns	21,68**	35,50**	52,78**	-
C2	0,00 ns	-2,33 ns	0,00 ns	2,33 ns	3,34 ns	0,00 ns
C3	0,00 ns	-2,00 ns	0,05 ns	-6,67 ns	-11,11 ns	-17,77**
C4	-8,89 ns	-20 ns	0,00 ns	6,44 ns	-8,89 ns	0,00 ns
	IVG (plántulas/d)					
C1	0,56 ns	0,44 ns	1,00**	2,06**	2,81**	-
C2	0,02 ns	0,15 ns	-0,04 ns	-0,03 ns	0,50 ns	-0,08 ns
C3	-0,03 ns	2,91 ns	-0,18 ns	-0,13 ns	-0,88 ns	-0,61*
C4	-0,46 ns	0,00 ns	0,05 ns	0,05 ns	-0,38 ns	-0,25 ns
	H (%)					
C1	-0,88 ns	-1,49*	-1,72**	-1,08**	-0,66 ns	-
C2	-1,01 *	-2,05**	-1,39**	-1,68**	-0,90*	-1,62*
C3	0,24 ns	0,80 ns	0,57 ns	0,26 ns	-0,20 ns	-0,18 ns
C4	-1,52*	1,36 ns	-0,76 ns	-0,14 ns	-1,76**	-1,97*
	AP (cm)					
C1	1,86 ns	-0,23 ns	4,10**	4,03**	12,47**	-
C2	-1,07 ns	0,22 ns	1,50 ns	0,64 ns	1,05 ns	-0,52 ns
C3	0,26 ns	1,39 ns	-0,03 ns	0,39 ns	1,80 ns	-0,93 ns
C4	0,98 ns	0,02 ns	-0,66 ns	-0,01 ns	2,63 ns	-1,61*
	NF					
C1	2,32*	-0,67 ns	3,14**	-1,08**	12,61**	-
C2	-2,83**	1,09 ns	0,47 ns	-1,68**	1,00 ns	0,41 ns
C3	0,57 ns	2,43 ns	0,76 ns	0,26 ns	2,38 ns	-2,76*
C4	1,48 ns	-2,72 ns	-0,57	-0,14 ns	0,66 ns	-1,19 ns

C1: T1,T2,T3,T4 vs T5; C2: T1,T2 vs T3,T4; C3: T1 vs T2; C3: T3 vs T4. T1 = almacenamiento en nevera, en envase de aluminio a 7,0°C y 77,0% de humedad relativa (HR); T2 = almacenamiento en nevera, en envase de plástico a 7,0°C y 77,0% HR; T3 = almacenamiento en cuarto frío, en envase de aluminio a 6,0°C y 70,0% HR; T4 = almacenamiento en cuarto frío, en envase de plástico a 6,0°C y 70,0% HR; T5= almacenamiento abierto sin refrigeración, en envase de vidrio a temperatura media de 28°C y HR promedio de 74%.

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los cinco tratamientos, hasta los 150 días y entre los cuatro tratamientos restantes, hasta los 300 días, después de excluir a T5, por pérdida total de la viabilidad; sin embargo, estas diferencias no se presentaron a los 330 y 360 días (Tablas 1 y 2). Las menores pérdidas de humedad, se registraron en T1 y T2, es decir, bajo almacenamiento en nevera, en envases de aluminio y plástico, respectivamente, cuyo contraste (C3) no resultó significativo (Tablas 3 y 4), por lo que, bajo este tipo de almace-

namiento, la clase de envase no influyó direccionalmente en la dinámica del contenido de humedad de las semillas.

Por otro lado, el contraste C2 estimó, con mayor frecuencia, que las semillas almacenadas en cuarto frío aumentaron significativamente su contenido de humedad en relación con el de almacenamiento en nevera. Bajo las condiciones de cuarto frío (contraste C4), en 4 de las 12 pruebas (30, 150, 180 y 270 días), las semillas provenientes de envase de plás-

Tabla 4. Valores de contrastes ortogonales de las variables porcentaje de germinación (G), índice de velocidad de germinación (IVG), porcentaje de humedad de la semilla (H), altura plántula (cm) y número de folíolos por planta a través del tiempo de almacenamiento (210 a 360 d).

CONTRASTE	TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (d)					
	GERMINACIÓN (%)					
	210	240	270	300	330	360
C1	-	-	-	-	-	-
C2	4,44 ns	4,44 ns	7,78*	13,33 ns	1,11 ns	-2,22 ns
C3	11,11 ns	-2,22 ns	-6,67 ns	-8,89 ns	8,89 ns	-2,23 ns
C4	15,55 ns	-11,11 ns	0,00 ns	-0,00 ns	11,11 ns	15,56*
	IVG (plántulas/d)					
C1	-	-	-	-	-	-
C2	-0,08 ns	0,18 ns	0,76 ns	0,18 ns	0,66 ns	0,24 ns
C3	-0,61 ns	0,69 ns	-1,89 ns	-0,54 ns	-0,64 ns	0,89 ns
C4	-0,25 ns	0,76 ns	0,75 ns	0,10 ns	0,12 ns	0,58 ns
	H(%)					
C1	-	-	-	-	-	-
C2	-1,62*	-1,97*	-1,67**	-2,44**	-1,67 **	-0,96 ns
C3	-0,18 ns	-0,32 ns	0,00 ns	0,10 ns	0,34 ns	0,08 ns
C4	-1,97*	-0,34 ns	-1,14 ns	-1,52**	-0,38 ns	-0,58 ns
	AP (cm)					
C1	1,62 ns	-	-	-	-	-
C2	1,63 ns	-0,52 ns	1,62 ns	-0,47 ns	-0,96 ns	0,38 ns
C3	2,31 ns	-0,93 ns	1,63 ns	-0,14 ns	-1,34 ns	1,04 ns
C4		-1,61*	2,31 ns	2,20 ns	0,58 ns	1,82 ns
	NF					
C1	-	-	-	-	-	-
C2	0,41 ns	1,36 ns	-0,21 ns	0,17 ns	0,57 ns	-0,26 ns
C3	-2,76*	-0,67 ns	2,52**	-0,33 ns	0,66 ns	1,62 ns
C4	-1,19 ns	1,96 ns	1,91*	0,96 ns	0,95 ns	-1,48 ns

C1: T1,T2,T3,T4 vs T5; C2: T1,T2 vs T3,T4; C3: T1 vs T2; C3: T3 vs T4. T1 = almacenamiento en nevera, en envase de aluminio a 7,0°C y 77,0% de humedad relativa (HR); T2 = almacenamiento en nevera, en envase de plástico a 7,0°C y 77,0% HR; T3 = almacenamiento en cuarto frío, en envase de aluminio a 6,0°C y 70,0% HR; T4 = almacenamiento en cuarto frío, en envase de plástico a 6,0°C y 70,0% HR; T5= almacenamiento abierto sin refrigeración, en envase de vidrio a temperatura media de 28°C y HR promedio de 74%.

tico ganaron más humedad que las de envase de aluminio, mientras que en el resto de las pruebas no hubo diferencias significativas (Tablas 3 y 4). Más allá de la diferencia estructural en la composición molecular de ambos tipos de envase, lo que realmente influyó, en una mayor ganancia de humedad en el envase de plástico, se debe más bien a su rigidez. Cuando se abre para extraer semillas, ocurre un mayor intercambio gaseoso con la atmósfera de almacenamiento y, una vez se cierra, el microambiente, dentro del recipiente, puede

ganar algo de humedad, que después se equilibra con la de la semilla. En la bolsa de aluminio, por ser deformable, una vez se extrae la muestra de semillas, el envase se cierra y se deforma, desplazando la cámara de aire, simulando un empaquetado al vacío. Esto explicaría, en parte, las bondades del envase de aluminio utilizado en el ensayo frente al de plástico, aunque las mismas no se traducen en una mejor conservación durante 360 días y, probablemente, surtiría efecto en un periodo mayor de almacenamiento.

Tabla 5. Características de las ecuaciones de regresión que describen la relación funcional entre las variables germinación, índice de velocidad de germinación y el tiempo transcurrido según el método de almacenamiento de las semillas de moringa.

TRAT	P	VARIABLES				
		G (%)	IVG (plántulas/d)	H (%)	AP (cm)	NH (%)
T1	$y_0$	r=0	r=0	r=0	14,07	21,20
	a				0,06	-0,02
	b				-0,0002	NA
	c				NA	NA
	$R^2$				0,47	0,19
T2	$y_0$	r=0	4,74	8,82	13,70	17,80
	a		-0,03	0,01	0,05	0,03
	b		0,002	-0,00002	-0,0002	-0,0001
	c		-0,0000005	NA	NA	NA
	$R^2$		0,53	0,40	0,38	0,41
T3	$y_0$	r=0	4,61	10,16	14,00	20,50
	a		-0,03	0,004	0,05	-0,02
	b		0,002	NA	-0,002	NA
	c		-0,0000005	NA	NA	NA
	$R^2$		0,40	0,14	0,40	0,19
T4	$y_0$	86,5	4,86	10,4	14,00	20,9
	a	-0,04	-0,03	0,08	0,05	-0,02
	b	NA	0,002	NA	-0,002	NA
	c	NA	-0,0000005	NA	NA	NA
	$R^2$	0,16	0,62	0,32	0,45	0,31
T5	$y_0$	89,2	4,50	10,2	13,90	18,80
	a	-0,43	-0,02	0,002	0,07	0,04
	b	NA	NA	-0,00005	-0,0008	-0,007
	c	NA	NA	NA	NA	NA
	$R^2$	0,74	0,78	0,14	0,79	0,75

TRAT=tratamientos; P= parámetro del modelo ajustado; T1 = almacenamiento en nevera, en envase de aluminio a 7,0°C y 77,0% de humedad relativa (HR); T2 = almacenamiento en nevera, en envase de plástico a 7,0°C y 77,0% HR; T3 = almacenamiento en cuarto frío, en envase de aluminio a 6,0°C y 70,0% HR; T4 = almacenamiento en cuarto frío, en envase de plástico a 6,0°C y 70,0% HR; T5= almacenamiento sin refrigeración, en envase de vidrio a temperatura media de 28°C y HR promedio de 74%. Los modelos de regresión ajustados fueron: lineal [ $y_0 + ax$ ]; polinómico cuadrático [ $y_0 + ax + bx^2$ ] y polinómico cúbico [ $y_0 + ax + bx^2 + cx^3$ ]; r es el coeficiente de correlación. NA=no aplica, según el modelo ajustado

La tendencia de pérdida de humedad (Tabla 5) fue curvilínea (cuadrática) en T2 y T5, con intercepto y efectos lineal y cuadrático mayores en T5, concordante con las menores magnitudes de germinación y de vigor, observadas bajo este método de almacenamiento, que permite fluctuaciones del contenido de humedad de las semillas y un metabolismo acelerado, debido al rango de altas temperaturas y humedades relativas también altas, propias de las condiciones locales de almacenamiento. En T3 y T4, la ganancia de humedad presentó solo efecto lineal con mayor tasa de ganancia de humedad en T4, lo que sugiere que el envase de plástico utilizado mostró menor hermeticidad y protegió menos de la humedad externa que el envase de aluminio. El almacenamiento en T1, no presentó tendencia de aumento o disminución de la humedad en el tiempo, es decir, humedad y

tiempo de almacenamiento no resultaron correlacionados, lo que indica que este tipo de almacenamiento no permite la ocurrencia de gradientes significativos del contenido de humedad, a través del tiempo.

La altura de plántula no varió estadísticamente en las pruebas de germinación realizadas con semillas almacenadas por 30 y 60 días. A los 90, 120 y 150 días de almacenamiento, el contraste C<sub>1</sub> (refrigerados vs no refrigerado) resultó significativo, con diferencias en altura de 4,10cm, 4,03cm y 12,47cm, a favor de los tratamientos refrigerados. Desde 180 hasta 360 días, los C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub>, no presentaron significancia estadística, con excepción de C<sub>3</sub>, a los 360 días y C<sub>4</sub>, a los 180 días. Esta consistencia resalta que la altura de las plántulas no fue afectada significativamente por los

cuatro tratamientos refrigerados; las condiciones de almacenamiento a bajas temperaturas no influyeron de manera diferencial en esta variable. Se ha reportado mayor acumulación de materia seca en plántulas provenientes de semillas almacenadas a bajas temperaturas (Oliveira *et al.* 2009), debido a que, por una menor actividad metabólica, la semilla dispone de mayor cantidad de reservas y está en capacidad de producir plántulas vigorosas.

Al examinar la tendencia del crecimiento en altura de las plántulas en el tiempo, las provenientes de T5, es decir, de semillas almacenadas sin control de temperatura y humedad, en envase de vidrio, presentaron la menor altura, con incrementos y disminuciones significativos y progresivos ajustados a una parábola con efectos lineal y cuadrático en el intervalo de 0 a 150 días (Tabla 5). La disminución en altura de plántula es concomitante con la pérdida progresiva de germinación y vigor bajo este tratamiento, deterioro influenciado por la alta temperatura y la humedad del microambiente del envase de vidrio, dado que no estaba completamente lleno de semillas. La transferencia de humedad desde la atmósfera de almacenamiento, activa los procesos metabólicos y, junto con las oscilaciones de la temperatura, conducen a una disminución progresiva del vigor de las semillas, por la pérdida de la integridad de las membranas (Tsfay *et al.* 2016); esto confirma que el crecimiento de las plántulas es fuertemente influenciado por factores ambientales, además de los genéticos (Copeland, 1976; Silva *et al.* 2012).

En T1, T2, T3 y T4, el crecimiento en altura de plántula, a través del tiempo, resultó curvilíneo con efectos lineal y cuadrático significativos y muy similares al comparar los coeficientes de los tratamientos entre sí (Tabla 5), resultado que no permite concluir sobre la superioridad de un tipo de envase sobre otro ni entre los dos ambientes de bajas temperaturas de almacenamiento, nevera y cuarto frío, en relación con esta respuesta de la planta.

El análisis de varianza para el número de folíolos/plántula, en las pruebas realizadas cada mes hasta los 150 días de almacenamiento, registró diferencias significativas entre los cinco tratamientos, con excepción de los 60 días (Tabla 1). El contraste C<sub>1</sub>, en esta variable resultó significativo, con diferencias de 2,32; 3,14; 1,08 y 12,61 folíolos/planta, respectivamente, a favor de los tratamientos refrigerados. Con esta variable, nuevamente, queda evidenciado el deterioro progresivo y en corto tiempo, de las semillas almacenadas sin refrigeración. Este resultado concuerda con el de Pereira *et al.* (2015), quienes señalaron que el número de folíolos está directamente relacionado con la altura de la plántula, un indicador directo del vigor fisiológico; sin embargo, la formación de hojas puede ser afectada por las condiciones ambientales a que son sometidas, tanto las semillas como las plántulas. Se conoce que la temperatura y la humedad

relativa ejercen influencia en la velocidad de absorción de agua y en las reacciones bioquímicas para producir fotoasimilados y, por ende, en el crecimiento y desarrollo de las plántulas (Carvalho & Nakagawa, 1998; Pereira *et al.* 2015).

A partir de los 180 días, los contrastes que relacionan ortogonalmente el número de folíolos/planta en los cuatro tratamientos refrigerados no presentaron significancia estadística, con excepción de C<sub>2</sub>, a los 30 y 120 días; C<sub>3</sub>, a los 180 y 240 días y C<sub>4</sub>, a los 270 días, lo cual, indica que el número de folíolos/planta al igual que la altura de plántula, no fueron consistentemente afectados significativamente por alguno de los tratamientos refrigerados.

Por otra parte, se observó que al transcurrir el tiempo el número de folíolos en cada prueba disminuyó linealmente en T1, T3 y T4, a una tasa de 0,02 folíolos/d, en un intervalo de 360 días; mientras que en T2, en 360 días y en T5, en 150 días, la respuesta fue curvilínea con efectos lineal y cuadrático (Tabla 5), pero con una tasa de disminución progresiva siete veces mayor en T5. Esta tendencia de disminución del número de folíolos/planta en el tiempo estaría relacionada con el agotamiento de las reservas de las semillas en el caso de T5 o se podría deber al efecto continuado de las bajas temperaturas y parcialmente a un breve deterioro en los tipos de almacenamiento restantes.

De la investigación, se concluye que las semillas de moringa almacenadas bajo condiciones de humedad relativa media (>74%) y temperatura media 28°C, en envase de vidrio, pierden su potencial fisiológico, en 150 días. Asimismo, su almacenamiento bajo condiciones de refrigeración en nevera o cuarto frío, en envase de plástico o aluminio, permite conservar su calidad fisiológica, hasta por 360 días.

**Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Esta investigación fue financiada por la Universidad de Córdoba.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ARAMÉNDIZ-TATIS, H.; CARDONA, C.; JARMA, A.; ROBLES, J.; MONTALVAN, R. 2007. Efecto del almacenamiento en la calidad fisiológica de la semilla de berenjena (*Solanum melongena* L.). Agr. Col. 25(1):104-112.
2. AYERZA, R. 2012. Seed and oil yields of *Moringa oleifera* variety Periyakalum-1 introduced for oil production in four ecosystems of South America. Industrial Crops and Products. 36(1):70-73.

3. BARROS, S.; DA SILVA, M.; RAMOS, S.; QUEIROZ, M. 2002. Qualidade de semente de maxixe armazenada em diferentes embalagens e ambientes. *Ciência e Agrotecn.* 2(3):539-544.
4. BESNIER, R.F. 1989. *Semillas: biología y tecnología.* Ediciones Mundi-Prensa. España. 637p.
5. BEZERRA, A.M.E.; MEDEIROS FILHO, S.; FREITAS, J.B.; TEÓFILO, E. 2004a. Avaliação da qualidade das sementes de *Moringa oleifera* Lam. durante o armazenamento. *Ciência e Agrotecn.* 28 (6):1240-1246.
6. BEZERRA, A.M.E.; MOMENTE, V.G.; MEDEIROS FILHO, S. 2004b. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato. *Horticult. Bras.* 22(2):295-299.
7. BRASIL, 1992. Ministerio da Agricultura e Reforma Agraria. Regras para análise de sementes. Brasília: CLAV/DNDV/SNAD/MA. 365p.
8. CAMARGO, R.E.; CARVALHO, M. 2008. Armazenamento a vácuo de semente de milho doce. *Rev. Bras. Sementes.* 30(1):131-139.
9. CARVALHO, N.E.; NAKAGAWA, J. 1998. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 3ª ed. Fundação Cargill. Campinas (Brasil). 424p.
10. COPELAND, O. 1976. *Principles of Seed Science and Technology.* Minneapolis (Minn). Burgess Publishing. 369p.
11. FLORES, Z. 1996. Efecto del almacenamiento sobre la calidad de semillas de *Brachiaria dictyoneura*. *Zootec. Trop.* 14(2):113-131.
12. FOTOUO-M., H.; DU-TOIT, E.; ROBBERTSE, P. 2015. Germination and ultrastructural studies of seeds produced by a fast-growing, drought-resistant tree: implications for its domestication and seed storage. *AoB PLANTS.* 7(1):1-12.
13. KAFUKU, G.; MBARAWA, M. 2010. Alkaline catalyzed biodiesel production from *Moringa oleifera* oil with optimized production parameters. *Applied Energy.* 87(8):2561-2565.
14. MAGUIRE, D. 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergent and vigor. *Crop Sci.* 2(1):176-177.
15. MANZOOR, M.; ANWAR, F.; IQBAL, T.; BHNAGER, M.I. 2007. Physico-chemical characterization of *Moringa concanensis* seeds and seed oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 84(5):413-419.
16. MARTÍN, C.; MARTÍN, G.; GARCÍA, A.; FERNÁNDEZ, T.; HERNÁNDEZ, E.; PULS, J. 2013. Potenciales aplicaciones de *Moringa oleifera*. Una revisión crítica. *Pastos y Forrajes.* 36(2):137-149.
17. MENDOÇA, E.; RAMOS, N.; FESSEL, S. 2003. Methodology adequation for controlled deterioration test for broccoli (*Brassica oleracea* L. - var. itálica) seeds. *Rev. Bras. Sementes,* 25(1):18-24.
18. NEVES, N.; NUNES, T.; RIBEIRO, M.; OLIVEIRA, G.; SILVA, C. 2007. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de *Moringa oleifera* Lam. *Rev. Caatinga.* 20(2):63-67.
19. OLIVEIRA, L.M.; RIBEIRO, M.C.; MARACAJA, P.E.; CARVALHO, G. 2009. Qualidade fisiológica de sementes de moringa em função do tipo de embalagem, ambiente e tempo de armazenamento. *Rev. Caatinga.* 22(4):70-75.
20. OLSON, M.E.; FAHEY, J.W. 2011. *Moringa oleifera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Rev. Mex. Biodiv.* 82(4):1071-1082.
21. PALENCIA, G.; MERCADO, T.; COMBATT, E. 2006. Estudio Agroclimático del Departamento de Córdoba. U. de Córdoba, Colombia. 126p.
22. PEREIRA, K.T.O.; SANTOS, B.R.; BENEDITO, C.; LOPES, E.E; AQUINO, G. 2015. Germinação e vigor de sementes de *Moringa oleifera* Lam. em diferentes sustratos e temperaturas. *Rev. Caatinga.* 28(2):92-99.
23. PÉREZ, R. 2013. *Moringa oleifera*: una alternativa forrajera para ovinos. Fundación Produce. Sinaloa A.C. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Disponible desde internet en: [http://www.aarfs.com.mx/images/informacion/tecnologia\\_agricola/moringa\\_oleifera\\_una\\_alternativa\\_forrajera\\_para\\_ovinos.pdf](http://www.aarfs.com.mx/images/informacion/tecnologia_agricola/moringa_oleifera_una_alternativa_forrajera_para_ovinos.pdf) [con acceso el 20/01/2017].
24. POPINIGIS, F. 1985. *Fisiología da semente.* 2da. Ed., Brasília: AGIPLAN, 289p.
25. RASHID, U.; ANWAR, F.; ASHRAF, M.; SELEEM, M.; YUSUF, Z. 2011. Application of response surface methodology for optimizing transesterification of

- Moringa oleifera* oil: Biodiesel production. *Energy Conversion and Management*. 52(8-9):3034-3042.
26. ROSELLO, J.; SORIANO, J. 2008. Cómo obtener tus propias semillas. Manual para agricultores ecológicos. Colección Agricultura, Serie Agricultura Ecológica. Sevilla – España, 138p.
27. SÁNCHEZ-MACHADO, D.I.; NUÑEZ, G.J.A.; REYES, M.C.; RAMÍREZ, W.B.; LÓPEZ, C.J. 2010. Nutritional quality of edible parts of *Moringa oleifera*. *Food Anal. Methods*. 3(3):175-180.
28. SILVA, P.C. DA C.; ANDRADE, L.; SOUZA, V.; FABRICANTE, J.E.; SILVA, M.C. 2012. Comportamento germinativo de sementes de *Moringa oleifera* L. em diferentes ambientes e tempos de armazenamento. *Agropec. Científ. Semiárido*. 8(1):1-6.
29. TEÓFILO, E.M.; FREITAS, J.B.S.; BEZERRA, A.M.; RAFAEL, M.S. de S. 2003. Efeito dos tipos de embalagem ambiente e tempo de armazenamento na qualidade fisiológica das sementes de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) – Moringaceae. *Rev. Cient. Rural*. 8(1):115-122.
30. TESFAY, S.Z.; MODI, A.T.; MOHAMMED, F. 2016. The effect of temperature in moringa seed phytochemical compounds and carbohydrate mobilization. *S. Afr. J. Bot.* 102:190-196.

Recibido: Julio 13 de 2016

Aceptado: Febrero 9 de 2017

#### Cómo citar:

Ruíz-Pérez, A.; Araméndiz-Tatis, H.; Cardona-Ayala, C. 2017. Efecto del almacenamiento en la calidad fisiológica de semilla de moringa (*Moringa oleifera* Lam.). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(1): 79-89.



# DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO EN UN TRANSECTO DE LA GRANJA TUNGUAVITA, PAIPA

## SPATIAL DISTRIBUTION OF SOME FISCAL SOIL PROPERTIES IN A TRANSECT OF THE TUNGUAVITA FARM, PAIPA

Fanny Liliana Monroy-Rodríguez<sup>1</sup>, Javier Giovanni Álvarez-Herrera<sup>2</sup>, Óscar Humberto Alvarado-Sanabria<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ingeniera Agrónoma, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Av. Central del Norte, Tunja, Colombia, e-mail: fannymonroy@fedearroz.com.co; <sup>2</sup>Ingeniero Agrícola, M.Sc., Ph.D., Profesor asistente, grupo de investigaciones agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Av. Central del Norte, Tunja, Colombia, e-mail: javier.alvarez@uptc.edu.co; <sup>3</sup>Ingeniero Agrónomo, c.M.Sc. Fisiología Vegetal, grupo de investigaciones agrícolas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Av. Central del Norte, Tunja, Colombia, e-mail: ohalvarados@unal.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 91-100, Enero-Junio, 2017

### RESUMEN

El uso de técnicas geoestadísticas permite conocer la variabilidad de las propiedades de los suelos y facilita la interpretación, la predicción y la toma de decisiones. Con el fin de establecer el impacto del manejo que se le ha dado a la granja Tinguavita, se realizó un transecto, en el cual, se tomaron 85 puntos de muestreo, que se encontraban en un zona de bosque, dedicada a pastos y a explotación equina. Se determinaron las relaciones de masa-volumen, las humedades en profundidad y las resistencias a la penetración a dos profundidades. La aireación fue la relación de masa-volumen que presentó el mayor coeficiente de variación, lo que implica un manejo diferente a lo largo del transecto evaluado. La densidad real y la porosidad tienen una baja dispersión en el espacio. Las densidades aparente y real, la porosidad, la aireación y la relación de vacíos tuvieron un rango superior a 1000m. Los muestreos para la resistencia a la penetración y las humedades medidas con TDR, se deberían hacer cada 600m. La resistencia a la penetración mostró ser inversamente proporcional al contenido de humedad en el suelo. Las variables medidas se correlacionan en dos grupos: el primero, asocia a las densidades con las humedades medidas a diferentes profundidades y, el segundo grupo, relaciona la resistencia a la penetración a 15cm con la medida a 30cm. La resistencia a la penetración es un buen indicador de la compactación del suelo y del manejo agropecuario que se da en la granja Tinguavita.

Palabras clave: Geoestadística, semivariograma, kriging, compactación de suelo, variabilidad

### SUMMARY

The use of geostatistical techniques allows to find the variability of soil properties and also facilitates interpretation, prediction and decision making. Therefore, in order to establish the impact of management that has been given to the farm Tinguavita, a transect was conducted in which 85 sample points were taken, located found in a wooded area, an area devoted to pasture, and an area of equine exploitation. Volume mass ratios, humidities in depth and resistance to penetration at two depths was determined. Aeration was the mass-volume ratio that had the highest variation coefficient, which implies the different management practices along the evaluated transect. The particle density and porosity have a low dispersion in space. Bulk and particle densities, porosity, aeration and voids ratio presented a range higher than 1000m. Therefore, sampling for penetration resistance and moisture with TDR measurements should be done each 600m. Resistance to penetration showed to be inversely proportional to the moisture content in the soil. The measured variables are correlated in two groups, the first one associated densities with the humidities, measured at different depths, and the second group related to penetration resistance at 15cm with measurement at 30cm. The penetration resistance is a good indicator of soil compaction and the agricultural management that occurs in the Tinguavita farm.

Key words: Geostatistca, semivariogram, kriging, soil compaction, variability.

## INTRODUCCIÓN

Los métodos geoestadísticos han sido una herramienta ampliamente utilizada por los científicos del suelo en las dos últimas décadas, ya que permiten estudiar la variabilidad y la estructura de la variación de las propiedades físicas, químicas y morfológicas (Sun *et al.* 2003), de tal forma que el conocimiento de la variabilidad espacial de las propiedades de los suelos se ha convertido en esencial, para realizar un manejo adecuado de los suelos (Mulla, 2012).

Las propiedades físicas de los suelos han sido estudiadas geoestadísticamente por diferentes autores, quienes afirman que estas propiedades varían de un lugar a otro, dependiendo del manejo dado al suelo y sus propias características (Mulla, 2012). La variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo dentro de los campos agrícolas es inherente a la naturaleza geológica de la formación de suelo, pero, en algunos casos, la variabilidad puede ser inducida por la labranza y otras prácticas de manejo. Estos factores interactúan unos con otros, a través de escalas espaciales y temporales y se modificarán una vez más, a nivel local, por los procesos de erosión y deposición (Iqbal *et al.* 2005).

Por el desconocimiento de las propiedades físicas del suelo y su relación con la compactación, se ha dificultado el manejo de factores importantes para la explotación de cultivos y la adecuada utilización del recurso suelo, por lo que se hizo necesario el estudio espacial de algunas propiedades y sus variaciones dependientes de la naturaleza geológica o del manejo y la mecanización que se le dé al suelo, la cual, es la provocada por cambios que ocurren en el tiempo y que son generados, en gran medida, por el manejo, debido al tipo de uso del suelo (Tasumi & Kimura, 2013). Del mismo modo, otra fuente de variación es atribuida a que la variabilidad de las propiedades del suelos puede ser inducida por la labranza y otras prácticas de manejo, como la explotación animal (Zucco *et al.* 2014).

Por lo anterior, este artículo se centró en determinar la distribución espacial de algunas propiedades del suelo y su relación con la compactación, en un transecto de la granja Tunguavita del municipio de Paipa, que servirá de ayuda para el manejo adecuado del agua y de los suelos, de una gran área de la zona del alto Chicamocha, la cual, presenta condiciones similares.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** El estudio, se desarrolló en la granja Tunguavita, ubicada en el municipio de Paipa, a una altitud de 2.470msnm; con latitud 05°44'27"Norte y longitud 73°07'15"Oeste; la temperatura media es de 14,1°C;

precipitación media anual de 966mm y la humedad relativa media de 75%; la granja tiene una extensión total de 134ha.

**Procedimiento.** Se realizó un estudio de altimetría con la ayuda del sistema de posicionamiento global (GPS), con el fin de establecer mapas de la distribución de las variables en la zona de estudio, en zonas con posibles problemas de compactación e inundaciones frecuentes. Para determinar la variabilidad espacial de las propiedades en estudio, se realizó un transecto de 85 puntos, considerando un efecto anisotrópico igual a cero, con la siguiente distribución: distancias de 10m entre cada muestra. Se tomaron muestras, a una profundidad de 15cm en cada punto y para cada variable. Se hizo un análisis estadístico descriptivo y se formalizó una prueba de normalidad, además un estudio geoestadístico, en el cual, se realizaron semivariogramas, interpolación por kriging puntual y validación cruzada, para determinar la variabilidad espacial de los parámetros.

La dependencia espacial de los atributos, se calculó usando la teoría de las variables regionalizadas, en la cual, un grupo de datos es ajustado a un modelo de semivariograma teórico  $\gamma(h)$ , definido de la siguiente forma:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i+h)]^2$$

Donde,  $\gamma(h)$  = Semivarianza,  $N(h)$  = Número de parejas de puntos separados a una distancia  $h$ ;  $Z(X_i)$  = Valor del atributo en el lugar  $X_i$  y  $Z(X_i+h)$  = Valor del atributo a una distancia  $h$  del lugar  $X_i+h$ .

De esta manera, se determinó la autocorrelación espacial de las variables y la correlación entre las variables en un área determinada. En general, Garzón *et al.* (2010) menciona que si los puntos cercanos se parecen mucho entre sí, se dice que existe una autocorrelación espacial positiva, si por el contrario, los puntos cercanos difieren mucho, no existe autocorrelación, es decir, se presenta independencia espacial de la variable. De acuerdo al ajuste de los semivariogramas, se obtuvieron modelos exponenciales, gaussianos y lineales.

**Variables de respuesta.** En cada punto, se determinó el porcentaje de arena, limo y arcilla, por el método de Bouyoucos. Se obtuvo la densidad aparente, el contenido de humedad gravimétrica, volumétrica y saturación, así como la porosidad, la aireación y la relación de vacíos, por el método del cilindro biselado, mediante el muestreador Bulman modelo 0200 (Beavercreek, Ohio) y se determinó la densidad real, por el método del picnómetro (USDA, 2004). La compactación del suelo, se midió con el equipo FieldScout SC-900, mediante datos de resistencia a la penetración y se determinó la humedad a diferentes

profundidades, con un Time Domain Reflectometer (TDR), marca FieldScout TDR 100.

**Análisis de datos.** Se realizó, inicialmente, un análisis estadístico descriptivo, con el fin de determinar los parámetros básicos y las tendencias de los datos. Así mismo, se efectuó una prueba de normalidad, mediante el test de bondad de ajuste de Kolmogorov Smirnov. Se hizo un análisis geoestadístico, que incluyó ajustes de datos a modelos teóricos de semivariogramas, en donde se determinó el efecto pepita ( $C_0$ ); la meseta ( $C_0 + C$ ); el rango y el grado de dependencia espacial (GDE), mediante la relación  $C/(C_0+C)$ . Los datos, se validaron mediante el modelo de ajuste de Kriging y, posteriormente, se realizó la validación cruzada; para la realización de los semivariogramas, se usó el software Gs+v5.1. Del mismo modo, se practicó un análisis multivariado, en el cual, se llevó a cabo un análisis de correlación lineal simple y múltiple, por medio de la correlación de Pearson y del análisis de componentes principales, respectivamente, así como del efecto de comunalidad, mediante el software Sas v.8.1e (Cary N.C.).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Análisis descriptivo.** Las propiedades analizadas mostraron un comportamiento normal, según la prueba de Kolmogorov-Smirnov, a excepción de la humedad medida por el TDR, a 4cm, la humedad gravimétrica y la resistencia a la penetración (Tabla 1). Según Glendell *et al.* (2014), la normalidad no es un requisito obligatorio para el análisis de datos geoestadísticos; no obstante, si los datos son normales permiten una comparación más confiable de los parámetros de los modelos y brinda estimaciones del Kriging con mejor ajuste.

**Densidad aparente (Da).** De acuerdo con la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, la densidad aparente tuvo una distribución normal, con una media y mediana cercanas. Esto lo confirma la curtosis, con un valor cercano a cero y con un comportamiento platicúrtico. El valor promedio de la densidad aparente fue inferior en un 65% al reportado por Guatibonza *et al.* (2009), quienes obtienen el mismo comportamiento normal, pero con una densidad aparente, superior de  $1,27\text{gcm}^{-3}$ . Esta diferencia, se puede deber a que ellos tomaron muestras en una época seca, mientras que, para este estudio, los valores se tomaron en enero de

Tabla 1. Estadística descriptiva de las variables medidas.

Parámetro	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis	CV	N
HG (%)	57,90	46,46	9,74	132,22	0,79	0,15	45,88	*
HV (%)	42,51	42,47	13,90	62,45	-0,62	0,77	22,29	ns
HS (%)	69,16	71,27	32,45	86,62	-1,04	0,93	18,37	ns
Poros (%)	61,48	60,77	35,14	79,95	-0,22	-0,09	14,17	ns
A (%)	18,97	17,93	6,71	43,04	0,79	0,34	42,60	ns
Vacios	1,74	1,55	0,54	3,99	0,92	0,75	38,55	ns
Da ( $\text{g cm}^{-3}$ )	0,83	0,85	0,39	1,43	0,28	-0,28	27,76	ns
Dr ( $\text{g cm}^{-3}$ )	2,12	2,13	1,61	2,46	-0,41	0,05	7,94	ns
H4 (%)	94,07	98,00	59,70	99,60	-2,49	6,27	8,88	*
H8 (%)	80,08	81,20	44,40	99,00	-0,60	0,51	15,34	ns
H12 (%)	57,68	55,70	29,30	99,00	1,36	2,60	24,89	ns
H20 (%)	42,44	41,20	20,40	85,70	1,67	4,18	27,87	ns
RP1 (MPa)	1,33	1,17	0,30	3,70	1,53	3,12	48,4	*
RP2 (MPa)	1,73	1,62	0,78	3,70	1,38	2,42	35,68	*

HG: humedad gravimétrica; HV: Humedad volumétrica; HS: Humedad a saturación; A: Aireación; Da: Densidad aparente en seco; DAH: densidad aparente en húmedo; Dr: Densidad real; H4: humedad a 4cm por TDR; H8: humedad a 8cm por TDR; H12: humedad a 12cm por TDR; H20: humedad a 20 cm por TDR. RP1: resistencia a la penetración a 15cm; RP2: resistencia a la penetración a 30cm; N: Normalidad de Kolmogorov - Smirnov; ns: no significativo; \*: significativo para normalidad ( $P < 0,01$ ).

2012, justo después de uno de los años más lluviosos en la zona (Figura 1), por lo que se puede inferir que la Da cambia con la humedad. Al analizar el coeficiente de variación (CV), presentó un valor de 27,7%, considerado alto, de acuerdo a la escala usada por Garzón *et al.* (2010). Esta situación puede ocurrir, debido a que el transecto de muestreo correspondía a zonas de bosque, zonas de pastoreo y hacia la parte norte de la zona de muestreo, se tenía un lugar de alta compactación dedicado a la explotación equina, mientras el estudio de Guatibonza *et al.* (2009), se llevó a cabo en forma de malla, con muestreos más cercanos entre sí y presentó un CV más bajo, con un valor de 16,6%.

En cuanto a la densidad real (Dr), los datos tuvieron un comportamiento normal, lo que lo confirma la similitud entre media y mediana. La curva de estos datos presentó asimetría y un comportamiento platocúrtico, similar a lo reportado por Cucunuba-Melo *et al.* (2011), quienes encontraron una media y mediana similares, con valores de 2,53 y 2,50, respectivamente y una curtosis de 0,01. El CV encontrado para la densidad real es bajo (Tabla 1), debido a que la densidad real esta relacionada a la génesis del suelo y hace que presente poca variación, similar a lo obtenido por Guatibonza *et al.* (2009) y Cucunuba-Melo *et al.* (2011).

La humedad gravimétrica presentó un comportamiento anormal, en donde la media es mayor que la mediana. La distribución de los datos mostró sesgo hacia la izquierda y un comportamiento platocúrtico. Por otro lado, la humedad

volumétrica y de saturación presentó un comportamiento normal, con una media y mediana similar, una asimetría negativa y una curva platocúrtica. Allaire *et al.* (2012) mencionan que el comportamiento normal de la humedad volumétrica ha sido reportado por otros autores, aunque ellos obtuvieron un menor coeficiente de variación, con un valor de 14%, mientras que, en este estudio, los valores de CV, oscilaron entre 18 y 45%, lo que pudo ocurrir, debido a la extensión del transecto medido, ya que se realizó en zonas con alta variabilidad, lo que aumentó el CV.

La porosidad tuvo un comportamiento normal, caracterizado por una curva platocúrtica y con una asimetría negativa; esta normalidad ha sido reportada por otros autores (Cucunuba-Melo *et al.* 2011; Dos Santos *et al.* 2012), quienes también relacionan este comportamiento normal con el de la densidad aparente y la densidad real, ya que esta variable tiene fuerte relación con las densidades. Según Lipiec & Hatano (2003), un valor promedio, como el encontrado de 61%, implica un suelo con una buena aireación y almacenamiento de agua. Del mismo modo, el CV hallado para la porosidad es bajo (Tabla 1) y es similar al que Guatibonza *et al.* (2009) reportaron para la misma zona, en época seca.

La aireación del suelo presentó un comportamiento normal, con una media y mediana similar y con una curva platocúrtica y asimetría positiva; no obstante, presentó mayor variación que otras variables, con un CV del 42%, lo que concuerda con Hernández *et al.* (2007), quienes encontraron coeficientes de

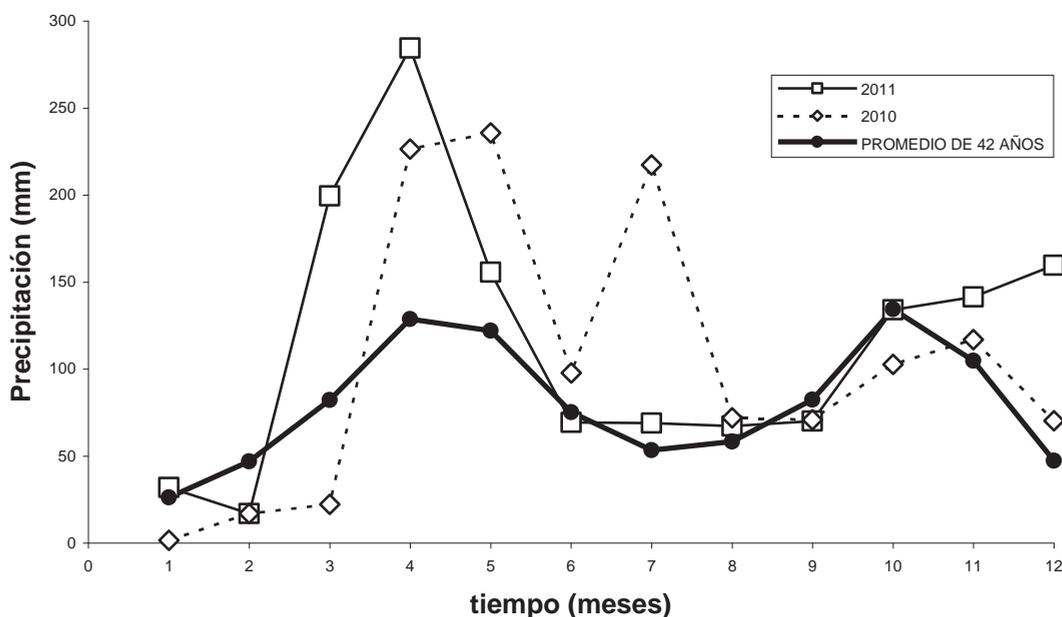


Figura 1. Precipitación medida en la estación climatológica de la granja Tunguavita (Paipa).

variación de 30 al 45%. Guatibonza *et al.* (2009) registraron CV del 57,3%, por lo que se puede inferir, que la aireación es la relación de masa volumen con mayor CV. También se observó, que el promedio de la aireación es bajo, con un 19%, mientras que el de la porosidad total es del 61%, mostrando que la mayor parte de los poros del suelo son ocupados por el agua, lo cual, es confirmado por el porcentaje de humedad de saturación, con un promedio de 69%.

Los contenidos de humedad a 4, 8, 12 y 20cm tuvieron un comportamiento anormal a los 8cm y normal en las otras profundidades. Este comportamiento anormal, se caracterizó por una asimetría en la distribución de los datos y un comportamiento leptocúrtico, a 4cm de la superficie. Esta variabilidad en la humedad la reporta Duffera *et al.* (2007), quienes presentaron un coeficiente de variación, entre un 25 y 40% y según Fang *et al.* (2016), de un 9 a 29%. La distribución anormal de la humedad a 4cm pudo ocurrir, debido a que hubo una gran concentración de datos alrededor del valor de 98%, el cual, se presentó, porque el suelo, en la mayoría de los puntos, había recibido aportes de agua excesivos, producto de las máximas precipitaciones históricas en 42 años, que mostró diciembre de 2011 (Figura 1).

Al tomar los promedios de las distintas profundidades, se observó que el contenido de agua en el suelo disminuyó al aumentar la profundidad y pasó de valores de 94%, a 4cm, a valores de 42,5%, a los 20cm. En general, los valores de humedad a las distintas profundidades son altos, si se comparan con los resultados expuestos por Guatibonza *et al.* (2009), quienes hicieron el estudio en la misma zona, en época seca y obtuvieron valores que oscilaron entre 27 y 32%.

La resistencia a la penetración expuso un comportamiento anormal y una distribución de los datos leptocúrtica con asimetría positiva. En las dos profundidades, 15 y 30cm, se observó dicha anomalía, junto con un CV del 48 y 35%, respectivamente, lo que resulta similar a los CV, reportados por Duffera *et al.* (2007), quienes registran valores de 57% y superior a los obtenidos por Medina *et al.* (2012), que oscilan entre 21 y 27%. Según Zhao *et al.* (2007), la variación de la resistencia a la penetración es afectada por el contenido de humedad en el suelo, por ello, se presentan CV diferentes, dependiendo de la zona y el contenido de humedad. Los valores promedios oscilaron entre 1,33 y 1,77MPa, lo que indica, según Carr *et al.* (2013), que los datos de RP hallados se pueden considerar apropiados para la explotación agrícola; no obstante, en donde se tiene la explotación equina, debido al pisoteo de los animales, la RP superó los 4MPa.

**Análisis geoestadístico.** La densidad real, humedad de saturación y humedad medida con TDR a 4cm de profundidad

tuvieron un GDE moderado, según la clasificación usada por Garzón *et al.* (2010), ya que la relación entre la meseta y el efecto pepita  $[C/(Co+C)]$  es cercana a 0,5. Esta dependencia espacial, con tendencia moderada a fuerte, ha sido reportada por otros autores, como Duffera *et al.* (2007), quienes para humedad volumétrica, hallaron una tendencia espacial fuerte, en las capas superiores del suelo.

Es probable que esta relación de dependencia esté dada porque la humedad tiene una alta relación con la densidad aparente y la porosidad (Tabla 3). Estas variables también tienen una autocorrelación espacial de moderada a alta. Las densidades aparente y real, la porosidad, la aireación y la relación de vacíos presentan un rango superior a los 1.000m, es decir, que dentro de un radio de 1000m estas variables son muy similares. La porosidad presentó el rango más amplio dentro de las variables evaluadas y esto sumado al bajo CV que presentó, comprueba que esta propiedad tiene una baja variabilidad (Tabla 1), por lo que si se realiza un muestreo de dichas variables, lo ideal sería realizarlas con una distancia de 1.000 metros, aproximadamente, con el fin de ahorrar recursos y así tener una medida significativa de estas propiedades del suelo.

Por otro lado, las variables de porosidad, relación de vacíos y humedad medida con TDR, a 8, 12 y 20cm, tienen un GDE fuerte, con valores mayores al 60%, lo cual, se presentó, debido a que se relacionan con la  $D_r$  y  $D_a$  (Tabla 2). A su vez, las densidades están muy relacionadas con el material parental y tienden a mantenerse constantes en el espacio, por lo que no cambian al aumentar la distancia de muestreo. Ejemplos de esta fuerte dependencia espacial son mostrados por Hernández *et al.* (2007) y Zhao *et al.* (2007), quienes obtuvieron un GDE del 99%, para porosidad y del 87%, para densidad aparente, respectivamente.

La resistencia a la penetración (RP), medida en las dos profundidades de 0 a 15cm y de 15 a 30cm tiene una dependencia espacial moderada, aunque el GDE varió, según la profundidad. Al respecto, Utset & Cid (2001) exponen que la dependencia espacial de la RP cambia en relación a la humedad del suelo, con valores de GDE de 0,1 a 0,97, mientras que Kiliç *et al.* (2004) reportan un GDE moderado a distintas profundidades, pero dicha dependencia varía de 0,1 a 0,7, con la profundidad y la textura del suelo.

Los rangos obtenidos para la RP estuvieron alrededor de 438 y 600m, para las dos profundidades. Estos valores contrastan con los reportados por Medina *et al.* (2012), quienes evaluaron RP a diferentes profundidades y encontraron rangos que oscilan entre 14 y 107m, lo cual, permite afirmar, que los datos de esta investigación tienen una mayor dependencia espacial y que las variaciones, en el nivel de compactación del suelo, son similares a lo largo

Tabla 2. Parámetros de los semivariogramas ajustados para las variables medidas.

Parámetro	Modelo	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> + C	Rango (m)	GDE C/(C <sub>0</sub> +C)	R <sup>2</sup>	VC
HG (%)	Gaussiano	568	1546,9	788	0,633	0,699	0,996
HV (%)	Gaussiano	57,4	315,2	1025	0,818	0,686	0,710
HS (%)	Exponencial	107,5	271,5	1058	0,604	0,595	0,797
Poros (%)	Gaussiano	63,5	269,3	1066	0,764	0,866	0,723
A (%)	Lineal	45,05	56,93	496	0,209	0,606	0,483
Vacíos	Gaussiano	0,301	0,897	1059	0,664	0,811	0,612
DA (g cm <sup>-3</sup> )	Gaussiano	0,0429	0,2051	1053	0,791	0,870	0,811
DR (g cm <sup>-3</sup> )	Lineal	0,01914	0,02918	496	0,344	0,785	0,692
H4 (%)	Lineal	31,87	57,02	496	0,441	0,688	0,751
H8 (%)	Gaussiano	86,1	323,8	493	0,734	0,875	0,963
H12 (%)	Gaussiano	77	464,9	413	0,834	0,898	1,0
H20 (%)	Gaussiano	46,9	275,7	441	0,830	0,863	1,0
RP1 (kPa)	Gaussiano	2300	6274	438	0,500	0,694	0,141
RP2 (kPa)	Gaussiano	2540	8190	599	0,690	0,821	0,650

C<sub>0</sub>: Efecto pepita; C<sub>0</sub> + C: meseta; C/(C<sub>0</sub>+C): proporción entre la covarianza y la meseta; GDE: grado de dependencia espacial; R<sup>2</sup>: coeficiente de ajuste del modelo del semivariograma; VC: validación cruzada. HG: humedad gravimétrica; HV: Humedad volumétrica; HS: Humedad a saturación; A: Aireación; DA: Densidad aparente en seco; DAH: densidad aparente en húmedo; DR: Densidad real; H4: humedad a 4cm por TDR; H8: humedad a 8cm por TDR; H12: humedad a 12cm por TDR; H20: humedad a 20cm por TDR. RP1: resistencia a la penetración a 15cm; RP2: resistencia a la penetración a 30cm.

del transecto; no obstante, la dependencia espacial de la RP también es influenciada por características, como el contenido de materia orgánica, el tipo de sistema radicular del cultivo sembrado, la mecanización, entre otras (Al-Omran *et al.* 2013).

Las variables de humedad medidas con TDR en todas las profundidades y la humedad de saturación tienen un rango inferior a 600m, indicando que estas variables tienen una dependencia espacial local, es decir, se mantiene una humedad similar en un radio menor a 600m; esto se debe, a que los contenidos de humedad dependen, principalmente, del clima y de las condiciones del suelo, por lo que se consideran que tienen una mayor variabilidad temporal que espacial (Brocca *et al.* 2012).

**Análisis Multivariado.** Se puede apreciar que la porosidad y la relación de vacíos son directamente proporcionales estadísticamente y que varían de forma inversamente proporcional con las densidades y la RP. En contraste, al observar las humedades determinadas por el TDR y la aireación tienen una relación inversamente proporcional, pero no tienen relación con la porosidad y la relación de vacíos (Tabla 3).

La relación entre porosidad y relación de vacíos ( $r=0,95$ ) fue alta, así como la relación con la densidad aparente en seco, en húmedo y real ( $r=-0,97$ ,  $r=-0,89$ ,  $r=-0,58$ , respectivamente), por lo que estas relaciones son similares a las encontradas por Guatibonza *et al.* (2009), en el mismo lote, pero con un muestreo en forma de malla.

La RP medida a una profundidad de 0,15 y 0,30m presentó una alta correlación negativa con la humedad volumétrica, con valores de  $r=-0,67$  y  $r=-0,54$ , respectivamente; esto implica, que a mayor cantidad de agua presente en el suelo, la resistencia a la penetración será menor. En contraste, Ramírez-López *et al.* (2008) hallaron que la RP solo tuvo correlación con los contenidos de arena y de limo cuando fue medida a 0,10 y 0,20m; no obstante, la RP es una medida indirecta de la fuerza que ejercen las raíces, a través del suelo para crecer, absorber agua y nutrientes (Shen *et al.* 2016).

Los valores de humedad determinados a diferentes profundidades 4, 8, 12 y 20cm, tuvieron una correlación positiva con el contenido de humedad a saturación y ésta disminuyó, a medida que la profundidad de muestreo de la humedad aumentaba, por lo que se puede afirmar, que las mediciones con el TDR, a una profundidad de 4cm,

Tabla 3. Valores de la correlación de Pearson entre los parámetros del suelo, evaluados en un transecto de la granja Tunguavita.

Atributo	HG	HV	HS	Poros	A	e	DA	DR	H4	H8	H12	H20	RP1	RP2
HG	1,00													
HV	0,81	1,00												
HS	0,33	0,78	1,00											
Poros	0,87	0,61	-0,01	1,00										
A	-0,02	-0,52	-0,92	0,37	1,00									
e	0,89	0,55	-0,05	0,96	0,39	1,00								
DA	-0,89	-0,63	-0,05	-0,97	-0,31	-0,93	1,00							
DR	-0,69	-0,45	-0,13	-0,59	-0,11	-0,56	0,75	1,00						
H4	0,30	0,47	0,46	0,13	-0,41	0,12	-0,14	-0,09	1,00					
H8	0,17	0,31	0,34	0,01	-0,36	0,02	0,01	0,05	0,84	1,00				
H12	-0,08	0,00	0,12	-0,22	-0,23	-0,16	0,24	0,20	0,61	0,87	1,00			
H20	-0,08	-0,04	0,09	-0,25	-0,22	-0,17	0,26	0,17	0,59	0,85	0,97	1,00		
RP1	-0,47	-0,67	-0,52	-0,46	0,30	-0,35	0,45	0,22	-0,39	-0,30	-0,04	0,04	1,00	
RP2	-0,39	-0,55	-0,37	-0,44	0,16	-0,34	0,44	0,19	-0,29	-0,19	0,04	0,14	0,84	1,00

HG: humedad gravimétrica; HV: Humedad volumétrica; HS: Humedad a saturación; A: Aireación; e: relación de vacíos; DA: Densidad aparente en seco; DAH: densidad aparente en húmedo; DR: Densidad real; H4: humedad a 4cm por TDR; H8: humedad a 8cm por TDR; H12: humedad a 12cm por TDR; H20: humedad a 20cm por TDR. RP1: resistencia a la penetración a 15cm; RP2: resistencia a la penetración a 30cm.

tienen muy buena correlación con la humedad a saturación, situación que se pudo dar, debido a los fuertes eventos de precipitación con máximos históricos ocurridos, lo cual, en general, hizo que todos los datos de humedad presentaran valores altos y que la mayoría de los poros del suelo, tuvieran grandes contenidos de agua, lo que explica, además, la relación inversamente proporcional entre la aireación y los contenidos de humedad a saturación y a diferentes profundidades medidos con el TDR.

**Componentes principales (CP).** Se obtuvieron tres CP, los cuales, sumados, explicaron en un 85,47% la varianza total de los datos, valor superior al 80%, que es el valor requerido para realizar un buen análisis estadístico (Medina *et al.* 2012). En la tabla 4, se aprecia la influencia de las variables medidas dentro del primer componente, que explica la varianza total de los datos en un 41,4%. En el CP1, la variable que presentó mayor influencia fue la porosidad, seguida de la humedad gravimétrica, de la relación de vacíos y de la humedad volumétrica. Lo anterior indica que el suelo muestreado está dominado por la influencia del régimen de humedad del suelo y la relación de la fase líquida con la fase gaseosa del suelo.

El segundo CP representó un 28,9% y estuvo afectado, principalmente, por las humedades medidas en el TDR, a

diferentes profundidades y la humedad a saturación, que mostraron una alta correlación positiva entre sí. Nuevamente, el contenido de humedad presentado en el suelo, se mostró como el principal factor que afectó los fenómenos que determinan la capacidad del suelo, para su uso agrícola. El tercer CP tuvo un efecto del 15% sobre la varianza de los datos, afectado, principalmente, por la humedad medida con TDR, a los 20 y 15cm y la aireación, situación que revela el efecto de las altas precipitaciones, que mantienen una alta humedad en el suelo en profundidad.

Al comparar el CP1 y el CP2, muestran dos grandes grupos de variables que se relacionan entre sí. En el grupo 1, se encuentran las humedades, las densidades y las relaciones de masa volumen y, en el grupo 2, las RP, a 15 y 30cm. La aireación presentó poco efecto sobre las demás variables y se encuentra alejada de los grupos de variables.

La densidad aparente fue la variable que presentó el mayor valor de comunalidad, lo que implica que es la propiedad que más influye y, a su vez, que es la más afín a los demás atributos medidos; esto ocurre, debido a que la densidad aparente desempeña un papel importante en el cálculo de las relaciones de masa-volumen, así como también sobre la RP. Al respecto, Hakansson & Lipiec (2000) mencionan que el grado de compactación del suelo tiene una gran correlación

Tabla 4. Coeficientes de los componentes principales para los parámetros evaluados.

Parámetro	CP1	CP2	CP3	Comunalidad
HG (%)	0,933	0,119	0,045	0,885
HV (%)	0,761	0,490	-0,337	0,820
HS (%)	0,232	0,720	-0,594	0,572
Poros (%)	0,949	-0,172	0,165	0,931
A (%)	0,131	-0,761	0,573	0,596
Vacíos	0,905	-0,178	0,250	0,851
DA (g cm <sup>-3</sup> )	-0,972	0,164	-0,124	0,972
DR (g cm <sup>-3</sup> )	-0,714	0,120	-0,052	0,524
H4 (%)	0,244	0,808	0,265	0,712
H8 (%)	0,075	0,857	0,465	0,739
H12 (%)	-0,202	0,730	0,605	0,573
H20 (%)	-0,233	0,696	0,637	0,539
RP1 (kPa)	-0,605	-0,439	0,311	0,559
RP2 (kPa)	-0,570	-0,300	0,300	0,415
Autovalor	6,21	4,34	2,25	
Varianza total %	41,45	28,97	15,05	
Varianza acumulada	41,45	70,42	85,47	

CP: Componente principal.

con los valores de la RP, ya que, según Lipiec & Hatano (2003), la densidad aparente en relación con la densidad aparente obtenida por compresión uniaxial a una presión de 200kPa, es definida como el grado de compactación del suelo.

Asimismo, la porosidad presentó el segundo valor más alto de comunalidad, lo que implica que esta variable, fuertemente ligada a la densidad real, también esta relacionada, tanto con los contenidos de humedad, como con las densidades y la RP. En tercer lugar, aparece la humedad gravimétrica, seguida, de la relación de vacíos, los cuales, poseen altos valores de comunalidad, debido a que son atributos afectados por la densidad aparente. En cuanto, a los valores de comunalidad de las humedades obtenidas a partir del TDR, se puede decir, que a mayor profundidad, el valor de comunalidad de la humedad va disminuyendo, porque disminuye el efecto que esta pueda tener sobre las propiedades físicas medidas en el primer horizonte del suelo.

**Conflictos de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaran que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ALLAIRE, S.E.; LANGE, S.F.; LAFOND, J.A.; PELLETIER, B.; CAMBOURIS, A.N.; DUTILLEUL, P. 2012. Multiscale spatial variability of CO<sub>2</sub> emissions and correlations with physico-chemical soil properties. *Geoderma* 170:251-260.
2. AL-OMRAN, A.M.; AL-WABEL, M.I.; EL-MAGHRABY, S.E.; NADEEM, M.E.; AL-SHARANI, S. 2013. Spatial variability for some properties of the wastewater irrigated soils. *J. Saudi Soc. Agr. Sci.* 12:167-175.
3. BROCCA, L.; TULLO, T.; MELONE, F.; MORAMARCO, T.; MORBIDELLI, R. 2012. Catchment scale soil moisture spatial-temporal variability. *J. Hydrology.* 422-423:63-75.
4. CARR, P.; GRAMIG, G.; LIEBIG, M. 2013. Impacts of organic zero tillage systems on crops, weeds, and soil quality. *Sustainability* 5(7):3172-3201.
5. CUCUNUBA-MELO, J.; ALVAREZ-HERRERA, J., CAMACHO TAMAYO, J. 2011. Identification of agronomic management units based on physical

- attributes of soil. *J. Soil Sci. Plant Nutrition*. 11(1):87-99.
6. DOS SANTOS, D.; DE SOUZA, E.G.; NÓBREGA, L.H.; BAZZI, C.L.; GONÇALVES, A.C. 2012. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho após cultivo de soja. *Rev. Bras. Engenh. Agr. Amb.* 16(8):843-848.
  7. DUFFERA, M.; WHITE, J.G.; WEISZ, R. 2007. Spatial variability of Southeastern U.S. Coastal Plain soil physical properties: Implications for site-specific management. *Geoderma*. 137(3-4):327-339.
  8. FANG, K.; LI, H.; WANG, Z.; DU, Y.; WANG, J. 2016. Comparative analysis on spatial variability of soil moisture under different land use types in orchard. *Scientia Horticulturae*. 207:65-72.
  9. GARZÓN, C.A.; CORTÉS, C.A.; CAMACHO-TAMAYO, J.H. 2010. Variabilidad espacial de algunas propiedades químicas en un Entisol. *Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient.* 13(1):87-95.
  10. GLENDELL, M.; GRANGER, S.J.; BOL, R.; BRAZIER, R.E. 2014. Quantifying the spatial variability of soil physical and chemical properties in relation to mitigation of diffuse water pollution. *Geoderma*. 214-215:25-41.
  11. GUATIBONZA, M.; ÁLVAREZ-HERRERA, J.; SANABRIA, J. 2009. Distribución espacial de la conductividad hidráulica en un lote de la granja Tinguavita (Paipa, Colombia). *Agr. Col.* 27(2):261-271.
  12. HAKANSSON, I.; LIPIEC, J. 2000. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil Tillage Res.* 53:71-85.
  13. HERNÁNDEZ, P.; FERNÁNDEZ, R.; NOVO, M.; TRIGO, D.; DÍAZ, D.J. 2007. Geostatistical and multivariate analysis of the horizontal distribution of an earthworm community in El Molar (Madrid, Spain). *Pedobiologia*. 51(1):13-21.
  14. IQBAL, J.; THOMASSON, A.; JENKINS, J. N.; OWENS, P. R.; WHISLER, F.D. 2005. Spatial variability analysis of soil physical properties of alluvial soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:1338-1350.
  15. KILIÇ, K.; ÖZGÖZ, E.; AKBAŞ, F. 2004 Assessment of spatial variability in penetration resistance as related to some soil physical properties of two fluvents in Turkey. *Soil Tillage Res.* 76(1):1-11.
  16. LIPIEC, J.; HATANO, R. 2003. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma*. 116:107-136.
  17. MEDINA, C.; CAMACHO-TAMAYO, J.; CORTÉS, C. 2012. Soil penetration resistance analysis by multivariate and geostatistical methods. *Eng. Agric.* 32(1):91-101.
  18. MULLA, D.J. 2012. Chapter 20 - Modeling and Mapping Soil Spatial and Temporal Variability. En: LIN, H. (ed). *Hydrogeology*. Academic Press (Boston). p.637-664.
  19. RAMÍREZ-LÓPEZ, L.; REINA-SÁNCHEZ, A.; CAMACHO-TAMAYO, J.H. 2008. Variabilidad espacial de atributos físicos de un Typic Haplustox de los Llanos Orientales de Colombia. *Eng. Agric.* 28(1):55-63.
  20. SHEN, Q.; GAO, G.; HU, W.; FU, B. 2016. Spatial-temporal variability of soil water content in a croplandshelterbelt-desert site in an arid inland river basin of Northwest China. *J. Hydrology*. 540:873-885.
  21. SUN, B.; ZHOU, S.; ZHAO, Q. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma*. 115(1-2):85-99.
  22. TASUMI, M.; KIMURA, R. 2013. Estimation of volumetric soil water content over the Liudaogou river basin of the Loess Plateau using the SWEST method with spatial and temporal variability. *Agr. Water Managem.* 118:22-28.
  23. USDA. 2004. Soil Survey Laboratory. Methods Manual. Investigation report No. 42. Versión 4.0. 700p. United States Department of Agriculture, Washington D.C., USA.
  24. UTSET, A.; CID, G. 2001. Soil penetrometer resistance spatial variability in a Ferralsol at several soil moisture conditions. *Soil Tillage Res.* 61(3-4):193-202.
  25. ZHAO, Y.; PETH, S.; KRÜMMELBEIN, J.; HORN, R.; WANG, Z.; STEFFENS, M. 2007. Spatial variability of soil properties affected by grazing intensity in Inner Mongolia grassland. *Ecol. Modelling* 205(1-2):241-254.



# INCREMENTO EN LA VIDA ÚTIL POST COSECHA DEL AGUACATE (*Persea americana*) UTILIZANDO RECUBRIMIENTOS A BASE DE GOMA GELANA

## POST-HARVEST SHELF-LIFE INCREASE OF AVOCADOS (*Persea americana*) USING GELLAN GUM BASED COATING

Rafael González Cuello<sup>1</sup>, Jaime Pérez Mendoza<sup>2</sup>, Víctor Gelvez Ordóñez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. Ingeniería de Alimentos, Docente Asistente. Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado Calle 30 No. 48-152, Cartagena-Bolívar, Colombia, e-mail: rgonzalezc1@unicartagena.edu.co; <sup>2</sup> MSc. Ingeniería de Alimentos, Docente Asociado. Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado Calle 30 No. 48-152, Cartagena-Bolívar, Colombia, e-mail: jperez@unicartagena.edu.co; <sup>3</sup> Ph.D. Ingeniería de Alimentos, Docente. Universidad de Pamplona, Colombia, e-mail: vmgelvez@unipamplona.edu.co

Rev. U.D.CA Act. & Div. Cient. 20(1): 101-110, Enero-Junio, 2017

### RESUMEN

El aguacate es uno de los frutos de importancia económica en Colombia que presenta pérdidas en post cosecha. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de un recubrimiento comestible a base de gelana de alto (GAA) y bajo acilo (GBA), sobre la calidad post cosecha del aguacate (*Persea americana* cv. "Hass"), almacenado durante nueve semanas. Para la elaboración de los recubrimientos, se utilizó un diseño factorial 2<sup>3</sup>, donde los factores fueron las concentraciones de GAA (0,30 y 0,60% p/v), GBA (0,30 y 0,60% p/v) y glicerol (GLI) (8,0 y 12% v/v); como agente antimicrobiano, se utilizó extracto acuoso de Toronjil (*Melissa officinalis* L), por ser un aditivo natural. Se evaluaron propiedades, como la firmeza, la pérdida de humedad, el pH y los sólidos solubles totales (SST), durante almacenamiento. Finalmente, para la estimación del periodo de vida útil, se empleó la ecuación de Monod Hinshelwood, previo modelado de los datos, con ayuda de la ecuación de Baranyi y Roberts. Los resultados indicaron que la aplicación de recubrimientos comestibles de goma gelana, conteniendo bajas concentraciones de glicerol, disminuye significativamente ( $P < 0,05$ ) la pérdida de firmeza, de humedad, de sólidos solubles y evitan grandes modificaciones del pH, manteniendo la calidad del aguacate, alargando la vida útil.

Palabras clave: Conservación, extracto de toronjil, heteropolisacáridos, *Persea americana*, revestimientos comestibles.

### SUMMARY

Avocado is one of the fruits of economic importance in Colombia. However, it presents losses mainly during the post-

harvest period. The aim of this research was to evaluate the effect of an edible coating based on high acyl (HAG) and low acyl gellan (LAG) on post-harvest avocado quality (*Persea americana* cv. "Hass") stored during nine weeks. A factorial design 2<sup>3</sup> was employed for the biofilm preparation, where the factors were concentrations of HAG (0.30 and 0.60% w/v), LAG (0.30 and 0.60% w/v) and glycerol (GLY v/v). As antimicrobial aqueous extract of lemon balm (*Melissa officinalis* L) was used. Properties such as firmness, moisture loss, pH, total soluble solids (TSS) during storage were evaluated. Finally, for the microbiological shelf life estimation the Hinshelwood Monod equation was applied previous data modeling using the Baranyi and Roberts model. The results indicated that the application of edible coatings based on gellan gum containing low concentrations of glycerol reduces the loss of firmness, moisture, soluble solids and prevent large changes in pH, maintaining the quality of avocado and extend its shelf life.

Key words: Avocado, lemon balm, gellan gum, edible coating, post-harvest shelf life.

### INTRODUCCIÓN

El empaqueo de matrices alimentarias se ha enfocado, principalmente, en el desarrollo de películas o recubrimientos biodegradables, elaboradas a partir de polisacáridos de origen vegetal (Seydim & Sarikus, 2006) y microbiano, ya que los consumidores, actualmente, demandan una disminución en el uso de aditivos químicos, sobre las matrices alimentarias.

Los materiales empleados para la producción de recubrimientos, usualmente, son proteínas, polisacáridos y lípidos

(Persin *et al.* 2011; Rodríguez & Schobitz, 2009; González *et al.* 2015). Investigaciones previas han mostrado que varios polisacáridos, usados como agentes espesantes o estabilizantes, pueden también ser utilizados para la formación de recubrimientos (González *et al.* 2016).

La goma gelana es un heteropolisacárido lineal aniónico, producido por la bacteria *Sphingomonas paucimobilis* y consiste en unidades de repetición de un tetrasacárido (1,3-β-D-glucosa; 1,4-β-D-ácido glucurónico; 1,4 β-D glucosa; and 1,4-α-L-ramnosa). La gelana nativa es conocida como gelana de alto acilo, debido a que presenta un grupo acetato (C6) y un grupo glicerato (C2), en su residuo de glucosa. Cuando la gelana de alto acilo es sometida a un fuerte tratamiento con álcali a elevadas temperaturas, se obtiene la gelana de bajo acilo. Esta diferencia estructural hace posible obtener geles de diferentes texturas (Buldo *et al.* 2016).

La capacidad de las películas y de los recubrimientos para retener humedad, aromas y transporte de solutos, puede ser mejorada, mediante la inclusión de aditivos, como antioxidantes, antimicrobianos, colorantes, saborizantes, nutrientes y especies, en la formulación (Pranoto *et al.* 2005). La influencia de los aditivos dependerá de su concentración, estructura química, grado de dispersión en el recubrimiento, así como su grado de interacción con el polímero. A pesar de los progresos realizados en el área de conservación de frutas y verduras, más de un cuarto de las frutas y vegetales cosechados se echan a perder, debido a su deterioro durante el almacenamiento (Maftoonazad & Ramaswamy, 2005).

El aguacate (*Persea americana* Mill) es la quinta fruta tropical de mayor relevancia en el mundo, en términos de volumen y de área cultivada. Colombia, al producir más de 40 mil toneladas/año de aguacate hace que esta fruta tenga gran potencial para exportación; sin embargo, como consecuencia de una elevada demanda interna y una ausencia de adecuadas prácticas agrícolas, hacen difícil el acceso de esta fruta a mercados internacionales (Yabrudy, 2012).

El aguacate (*Persea americana* cv. "Hass") es una fruta con un excelente sabor y textura, que tiene un papel importante en la nutrición humana, por su contenido en ácidos, como el oleico, palmítico, linoleico, palmitoleico y esteárico, aparte de vitaminas, como la A, B, C, E, K y de un elevado contenido en fibra (Bill *et al.* 2014). Todo esto le confiere a la fruta efectos saludables, en la prevención del cáncer y enfermedades cardiovasculares (Awad & Fink, 2000; Plaza *et al.* 2009). Infortunadamente, la vida útil del aguacate está condicionada por muchos factores, entre los cuales, es importante destacar el crecimiento de hongos (Elez *et al.* 2005), ya que las pérdidas post-cosecha por antracnosis pueden llegar a ser del 80%, si no se emplean las medidas adecuadas (Bosse *et al.* 2013). En tal sentido, el uso de extractos acuosos ve-

getales han sido utilizados, con el fin de incrementar la vida útil de matrices alimentarias (González *et al.* 2015). *M. officinalis*, también conocida como bálsamo de limón, bálsamo común o bálsamo dulce, es una hierba perenne, de olor a limón, que pertenece a la familia de la Lamiaceae y, a la cual, numerosos estudios le atribuyen una variada actividad biológica (Shakeri *et al.* 2016).

La vida útil del aguacate resulta ser de tres a cuatro semanas, cuando es almacenado en condiciones de humedad y temperaturas adecuadas. Varias técnicas han sido utilizadas, con el fin de extender la vida útil del aguacate, aunque algunas pueden presentar inconvenientes; por ejemplo, la refrigeración, si bien retrasa la maduración y prolonga la vida útil, el frío prolongado conlleva a una descomposición y daño del fruto (Ma *et al.* 2017).

En los aguacates, se ha estudiado la estabilidad oxidativa (Aguiló *et al.* 2014), la vida útil post cosecha (Maftoonazad & Ramaswamy, 2005), la inducción de resistencia contra la antracnosis por aplicación combinada de aceite de tomillo y recubrimientos comestibles (Bill *et al.* 2014). Recientemente, se evaluó la actividad antagonista de diversos aislados bacterianos, obtenidos de múltiples fuentes contra bacterias fitopatógenas, aisladas de plantas de aguacate (Dunlap *et al.* 2016); sin embargo, hasta la fecha, no ha sido reportado el uso de mezclas binarias de gelana de alto y bajo acilo sobre aguacates. Por tal motivo, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de un recubrimiento comestible binario, sobre la calidad pos cosecha del aguacate (*P. americana*).

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Materiales.** 45 frutos de tamaño uniforme de *P. americana* cv. "Hass" fueron obtenidos en el mercado local de la ciudad de Cartagena D.T. y C. (Colombia). Se seleccionaron, teniendo en cuenta su tamaño, el estado de madurez, la ausencia visual de deterioro ocasionado por microorganismos y daños en la piel. Los frutos fueron desinfectados con una solución de hipoclorito de sodio (0,2g/L) por 5 min y secados a temperatura ambiente (González *et al.* 2005) y luego divididos en dos lotes. El primer lote constituyó el grupo control, que se almacenó sin recubrimiento y, el segundo fue sometido a los diferentes tratamientos de recubrimientos con gelana.

**Preparación de las biopelículas.** Para la obtención de biopelículas, un diseño factorial 2<sup>3</sup> fue utilizado, donde los factores fueron las concentraciones de gelana de alto acilo (GAA), (0,3 y 0,6% p/p) y bajo acilo (GBA), (0,3 y 0,6% p/p) y plastificante (8,0 y 12% v/v), (Tabla 1). Los polímeros fueron disueltos en agua destilada, con ayuda de una plancha de calentamiento, bajo agitación constante; luego, se incorporó glicerol (GLI), como agente plastificante. La solución resul-

tante fue sometida a calentamiento 90°C/10 minutos; subsiguientemente, la temperatura fue disminuida, hasta alcanzar 30°C, con el fin de adicionar el extracto acuoso de toronjil, obtenido mediante el procedimiento descrito por Herrera & García (2006). Cada fruta fue pesada en una balanza analítica antes de ser recubierta. Los aguacates fueron sumergidos en la solución del recubrimiento durante 1 min, a 20°C;

posteriormente, las frutas tratadas fueron secadas, para fijar el recubrimiento en la superficie de la fruta y, finalmente, las frutas fueron almacenadas junto con las muestras control durante nueve semanas. Los siguientes análisis fueron llevados a cabo para evaluar los cambios en la calidad de las muestras cada dos días, durante el periodo de almacenamiento (nueve semanas).

Tabla 1. Matriz experimental utilizada en la elaboración de las biopelículas.

Tratamiento	GAA (% p/v)	GBA (% p/v)	GLI %(v/v)
1	0,30	0,30	8,0
2	0,30	0,60	12,0
3	0,60	0,30	8,0
4	0,60	0,60	12,0
5	0,30	0,30	12,0
6	0,30	0,60	8,0
7	0,60	0,30	12,0
8	0,60	0,60	8,0

La pérdida de humedad fue estimada con ayuda de una balanza analítica. El contenido de sólidos solubles totales (SST) fue determinado con un refractómetro (Fischer, Extech Model 2132, Boston, EE.UU). La firmeza fue medida mediante un texturometro (Shimadzu modelo EZ-Test EZ-S, Tokyo, Japón). Las muestras fueron sometidas a test de punción, a velocidad constante 40mm/mm, utilizando una geometría de punta redonda de 5mm de diámetro. Curvas de fuerza de deformación fueron realizadas, con el fin de obtener la pendiente (N/mm) de la zona lineal que representa la firmeza. Al menos diez determinaciones fueron llevadas a cabo en cada fruta, reportando los promedios aritméticos. Los valores de pH fueron obtenidos usando un pH metro (Thompson Bante Instrument, Shanghai, China). Una maceración fue realizada con una muestra de aguacate en agua destilada (1:10 p/v), previa agitación durante 10 min.

#### Estimación de la vida útil microbiológica del aguacate.

La estimación de la vida útil fue llevada a cabo, tanto para las muestras control como para las recubiertas, realizando varias cinéticas de crecimiento, a distintas temperaturas (10 – 25°C), utilizando como microorganismos indicadores, los mohos y las levaduras en general, sin considerar un género en particular. Los datos obtenidos fueron modelados matemáticamente, utilizando la ecuación de Baranyi y Roberts (1994) (Ecuación 1), por medio del programa de cómputo DMFit 2.0:

$$y(t) = y_0 + \mu_{max}t + \frac{1}{\mu_{max}} \ln(e^{-vt} + e^{-h_0} - e^{-vt-h_0}) - \frac{1}{m} \ln \left[ 1 + \frac{e^{m\mu_{max}t + \frac{1}{\mu_{max}} \ln(e^{-vt} + e^{-h_0} - e^{-vt-h_0})} - 1}{e^{m(y_{max}-y_0)}} \right] \quad (\text{Ec.1})$$

Donde: y(t) es la concentración celular o el diámetro de las colonias; y<sub>0</sub> es la concentración o diámetro inicial; μ<sub>máx</sub> es la velocidad específica de crecimiento (1 h<sup>-1</sup>); m es un parámetro de curvatura para caracterizar la transición de la fase exponencial; v es un parámetro de curvatura para caracterizar la transición a la fase exponencial y h<sub>0</sub> es un parámetro adimensional que cuantifica el estado fisiológico inicial de las células. Una vez obtenidos los parámetros cinéticos de crecimiento microbiano, se procedió a estimar la vida útil microbiológica, utilizando la ecuación de Monod-Hinshelwood (ecuación 2):

$$ts = \frac{\log N_s - \log N_0}{\log 2} X T_d \quad (\text{Ec 2})$$

Donde:  $t_s$  es el tiempo necesario para que se desarrolle la alteración en el alimento;  $N_s$  (ufc/g) es el valor correspondiente a la población de seguridad (valor máximo permisible antes de considerarse alterado el producto);  $N_0$  (ufc/g) es el valor correspondiente a la población inicial presente en el producto, que es estimado mediante recuento del microorganismo por siembra en placa profunda al inicio de la cinética microbiana;  $T_d$  es el tiempo de duplicación promedio, obtenido de las cinéticas microbianas a las diferentes temperaturas (10 – 25°C). Es importante mencionar que  $T_d$  es el cociente de  $\ln 2$  y la velocidad específica de crecimiento microbiano y esta última corresponde a la pendiente de la fase logarítmica de crecimiento del microorganismo.

**Análisis de datos.** Los datos obtenidos fueron analizados mediante análisis normal de varianza (ANOVA un factor), empleando la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95%, utilizando el programa de computo SPSS (Statistical Package for the Social Sciences Inc. Chicago, IL, USA) versión 17.0 para Windows.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Pérdida de humedad.** En la figura 1, se presentan los cambios en la humedad del aguacate en función del tiempo de almacenamiento, en donde se puede apreciar que el porcentaje de pérdida de humedad en las muestras control (sin

recubrimiento) fue significativamente ( $P < 0,05$ ) mayor en comparación a las muestras recubiertas. En las frutas control, la pérdida de humedad promedio fue aproximadamente de 9,66 durante las nueve semanas de almacenamiento, mientras que las frutas recubiertas con la proporción 0,6GBA/0,6GAA/8,0GLI presentaron la menor pérdida de peso, con 1,10%, durante el mismo periodo. Las frutas que fueron recubiertas utilizando una proporción del 12% (v/v) de GLI, independientemente de las concentraciones de gelana utilizadas, presentaron valores de pérdida de humedad entre 3,58 y 4,55%; por el contrario, las frutas recubiertas con menores concentraciones de GLI (8,0% v/v), sin importar las proporciones de gelana, presentaron menores porcentajes de pérdida de humedad (1,10 – 1,91%). Estos resultados son similares a los reportados por Jeong *et al.* (2003), en frutas tratadas con mezclas de cera y metil ciclopropeno, donde encontraron valores entre 1,90 y 5,4, dependiendo de las concentraciones de cera utilizadas. Igualmente, Saucedo *et al.* (2009) reportaron valores de pérdida de humedad cercanos al 5,0%, después de seis semanas de almacenamiento, en aguacates recubiertos con cera candelilla, conteniendo ácido elálgico. Los menores valores de pérdida de humedad obtenidos en las frutas recubiertas pueden ser atribuidos a las propiedades de barrera para la difusión de gases de las estomas, organelos que regulan el proceso de transpiración, además del intercambio de gases, entre la fruta y el medio ambiente (Salunke *et al.* 1991).

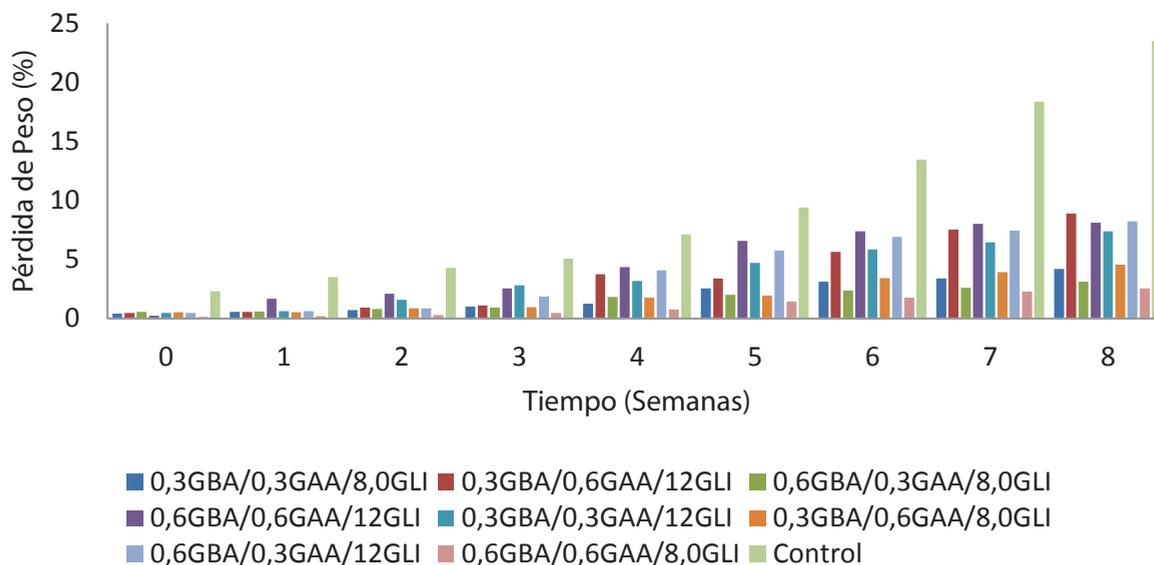


Figura 1. Pérdida de humedad de frutas de aguacate recubiertas a distintas proporciones de gelana de alto (GAA), bajo acilo (GBA) y glicerol (GLI).

El mecanismo de pérdida de humedad en frutas y en vegetales también puede ser ocasionado por la diferencia en el gradiente de presión de vapor de agua, entre la parte interna y externa del fruto, por lo cual, los recubrimientos ayudan a reducir la pérdida de humedad, debido a la formación de una película en la superficie de la fruta. El espesor de la película, así como la permeabilidad del recubrimiento son aspectos importantes, ya que afectan la velocidad de transferencia de masa y, por tanto, deberán estudiarse en un futuro.

**Contenido de sólidos solubles totales (SST).** En la figura 2, se puede observar el incremento significativo ( $P < 0,05$ ) en la concentración de SST, en las muestras con recubrimien-

to, durante las 9 semanas de almacenamiento, alcanzando concentraciones finales, entre 1,76 y 3,54°Brix; es importante aclarar que todos los frutos presentaron concentraciones iguales (1,21 – 1,22 Brix) al inicio del almacenamiento (tiempo cero). El contenido de sólidos fue en promedio mayor en aguacates sin recubrimiento (3,02° Brix), en comparación con las muestras con recubrimiento; posiblemente, este comportamiento es relacionado al proceso de maduración acelerado de las frutas control y la correspondiente pérdida de peso en la misma ( $P < 0,05$ ) (Figura 1); en este caso, los componentes volátiles y aquellos solubles en agua, pueden ser liberados al entorno, durante la deshidratación de las muestras (Saucedo *et al.* 2009).

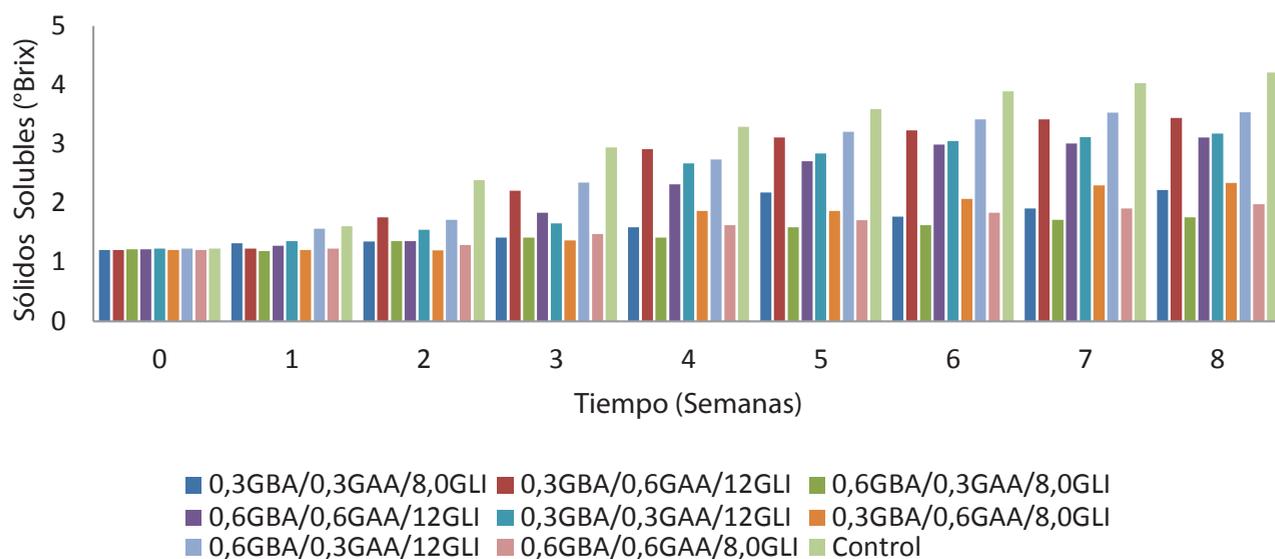


Figura 2. Contenido de sólidos solubles en frutas de aguacate recubiertas a distintas proporciones de gelana de alto (GAA), bajo acilo (GBA) y glicerol (GLI).

El comportamiento de las muestras recubiertas presenta dos tendencias con respecto al contenido de GLI: los recubrimientos con 8,0% (v/v) mostraron concentraciones de SST, de 1,47 a 1,71°Brix, mientras que los recubrimientos con una mayor concentración de plastificante (12%v/v) presentaron mayores valores, entre 2,20 y 2,59°Brix. Este comportamiento coloca en evidencia un mayor efecto de las concentraciones de plastificante en comparación a las proporciones de GAA y GBA.

**Valores de pH.** Los valores de pH se incrementaron durante el periodo de estudio, para todas las muestras de aguacate analizadas (Figura 3), debido al consumo de moléculas orgánicas en los ciclos metabólicos, que proporcionan la ener-

gía que el fruto requiere; además, algunos ácidos orgánicos participan como precursores de sustancias volátiles (Park *et al.* 2006). La muestra que presentó los valores más elevados de pH fue la de sin recubrimiento (7,38), mientras que con la muestra recubierta de 0,3GBA/0,3GAA/8,0GLI, se obtuvieron los menos valores de pH (6,40). Estos resultados son comparables con los obtenidos por Márquez *et al.* (2014), quienes reportaron incrementos en los valores de pH, desde 6,42 hasta 6,63, en muestras de aguacate (*Persea americana* Mill. cv. "Hass"), almacenados durante 21 días. Igualmente, González *et al.* (2005) encontraron un incremento de pH de muestras de papaya tratada con recubrimientos, como una consecuencia natural del proceso de maduración.

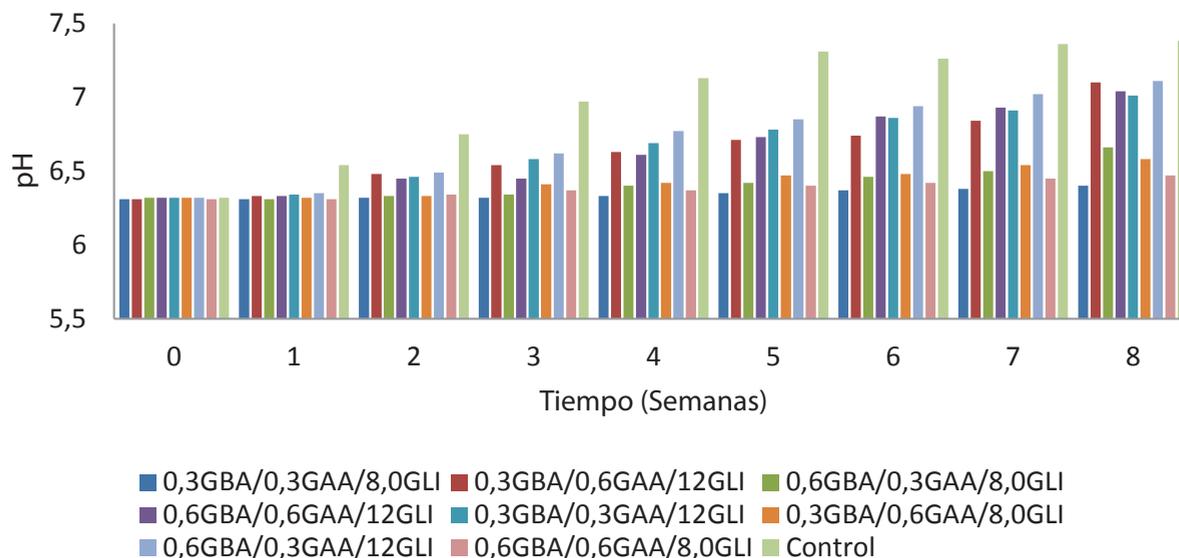


Figura 3. Valores de pH en frutas de aguacate recubiertas a distintas proporciones de gelana de alto (GAA), bajo acilo (GBA) y glicerol (GLI).

Es interesante mencionar que en algunas muestras de aguacate recubiertas con distintas proporciones de GAA y GBA, no se presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ); sin embargo, al variar las concentraciones de GLI en los recubrimientos, sí se apreciaron diferencias ( $P < 0,05$ ), es decir, los recubrimientos que contenían 8,0%(v/v) de GLI presentaron niveles de pH, entre 6,40 y 6,66, al finalizar el tiempo de almacenamiento (9 semanas), mientras que aguacates con recubrimiento conteniendo mayor concentración de GLI (12% v/v) mostraron mayores valores de pH (7,01 – 7,11); este comportamiento se aprecia claramente al observar la figura 3.

**Firmeza.** En la primera semana, se presentaron las mayores resistencias a la penetración, con valores de firmeza de 74,3 Newton (N), para los frutos sin recubrimiento y entre 73,7 y 75,8 N, para frutos con recubrimiento. Los aguacates recubiertos y sin recubrir presentaron una disminución en los valores de firmeza, hasta 7,6 N y 3,5 N, respectivamente, después de la 9 semana de almacenamiento; sin embargo, la aplicación de los recubrimientos mostró un efecto benéfico en la retención de la firmeza, ya que las frutas recubiertas lograban tener valores de resistencia, entre 20,1 y 45,7 N, después de seis semanas de almacenamiento; por el contrario, las frutas sin recubrimiento, solo lograban tener valores de resistencia de 13,6 N. En la figura 4, nuevamente se aprecia la mayor incidencia de las concentraciones de GLI en comparación a las proporciones de GBA y GAA. Este efecto

es marcado después de la segunda y hasta la séptima semana de almacenamiento; durante este tiempo, se aprecian diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), en los valores de firmeza, obtenidos en muestras de aguacate con recubrimientos conteniendo GLI, en distintas proporciones (8,0 y 12%v/v).

Jeong *et al.* (2003) encontraron que frutas sin recubrir se ablandan y maduran completamente dentro de 7 días de almacenamiento, a 20°C. En contraste, frutas recubiertas con cera y metil ciplopropeno presentan, aproximadamente, una retención de la tercera parte de la firmeza después de siete días de almacenamiento, a 20°C. La retención de la firmeza puede ser explicada por la degradación de la protopéctina insoluble a compuestos más solubles, como el ácido péctico. Durante la maduración de la fruta ocurre una despolimerización de las sustancias pécticas, con un incremento en la actividad enzimática (pectin-esterasa y poligalacturonasa) (Salunke *et al.* 1991; Maftoonazad & Ramaswamy, 2005).

**Vida útil Microbiológica.** La vida útil microbiológica de un producto alimenticio, se puede estimar obteniendo los parámetros cinéticos de crecimiento microbiano, extraídos de la fase logarítmica, previo modelado de los datos, utilizando la ecuación de Baranyi & Roberts (1994). Los valores obtenidos en la estimación de la vida útil microbiológica, se muestran en la tabla 2, en donde se puede apreciar que, el mayor tiempo de vida útil (52,2 días), se encontró en el aguacate recubierto con 0,6% (p/v), de GAA; 0,6% (p/v), de

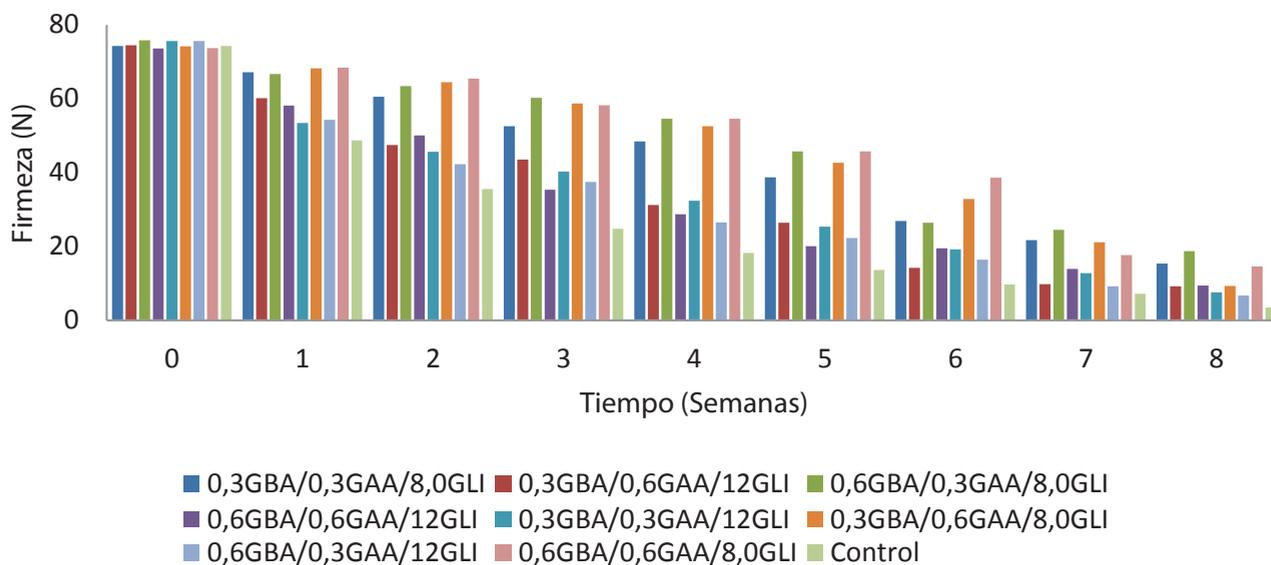


Figura 4. Firmeza de frutas de aguacate recubiertas a distintas proporciones de gelana de alto (GAA), bajo acilo (GBA) y glicerol (GLI).

GBA y 8,0% (v/v), de GLI, seguida por las combinaciones de 0,3% (p/v), de GAA; 0,6% (p/v), de GBA y 8,0%(v/v), de GLI con 49,9 días.

En términos generales, las mayores vidas útiles (46,4 – 52,2 días), se encontraron en frutos, en los cuales, el recubrimiento contenía bajas concentraciones de GLI (8,0 % v/v); por el contrario, la menor vida útil, se registró en frutos sin recubrimien-

to (control), con 35,8 días, seguida por las frutas, en las que el recubrimiento tenía 12% (v/v) de GLI, con vidas útiles, entre 38,3 y 42,7 días. Estos resultados confirman el mayor efecto que presentan las concentraciones de GLI sobre los parámetros estudiados (SST, pH, firmeza, pérdida de humedad y vida útil), en comparación a las proporciones de GBA y GAA.

Es importante destacar que el aumento en la vida útil de

Tabla 2. Valores de estimación de la vida útil de aguacate recubiertas a distintas proporciones de gelana de alto (GAA), bajo acilo (GBA) y glicerol (GLI).

GAA (% p/v)	GBA (% p/v)	GLI %(v/v)	Ecuación	R <sup>2</sup>	Días
0,30	0,30	8,0	Log <sub>10</sub> Td=-0,092x+2,273	0,976	46,4
0,30	0,60	12,0	Log <sub>10</sub> Td=-0,087x+2,210	0,965	42,7
0,60	0,30	8,0	Log <sub>10</sub> Td=-0,0594x+2,152	0,945	48,5
0,60	0,60	12,0	Log <sub>10</sub> Td=-0,0842x+2,213	0,999	43,2
0,30	0,30	12,0	Log <sub>10</sub> Td=-0,069x+2,098	0,956	38,3
0,30	0,60	8,0	Log <sub>10</sub> Td=-0,0681x+2,183	0,988	49,9
0,60	0,30	12,0	Log <sub>10</sub> Td=-0,0820x+2,174	0,997	40,6
0,60	0,60	8,0	Log <sub>10</sub> Td=-0,0712x+2,241	0,972	52,2
Control			Log <sub>10</sub> Td=-0,0538x+2,008	0,999	35,8

los aguacates puede ser atribuido al efecto antimicrobiano ejercido por el extracto acuoso de toronjil, que limita el crecimiento de microorganismos en la superficie de la matriz alimentaria; este efecto, se debe a los compuestos presentes en las hojas de toronjil (Montes, 2009; Acevedo *et al.* 2013).

Compuestos extraídos de materiales vegetales inhiben el crecimiento de microorganismos patógenos y la germinación de esporas, porque afectan los sitios activos de las enzimas y el metabolismo celular (Arrebola *et al.* 2010). La presencia de anillos fenólicos y de grupos hidroxilos de los fenoles presentan actividad antimicrobiana (Bagamboula *et al.* 2004).

Los recubrimientos, dependiendo del principio activo que contengan, pueden inhibir la actividad enzimática de las poligalacturonasas, pectatoliasas y celulasas (Atkinson *et al.* 2012), las cuales, están involucradas en el proceso de maduración. Ghaouth *et al.* (1991) reportaron que el uso de recubrimientos comestibles ocasiona leves cambios en la apariencia de las manzanas; estos autores argumentan que dichos cambios, se deben a una modificación en la atmósfera creada en el fruto, con altos niveles de CO<sub>2</sub> y bajas concentraciones de O<sub>2</sub>, conllevando a una disminución del proceso de maduración.

La presencia de grupos acilo y el consecuente impedimento estérico que ocasionan en la agregación de las cadenas poliméricas de goma gelana, no incide en ninguna de las características (SST, pH, firmeza, pérdida de humedad y vida útil), evaluadas en el presente estudio; por el contrario, las concentraciones de GLI, sí ocasionan modificaciones en las mencionadas características. Este comportamiento puede ser generado por la disminución de las fuerzas intermoleculares en las cadenas del polímero, que causa una mayor movilidad molecular, incrementando la permeabilidad al agua. Igualmente, los plastificantes incrementan el volumen libre, por ende, existe más espacio para la migración de las moléculas de agua. Los plastificantes hidrofílicos tipo GLI son compatibles con los materiales poliméricos que originan las biopelículas, aumentando la capacidad de sorción de moléculas polares, como el agua, otra razón para incrementar los valores de permeabilidad. Además, los grupos polares (-OH), junto a las cadenas de plastificante, se cree que desarrollan enlaces polímero-plastificante, reemplazando las interacciones polímero-polímero en las películas de poliméricas (Yang & Paulson, 2000).

La aplicación de recubrimientos comestibles de goma gelana y extracto de toronjil, conteniendo bajas concentraciones de glicerol disminuyen la pérdida de firmeza, de humedad, de sólidos solubles y evitan grandes modificaciones del pH, manteniendo la calidad del aguacate, al extender la vida útil, comparada con las frutas control. Estos resultados sugieren la posibilidad de utilizar recubrimientos indistintos de goma

gelana de alto y bajo acilo, a bajas concentraciones de glicerol, como una alternativa para ser empleadas en la conservación de frutas.

**Conflictos de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Esta investigación fue llevada a cabo en la Universidad de Cartagena.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ACEVEDO, D.; NAVARRO, M.; MONTERO, M. 2013. Composición Química del Aceite Esencial de las Hojas de Toronjil (*Melissa officinalis* L.). Inf. Tecnol. 24(4):49-54.
2. AGUILÓ, A.; OMS, O.; MARTÍN, B.; SOLIVA, F. 2014. Impact of pulsed light treatments on quality characteristics and oxidative stability of fresh-cut avocado. LWT - Food Sci. Technol. 59:320-326.
3. ARREBOLA, E.; SIVAKUMAR, D.; BACIGALUPO, R.; KORTSEN, L. 2010. Combined application of antagonist *Bacillus amyloliquefaciens* and essential oils for the control of peach postharvest diseases. Crop Prot. 29:369-377.
4. ATKINSON, R.; SUTHERLAND, P.; JOHNSTON, S.; GUNASEELAN, K.; HALLETT, I.; MITRA, D.; BRUMMELL, D.; SCHRODER, R.; JOHNSTON, J.; SCHAFFER, R. 2012. Down-regulation of polygalacturonase alters firmness, tensile strength and water loss in apple (*Malus domestica*) fruit. BMC Plant Biol. 12:129.
5. AWAD, A.; FINK, C. 2000. Phytosterols as anticancer dietary components: evidence and mechanism of action. J. Nutr. 130(9):2127-2130.
6. BAGAMBOULA, C.; UYTENDAELE, M.; DEBEVERE, J. 2004. Inhibitory effect of thyme and basil essential oil, carvacol, thymol, estragol, linalool and p-cymene towards *Shigella sonnei* and *S. flexneri*. Food Microbiol. 21:33-42.
7. BARANYI, J.; ROBERTS, T. 1994. A dynamic approach to predicting bacterial growth in food. International J. Food Microbiol. 23(3-4):277-294.
8. BILL, M.; SIVAKUMAR, D.; KORSTEN, L.; THOMPSON, K. 2014. The efficacy of combined application of edible coatings and thyme oil in inducing resistanc-

- ce components in avocado (*Persea americana* Mill.) against anthracnose during post-harvest storage. *Crop Prot.* 64:159-167.
9. BOSSE, R.; BOWER, J.; BERTLING, I. 2013. Systemic resistance inducers applied preharvest for *Colletotrichum gloeosporioides* control in avocados. *Acta Hort.* 1007:153-160.
  10. BULDO, P.; BENFELDT, C.; CAREY, J.; FOLKENBERG, M.; JENSEN, B.; SIEUWERTS, S.; VLACHVEI, K.; IPSEN, R. 2016. Interactions of milk proteins with low and high acyl gellan: Effect on microstructure and textural properties of acidified milk. *Food Hydrocol.* 60: 225-231.
  11. DUNLAP, C.; LUESCHOWA, S.; CARRILLO, D.; ROONEY, A. 2016. Screening of bacteria for antagonistic activity against phytopathogens of avocados. *Plant Gene.* En prensa: <http://dx.doi.org/10.1016/j.plgene.2016.11.004>
  12. ELEZ, M.P.; SOLIVA, R.C.; GORINSTEIN, S.; MARTÍN-BELLOSO, O. 2005. Natural antioxidants preserve the lipid oxidative stability of minimally processed avocado puree. *J. Food Sci.* 70(5):S325-S329.
  13. GHAOUTH, E.; ARUL, J.; PONNAMPALAM, R. 1991. Use of chitosan coating to reduce water loss and maintain quality of cucumber and bell pepper fruits. *J. Food Proc. Pres.* 15:359-368.
  14. GONZÁLEZ, G.; MONROY, I.; GOYCOOLEA, V.; DÍAZ, M.; AYALA, J. 2005. Cubiertas comestibles de quitosano. Una alternativa para prevenir el deterioro microbiano y conservar la calidad de papaya fresca cortada. In *Proceedings.* (p.121-133). La Habana, Cuba.
  15. GONZÁLEZ-AGUILAR, G.A.; MONROY-GARCÍA, I.N.; GOYCOOLEA-VALENCIA, F.; DÍAZ-CINCO, M.E.; AYALA ZAVALA, J.F. 2005. Cubiertas comestibles de quitosano. Una alternativa para prevenir el deterioro microbiano y conservar la calidad de papaya fresca cortada. In: *Proceedings of the Simposium Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas Vegetales frescos cortados.* La Habana, Cuba. p.121-133.
  16. GONZÁLEZ, R.; CASTRO, B.; CARO, Y. 2015. Obtención de biopelículas binarias activas y su efecto en la vida útil microbiológica del camarón blanco (*Penaeus vannamei*). *Inf. Tecnol.* 26(5):3-10.
  17. GONZÁLEZ R.; PATERNINA, L.; CARRILLO, A. 2016. Biopelículas terciarias: fuerza de ruptura y efecto sobre la vida útil de cortes de tilapia negra (*Oreochromis niloticus*). *Inf. Tecnol.* 27(1):33-40.
  18. HERRERA, F.; GARCÍA, R. 2006. Evaluación in vitro del efecto bactericida de extracto acuso de laurel, clavo, canela y tomillo sobre cinco cepas bacterianas patógenas de origen alimentario. *Rev. Bistua.* 4(2):13-19.
  19. JEONG, J.; HÜBER, D.; SARGENT, S. 2003. Delay of avocado (*Persea americana*) fruit by 1-methylcyclopropene and wax treatments. *Post. Biol. Technol.* 28:247-257.
  20. MA, L.; ZHANG, M.; BHANDARI, B.; GAO, Z. 2017. Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables. *Trends Food Sci & Technol.* En prensa: doi: 10.1016/j.tifs.2017.03.005.
  21. MAFTOONAZAD, N.; RAMASWAMY, H. 2005. Postharvest shelf-life extension of avocados using methyl cellulose-based coating. *LWT - Food Sci. Technol.* 38:617-624.
  22. MÁRQUEZ, C.; YEPES, D.; SÁNCHEZ, L.; OSORIO, J. 2014. Cambios físico-químicos del aguacate (*Persea americana* Mill. cv. "Hass") en poscosecha para dos municipios de Antioquia. *Temas Agrarios.* 19(1):32-47.
  23. MONTES, R.T. 2009. Diversidad de compuestos químicos producidos por las plantas contra hongos fitopatógenos: revisión. *Rev. Mex. Micol.* 29:74-82.
  24. PARK, Y.; JUNG, S; GORINSTEIN, S. 2006. Ethylene treatment of 'Hayward' kiwifruits (*Actinidia deliciosa*) during ripening and its influence on ethylene biosynthesis and antioxidant activity. *Scientia Horticulturae.* 108: 22-28.
  25. PERSIN, Z.; STANA, K.; FOSTER, T.; VAN DAM, J.; BOERIU, C.; NAVARD, P. 2011. Challenges and opportunities in polysaccharides research and technology: The EPNOE views for the next decade in the areas of materials, food and health care. *Carb. Polym.* 84(1):22-32.
  26. PLAZA, L.; SÁNCHEZ, M.; DE PASCUAL, T.; DE ANCOS, B.; CANO, M. 2009. Fatty acids, sterols, and antioxidant activity in minimally processed avocados during refrigerated storage. *J. Agricul. Food Chem.* 57(8):3204-3209.

27. PRANOTO, Y.; RAKSHIT, S.; SALOKHE, V. 2005. Enhancing antimicrobial activity of chitosan films by incorporating garlic oil, potassium sorbate and nisin. *LWT- Food Sci. Technol.* 38:859-865.
28. RODRÍGUEZ, R.; SCHOBITZ, R.E. 2009 Película antimicrobiana a base de proteína de suero lácteo, incorporada con bacterias lácticas como controlador de *Listeria monocytogenes*, aplicada sobre salmón ahumado. *Biotecnol. Sec. Agrop. Agroind.* 7(2):49-54.
29. SALUNKE, D.; BOUN, H.; REDDY, N. 1991. Storage processing and nutritional quality of fruits and vegetables. Boston, MA. USA, CRC Press Inc. p.156-161.
30. SAUCEDO, S.; ROJAS, R.; AGUILERA, A.; SAENZ, G.; DE LA GARZA, E.; JASSO, D.; AGUILAR, C. 2009. Edible film based on candelilla wax to improve the shelf life and quality of avocado. *Food Res. Int.* 42: 511-515.
31. SHAKERI, A.; SAHEBKAR, A.; JAVADI, B. 2016. Melissa officinalis L. – A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *J. Ethnoph.* 188:204-228.
32. SEYDIM, A.; SARIKUS, G. 2006. Antimicrobial activity of whey protein based edible films incorporated with oregano, rosemary and garlic essential oils. *Food Res. Int.* 39:639-644.
33. YANG, L.; PAULSON, A. 2000. Mechanical and water vapor barrier properties of edible gellan films. *Food Res. Int.* 33(7):563-570.
34. YABRUDY, J. 2012. El Aguacate en Colombia: Estudio de caso de los Montes de María, en el Caribe colombiano. Banco de la República – Cartagena. 171:6-15.

Recibido: Diciembre 15 de 2016

Aceptado: Abril 24 de 2017

#### Cómo citar:

González Cuello, R.; Pérez Mendoza, J.; Gelvez Ordóñez, V. 2017. Incremento en la vida útil post cosecha del aguacate utilizando recubrimientos a base de goma gelana. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(1): 101-110.

# EFFECTO DE LA LIOFILIZACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DEL AJÍ ROCOTO (*Capsicum pubescens*)

## EFFECT OF THE FREEZE - DRYING ON THE FUNCTIONAL PROPERTIES ROCOTO CHILI PEPPER (*Capsicum pubescens*)

Birina Luz Caballero Gutiérrez<sup>1</sup>, Carlos Julio Márquez Cardozo<sup>2</sup>, Benjamín Alberto Rojano<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ingeniera Agroindustrial, Estudiante de Maestría en Ingeniería Agroindustrial. Universidad Nacional de Colombia, Calle 59A No. 63-20, Medellín, Colombia, e-mail: blcaballerog@unal.edu.co; <sup>2</sup>Ingeniero Agrícola, Ph.D. en Ciencias Agrarias, Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Calle 59A No 63-20, Medellín, Colombia, e-mail: cjmarque@unal.edu.co; <sup>3</sup>Químico, Ph.D. en Ciencias Químicas, Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Calle 59A No 63-20, Medellín, Colombia, e-mail: brojano@unal.edu.co

Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient. 20(1): 111-119, Enero Junio, 2017

### RESUMEN

El ají rocoto (*Capsicum pubescens*) es un fruto perecedero, por lo cual, se hace necesario explorar alternativas agroindustriales, que permitan conservar sus propiedades funcionales. Entre los desarrollos tecnológicos estudiados en la transformación y la conservación de alimentos, se encuentra la liofilización. En esta investigación, se liofilizó ají rocoto, colectado en San Cristóbal-Medellín, Antioquia (Colombia) y se evaluó su efecto sobre las propiedades funcionales, como la capacidad antioxidante, por el método Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP), fenoles totales, carotenoides, contenido de ácido ascórbico y capsaicina, tanto en el producto fresco como en los tratamientos liofilizados. Se realizó un arreglo de parcelas divididas, con el factor de la programación de la velocidad de calentamiento, entre 0,02 y 0,05°C/min, durante la sublimación, asignado a la parcela principal y al factor categórico de semilla en la subparcela, con una aleatorización completamente al azar (DCA), con tres repeticiones. Se registró, que el ají rocoto fresco con semilla incluida, la placenta valores de 1,18mg, equivalentes de ácido ascórbico/g base seca (b.s.), como capacidad antioxidante, por FRAP; 5,37mg, equivalentes de ácido gálico/g b.s., para el contenido de fenoles totales; 4,74mg/g, b.s. de carotenoides; 1,88mg/g b.s., de ácido ascórbico y 1,57mg/g b.s., de capsaicina. Se concluyó que para los tratamientos liofilizados con y sin semillas, se incrementó la capacidad antioxidante y fenoles totales con respecto al producto en fresco. Se evidenció diferencia estadística en las programaciones de calentamiento durante la sublimación, afectando el contenido de capsaicina, en los tratamientos con y sin semillas.

Palabras clave: Antioxidantes, deshidratación, capsaicina, carotenoides, fenoles.

### SUMMARY

The chili pepper (*Capsicum pubescens*) is a perishable fruit whereby it is necessary to explore agroindustrial alternatives, that preserves its functional properties; within the technological developments studied in food processing and preservation is freeze-drying. In this research, the rocoto chili pepper harvested in rural area of San Cristobal-Medellin, Antioquia (Colombia), was freeze-drying and it was evaluated the effect on the functional properties such as antioxidant capacity by the Ferric Reducing Antioxidant Power method (FRAP), total phenols, carotenoids, ascorbic acid and capsaicin, both in the fresh product and in freeze-drying treatments. Was realized a fix split plots, with the factor of programming the heating rate, between 0.02 and 0.05°C/min during sublimation assigned to the principal plot and the categorical factor seeds in the subplot, was performed with a Randomized Block Design (RBD) with three replications. It was obtained in fresh chilli with seed including placenta values of 1.18mg of eq. ascorbic acid/g dried basis (d.b.) as antioxidant capacity by FRAP; 5.37mg of eq. gallic acid/g d.b. for total phenols content; 4.74mg/g d.b. of carotenoids; 1.88mg/g d.b. of ascorbic acid and 1.57mg/g d.b. of capsaicin. It was concluded that for the freeze-drying treatments, the antioxidant capacity and total phenols were increased, with respect to the fresh product. It evidenced a statistical difference in the heating schedules during sublimation affecting the capsaicin content in seed and seedless treatments.

Key words: Antioxidant, drying, capsaicin, carotenoids, phenols.

## INTRODUCCIÓN

El ají es una solanácea del género *Capsicum*, con centro de diversidad genética en Centro y Suramérica, extendido luego hacia toda América y Europa. Según Halikowski (2015), la pungencia es uno de los atributos más importantes en la calidad organoléptica del ají, lo cual, es atribuido al contenido de capsaicinoides, que varían entre 0,1 y 1%, de acuerdo a la especie; la capsaicina (trans 8 metil-N-vanilil-6-nonenamida), se encuentra entre el 50 y 70% e dihidrocapsaicina (8 metil-N-vanililnonanamida), del 20 y 25% de los capsaicinoides totales (Topuz *et al.* 2011). Algunas investigaciones han reportado que la capsaicina es una sustancia efectiva como tratamiento antitumoral, con propiedades antioxidantes (Bort *et al.* 2014). El grado de pungencia generado por los capsaicinoides, se expresa por la escala Scoville Heat Units (SHU), como prueba organoléptica, pero, actualmente, se utilizan métodos cuantitativos, como los de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), donde 1mg/100g de producto fresco equivale a 161 unidades SHU, para capsaicina o dihidrocapsaicina y, a 93 unidades SHU, para nordihydrocapsaicin (Meckelmann *et al.* 2015).

En términos de contribución nutricional, el ají picante contiene ácido ascórbico, que puede ser mayor a otros frutos (Cruz *et al.* 2007), al igual que de carotenoides, moléculas precursoras de la vitamina A (Rodríguez *et al.* 2010) capsanthin was the main carotenoid in the 3 species (25% to 50% contribution to carotenoid fraction. Su consumo promueve diversos beneficios, estimula la liberación de endorfinas, que permite aliviar los dolores reumáticos, mejora la circulación y ayuda a la digestión al estimular la saliva y el jugo gástrico (Sharma *et al.* 2013) transient receptor potential vanilloid subfamily member 1 (TRPV1) y posee componentes antioxidantes, de acuerdo a lo encontrado por Loizzo *et al.* (2015). Identificándose como un fruto con propiedades funcionales, puesto que posee componentes fisiológicamente activos, que propician beneficios en la salud (Reis *et al.* 2013; Simonovska *et al.* 2014).

La liofilización es una tecnología recomendada en la deshidratación de alimentos, que contienen componentes funcionales sensibles al calor, tales como tocoferoles, ácido ascórbico, carotenoides y fenoles (Shofian *et al.* 2011). El proceso comienza con la congelación del alimento, a una velocidad lenta, donde se promueve la formación de cristales grandes, facilitando la eliminación de la humedad, pero afecta la estructura de la membrana celular del vegetal; mientras una velocidad rápida, minimiza el daño en la estructura, por la formación de cristales pequeños, según lo reportado por Orrego (2008), de igual manera, cuando se congela por métodos criogénicos, pero se requiere más tiempo en el secado (Silva *et al.* 2016). Después, sigue el

calentamiento, para retirar el agua por sublimación, en dos fases de secado; esto ocurre cuando la presión de vapor y la temperatura de la superficie del hielo están por debajo del punto triple, a 611,73Pa y a 273,16°K; aproximadamente, el 90% del agua se elimina en la primera fase (Serna *et al.* 2015). Las velocidades y los tiempos en el secado puede influir en las características físico-químicas y funcionales del producto final, según lo reportado por Silva *et al.* (2016) y estas condiciones de operatividad en la deshidratación de frutas tiene un impacto significativo en la estabilidad de los compuestos antioxidantes y fenólicos (M'hiri *et al.* 2017).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la liofilización sobre las propiedades funcionales del ají rocoto (*Capsicum pubescens*) con y sin semillas, variando la velocidad de calentamiento durante la sublimación, con el fin de evitar la pérdida de la capacidad antioxidante, fenoles totales, carotenoides, contenido de ácido ascórbico y capsaicina.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Material vegetal:** Frutos de ají rocoto (*Capsicum pubescens*), colectados con igual índice de madurez de  $11,12 \pm 2,98$ , en la zona rural del corregimiento de San Cristóbal, Medellín – Antioquia (Colombia), con coordenadas geográficas de 75,63 Longitud (O) y 6,28 Altitud (N), a una altitud entre 1.800 y 2.200msnm, con temperatura entre 8 y 21°C, precipitación promedio anual de 1.668mm y humedad relativa (HR) de 79%. Los frutos fueron transportados hasta la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín y almacenados en el Laboratorio de Frutas y Hortalizas, a 5°C y 90% de HR; después, fueron lavados y desinfectados con hipoclorito de sodio a 80ppm; se trabajó con un total de 30kg de material vegetal.

**Equipo de liofilización:** Se utilizó un equipo Free Zone Stoppering Tray Dryer, Labconco, modelo 7948040, de 12L de capacidad volumétrica y tres bandejas, equipado con unidad de congelación y secado, con una bomba rotatoria de vacío de 195L/min y una presión de vacío de 14Pa; inicialmente, el material vegetal fue enfriado desde 25 a -40°C, con una velocidad de congelación de 0,10°C/min, para un tiempo total de 10,83h.

**Preparación de los tratamientos:** Para determinar el efecto de la liofilización sobre las propiedades funcionales del ají rocoto, se estudió el factor velocidad de calentamiento, durante la sublimación de las placas correspondiente a uno, tres y cinco segmentos de calentamiento, con una tasa de aumento de temperatura, entre 0,02 y 0,05°C/min y un tiempo de sostenimiento entre cada uno de los segmentos, de 1,2h y con una temperatura final de 30°C, por 3h.

El otro factor de estudio fue el efecto de la semilla en los tratamientos con dos niveles: presencia de semillas (C) y ausencia de semillas (S). A los frutos, se les retiraron los pedúnculos y fueron troceado en tamaño de partícula de  $10 \pm 2$  mm de longitud,  $10 \pm 2$  mm de ancho y con  $5 \pm 1$  mm de espesor, incluyendo la epidermis; los tratamientos con semilla in-

cluían la placenta del fruto, con un peso total de  $425 \pm 0,5$  g, por unidad experimental (UE); posteriormente, se dispusieron en bandejas de acero inoxidable y, a cada una, se les midió la temperatura, por termopar tipo K. En la tabla 1, se presenta el resumen de los tratamientos.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos del ají rocoto (*Capsicum pubescens*) liofilizado.

Parcela Principal	Subparcela	Velocidad de calentamiento (°C/min)	Tratamientos	Tiempo (h)*
Programación 1 (P <sub>1</sub> )	Con semilla (C)	0,05	P <sub>1</sub> C	26,3
Programación 1 (P <sub>1</sub> )	Sin Semilla (S)	0,05	P <sub>1</sub> S	26,3
Programación 2 (P <sub>2</sub> )	Con semilla (C)	0,04	P <sub>2</sub> C	34,6
Programación 2 (P <sub>2</sub> )	Sin Semilla (S)	0,04	P <sub>2</sub> S	34,6
Programación 3 (P <sub>3</sub> )	Con semilla (C)	0,02	P <sub>3</sub> C	45,3
Programación 3 (P <sub>3</sub> )	Sin Semilla (S)	0,02	P <sub>3</sub> S	45,3

\*Tiempo requerido para alcanzar un porcentaje de humedad  $8,16 \pm 1,62$  (b.s.).

Después que las muestras se liofilizaron fueron sometidas a molienda, en un equipo Fritsch Germany, con un tamaño de malla de 1mm, a 8.000rpm, durante 5min, obteniendo un tamaño de partícula, aproximado, de  $50 \mu\text{m}$  y fueron almacenadas en bolsas de polietileno de baja densidad, selladas, rotuladas y almacenadas en frascos de vidrio ámbar, sellados herméticamente y guardados a  $25^\circ\text{C}$ , para su posterior uso en las diferentes pruebas de laboratorio.

Preparación de las muestras para la determinación de la capacidad antioxidante y fenoles totales: Para los tratamientos liofilizados, se pesaron 0,3g de ají rocoto y se adicionaron 10mL de solvente 60% de etanol (Merck), durante 1min se agitó, en un vortex mixer Fisher Scientific y se centrifugó en un equipo Hermle, modelo Z 206A, a 5.000rpm, durante 5min, a  $23^\circ\text{C}$ . El sobrenadante fue recuperado y almacenado a  $-25^\circ\text{C}$ , para su posterior análisis de capacidad antioxidante, por el método Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) y contenido de fenoles totales.

Respecto al producto en fresco, se prepararon 2,9g, conservando la misma proporción en materia seca y participación de semilla que en los tratamientos liofilizados; fueron homogenizados, por 10s, en un procesador Ultrax-Turrax, de acuerdo con la metodología propuesta por (Wangcharoen & Morasuk (2009).

Capacidad antioxidante por el método FRAP: Se realizó según la metodología modificada de (Zapata *et al.* (2014). El reactivo FRAP Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EE.UU. contie-

ne 2,5mL de 2,4,6 - tripyridil -s- triazina (TPTZ) de concentración de 10mM en HCl 40Mm; 2,5mL de  $\text{FeCl}_3$  20mM y 25mL de tampón de acetato a pH 3,6 (0,3M). Se utilizaron 900 $\mu\text{L}$  de esta solución, 50 $\mu\text{L}$  de muestra y 50 $\mu\text{L}$  de agua destilada, a los 30 min se midió la absorbancia por triplicado, a una longitud de onda de 593nm, con respecto a un blanco. Las actividades de las muestras, se expresaron como AEAC Capacidad antioxidante en equivalentes de ácido ascórbico y se expresaron en mg de ácido ascórbico/g base seca.

Fenoles totales: La determinación, se realizó por el método colorimétrico modificado por López *et al.* (2016); 50 $\mu\text{L}$  de muestra fueron mezclados con 125 $\mu\text{L}$  del reactivo Folin-ciocalteu Merck Millipore, Darmstadt y 400 $\mu\text{L}$  de carbonato de sodio de 7,1% p/v y, la solución restante, se llevó a un volumen final de 1000 $\mu\text{L}$ . La mezcla se agitó y se almacenó a temperatura ambiente, durante 30min, en oscuridad. La absorbancia, se midió por triplicado a 760nm frente a un blanco, se usó la curva de referencia de las soluciones acuosas de ácido gálico, los resultados fueron expresados como mg de equivalente ácido gálico/g base seca.

Carotenoides: Se prepararon 15mg de ají rocoto liofilizado, se le adicionaron 5mL de acetona (Merck), durante 2min se agitó en un vortex mixer Fisher Scientific, se dejó reposar por 30min, a  $4^\circ\text{C}$ , se centrifugó en un equipo HERMLE, modelo Z-206A, a 4.000rpm, durante 10min, a  $23^\circ\text{C}$ . Para el ají fresco, se tomaron 1,4g de vegetal, conservando la misma proporción de materia seca y participación de semillas, que en los tratamientos liofilizados. El sobrenadante, se recuperó

y se llevó a una celda fotométrica de vidrio Fisher Scientific, usando acetona como blanco. Se determinó la absorbancia de la solución a 449nm y se utilizó como estándar  $\beta$ -caroteno Sigma-Aldrich St. Louis, MO, EE.UU, de acuerdo a la metodología de Biswas *et al.* (2011).

**Ácido ascórbico - vitamina C:** Para la extracción del producto liofilizado, se pesó 1g y se le adicionaron 10mL de la solución de ácido metafosfórico; luego, se llevó a agitación en un vortex Boeco-Germany V1 plus, durante 1min y a un baño ultrasónico Bronson, modelo 3510, por 5min; se centrifugó en un equipo HETTICH, modelo Universal 320R, a 6.000rpm, durante 10min, a 25°C. Para el producto en fresco, se pesaron 4g de ají en una balanza analítica OHAUS, modelo PA214 y se le adicionó 30mL de ácido metafosfórico (HPO<sub>3</sub>) Merck, Germany, con una pureza de 40 y 4% p/v. La mezcla fue homogenizada y adicionada a tubos falcón de 50mL y sometidos a baño de ultrasonido, por 5min; se centrifugó a 3.000rpm, durante 10min, a 25°C. Finalmente, el extracto obtenido, se filtró con membrana de nitrocelulosa Merck, Millipore Darmstadt, Alemania de 0,45 $\mu$ m y se recolectaron 2mL en un vial ámbar, para inyectar en el HPLC, según la metodología de Ruiz *et al.* (2010).

Las muestras, se analizaron en un cromatógrafo de líquidos de alta resolución HPLC - UFLC-Shimadzu, con un detector de diodos (PDA), columna en fase reserva C18(2), Luna 5 $\mu$ m C18(2) 100A Phenomenex, tamaño de partícula de 4,6mm x 250mm, la fase móvil fue de 0,2M KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, ajustado su valor de pH final de 3,01 con ácido o-fosfórico al 85%, con una velocidad de flujo 1,0mL/min y volumen de inyección de 5 $\mu$ L. Para la determinación y la cuantificación, se construyó la curva de calibración, con un estándar de ácido ascórbico Supelco, Lote: LC0592V, USA, con el 99% de pureza. La lectura, se realizó a  $\lambda$ =244 nm y un tiempo de retención de 2,14 $\pm$ 0,01 min.

**Capsaicina:** Para la extracción del producto liofilizado, se pesaron 0,5g en tubos de ensayo, recubiertos de papel aluminio, se le adicionaron 5mL de acetonitrilo (CH<sub>3</sub>CN) J.T. Baker, pureza de 99,9% grado HPLC y se agitaron en vortex Velp Scientific, modelo classic advanced, por 1min; seguidamente, se calentaron en baño maría Memmert, modelo WNB 14 a 60°C y con agitación constante, por 30min, hasta completar un total de 5h. Finalmente, se llevaron los tubos a refrigeración, para su posterior análisis. El sobrenadante obtenido, se filtró con membrana de nylon Merck Millipore de 0,45 $\mu$ m y se recogieron 2mL, en un vial ámbar, para inyectar en el cromatógrafo, de acuerdo con la metodología de (Cruz *et al.* (2007).

Para la extracción del producto en fresco, se pesaron 4g de muestra, previamente picado, macerado y homogenizado, en un equipo GARRITY, Modelo G1138426, en tubos falcon de

50mL, recubiertos en papel aluminio, para protegerlos de la acción de la luz. Se adicionaron 10mL de acetona (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CO J.T. Baker, pureza 99,93%; seguidamente, se agitó en vortex, por 1min. Se mantuvieron las muestras a temperatura de 25°C, por tres días, para su posterior análisis. El sobrenadante fue separado con una jeringa y, finalmente, se filtró con membrana de nylon Merck Millipore de 0,45 $\mu$ m y se recuperaron 2mL en un vial ámbar, para inyectar, inmediatamente al HPLC, de acuerdo con metodología de (Kollmannsberger *et al.* (2011).

Las muestras, se analizaron en un cromatógrafo de líquido de alta resolución (HPLC) UFLC-Shimadzu, con un detector de diodos - PDA, columna en fase reserva, luna 5 $\mu$ m C18(2) 100A Phenomenex, tamaño de partícula de 4,6mm x 250mm, la fase móvil fue Acetonitrilo:Agua 45:55, con una velocidad de flujo 1,0mL/min y volumen de inyección de 5 $\mu$ L. La corrida, se realizó a 28 $\pm$ 0,5°C.

Para la cuantificación, se construyó una curva de calibración de un estándar de capsaicina Sigma-Aldrich, Lote: BCBP7674V, USA del 99,4% de pureza y la lectura, se realizó a  $\lambda$ =280nm y un tiempo de retención de 21,52 $\pm$ 0,09min. Se elaboró una curva de calibración de puntos independientes, a partir de una solución madre de 1mg/mL, disuelto en acetonitrilo grado HPLC. Las soluciones fueron empacadas en frascos ámbar y almacenadas a temperatura de refrigeración (4°C).

**Diseño experimental y análisis de los datos:** Se estructuró un arreglo de parcelas divididas, distribuidas completamente al azar (DCA), con tres repeticiones para el factor de la programación de la velocidad, asignado a la parcela principal (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> y P<sub>3</sub>) y cuatro para el factor categórico en la subparcela, en los niveles con semilla (C) y sin semilla (S), para un total de 24 (IE). Los resultados fueron expresados en promedio  $\pm$  la desviación estándar (DE). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA), con el fin de determinar diferencias estadísticas entre los tratamientos realizados.

En el caso de encontrar diferencias entre los tratamientos, se procedió a realizar una prueba de comparación de medias de diferencia mínima significativa (DMS), con un nivel de significancia  $\alpha$ <0,05. Para las variables respuesta de los tratamientos liofilizados, se realizaron comparaciones de medias de dos poblaciones normales, con varianza heterogénea, con el producto en fresco con semilla (FC) y fresco sin semilla (FS), para n=4. Para todo el análisis estadístico, se empleó el programa estadístico R.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Caracterización funcional del fruto fresco con semillas y sin semillas:** En la tabla 2, se presentan las concentraciones

obtenidas de las propiedades evaluadas en el ají rocoto (*C. pubescens*) en fresco con semillas (FC) y sin semillas (FS). Se encontró en los tratamientos FC y FS, que la capacidad antioxidante, por el método FRAP y en fenoles totales, no se presentó una diferencia estadística ( $\alpha > 0,05$ ), aunque se evidenció poca contribución. Gurnani *et al.* (2016) indican que las semillas del ají (*C. frutescens* L.) proporcionan fracciones contenidos de antioxidantes. Según lo reportado por Wangcharoen & Morasuk (2009), para el ají (*C. frutescens* L.), la capacidad antioxidante, por el método FRAP, fue de 7,11 mg, equivalentes de ácido ascórbico/g base seca, su-

perior a la encontrada en la presente investigación, para (*C. pubescens*). En fenoles totales, según Ornelas *et al.* (2010) y Vera *et al.* (2011) Bell, Chilaca, Caribe, Jalapeño, Serrano, Habanero, and Manzano peppers were evaluated for tristimulus colour, capsaicinoids (capsaicin, dihydrocapsaicin, nordihydrocapsaicin) encontraron en el ají rocoto (*C. pubescens*) concentraciones entre 10,6 y 12,6mg, equivalentes de ácido gálico/g base seca, mientras que Loizzo *et al.* (2015) reportan valores de 5,81mg/g base seca, para el ají (*C. annum*), lo cual, es similar con lo encontrado.

Tabla 2. Capacidad antioxidante por FRAP, fenoles totales, carotenoides, vitamina C y capsaicina del ají rocoto (*Capsicum pubescens*), fresco con y sin semilla.

Tratamiento	Capacidad antioxidante (mg de ácido ascórbico/g b.s.)	Fenoles (mg de ácido gálico/g b.s.)	Carotenoides (mg de $\beta$ -caroteno/g b.s.)	Ácido ascórbico (mg/g b.s.)	Capsaicina (mg/g b.s.)
Fresco con Semilla (FC)	1,80 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>	5,37 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>	4,74 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>	1,18 $\pm$ 0,16 <sup>a</sup>	1,57 $\pm$ 0,09 <sup>a</sup>
Fresco sin Semilla (FS)	1,12 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>	5,13 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>	2,79 $\pm$ 0,08 <sup>b</sup>	1,44 $\pm$ 0,13 <sup>a</sup>	0,20 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup>

Los valores representan la media de  $n=4 \pm$  la desviación estándar, (DMS,  $\alpha < 0,05$ ).

En el contenido de carotenoides, se evidenció diferencia significativa ( $\alpha < 0,05$ ) entre los tratamientos FC y FS, con valores superiores en FC, muy posible a la presencia de estos compuestos en la semilla y en la placenta, de acuerdo a lo hallado por Simonovska *et al.* (2014), cuya contribución de contenido de carotenoides en la composición *C. annum* L. en el pericarpio es de 0,42% y en la placenta, de 0,32%. En Oxaca, México, se reportaron valores de carotenoides, en la especie ají (*C. pubescens*), de 0,32mg/g base seca (Vera *et al.* 2011), mientras que Rodríguez *et al.* (2010) reportaron concentraciones de 8,87 y 22,85mg/g base seca, en Bolivia.

En el contenido de ácido ascórbico no se evidenció diferencia significativa ( $\alpha > 0,05$ ) entre FC y FS; algunos estudios reportan concentraciones de 15,2 a 38,1mg/g base seca, en regiones de Puebla, México (Cruz *et al.* 2007); de 1,42mg/g b.s., en regiones de Perú (García *et al.* 2009) y de 1,71 a 2,19mg/g b.s. en México (Vera *et al.* 2011), lo cual, indica que estas variaciones son posibles debido a la interacción del genotipo con el ambiente y, muy probablemente, a las prácticas culturales usadas en el cultivo y a las condiciones del suelo.

Para el contenido de capsaicina en el ají (*C. pubescens*), se obtuvo contenidos de 1,57 $\pm$ 0,09mg/g base seca en FC; se reportan en investigaciones concentraciones entre de 1,23 a 10,57mg/g base seca (Meckelmann *et al.* 2015) otros re-

portan concentraciones de 1,47mg/g base seca (Ornelas *et al.* 2010), resultados muy similares a los obtenidos en esta investigación.

Además, se evidenció una diferencia estadística ( $\alpha < 0,05$ ) en las concentraciones de algunos compuestos evaluados para los tratamientos FC y FS, debido, posiblemente, a los compuestos fitoquímicos presentes en el arilo que recubre la semillas y en la misma semilla, como en el caso de la capsaicina, presente en el arilo y la secreción producida por la placenta, encontrando un alto contenido de este compuesto (Simonovska *et al.* 2014). Algunos estudios indican que el contenido de la capsaicina para *C. pubescens* oscila entre el 15 y 43%, mientras que de dihidrocapsaicina, entre el 31 y 32%, de los capsaicinoides totales (Kollmannsberger *et al.* 2011; Meckelmann *et al.* 2015) excepción a otras especies de *Capsicum*, donde se considera la capsaicina como el compuesto mayoritario (Ornelas *et al.* 2010).

Evaluación de las propiedades funcionales de los tratamientos liofilizados: En la tabla 3, se muestran los contenidos de la capacidad, los fenoles totales y los carotenoides evaluados en los tratamientos del ají rocoto liofilizado, en donde no se evidencia diferencia estadística ( $\alpha > 0,05$ ) para la capacidad antioxidante; sin embargo, sí existe diferencia con respecto a los tratamientos FC y FS, presentándose un aumento

significativo en la capacidad antioxidante y en la concentración de los fenoles totales en los tratamientos liofilizados, con respecto a los frutos frescos. Se obtuvo un contenido en fenoles totales en la programación dos con semillas (P<sub>2</sub>C), de 9,55±0,16mg, equivalente de ácido gálico/g base seca, tal como se presenta en la tabla 3. De acuerdo con la clasificación para compuestos fenólicos, se encuentra en un nivel alto de estos metabolitos, que se establece cuando la concentración de mg equivalente de ácido gálico/g base seca es mayor a 5 (Zapata *et al.* 2014); resultados similares, se reportan en ají deshidratado, a temperaturas entre 30 y 70°C (Wangcharoen & Morasuk, 2009; Ornelas *et al.* 2010; Arslan & Özcan, 2011). Además, según lo indicado por Pérez *et al.* (2011), la liofilización tiene un efecto positivo al liberar compuestos fenólicos en la matriz estructural del tejido vegetal facilitando su extracción y acorde con lo reportado Silva *et al.* (2016), al incrementar el contenido de fenoles y flavonoides en los tratamientos liofilizados.

Con respecto al contenido de carotenoides, se evidencia una pérdida en los tratamientos liofilizados comparados con los

frescos con semilla (FC) y frescos sin semillas (FS), lo cual, puede ser, debido a la degradación enzimática de estos compuestos, que están almacenados en las vacuolas plasmáticas, según lo reportado por (Shofian *et al.* (2011), además no se presentó una diferencia estadística entre los efectos de la programación para las diferentes velocidades y las categorías (C y S) en los contenidos de carotenoides, que se consideran los precursores de la vitamina A.

En la figura 1A, se muestra el contenido de ácido ascórbico para los tratamientos liofilizados, se evidencia diferencia estadística ( $\alpha < 0,05$ ), en el efecto principal consistente en las programaciones de velocidad de calentamiento durante la sublimación, indicando para el tratamiento P<sub>2</sub> las mayores concentraciones, aunque para el efecto categórico C y S, no se presentó diferencia estadística, con respecto a la proporción de los contenidos iniciales en frutos frescos con semillas (FC) y sin semillas (FS).

Al analizar el contenido de vitamina C entre los tratamientos liofilizados y los frescos no se evidenció diferencia estadística

Tabla 3. Capacidad antioxidante por FRAP, fenoles totales y carotenoides del ají rocoto (*Capsicum pubescens*), de los tratamientos liofilizados.

Propiedades		P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
Capacidad antioxidante (mg de ácido ascórbico/ g b.s)	C	2,34±0,47 <sup>a</sup>	3,38±0,58 <sup>a</sup>	2,99±0,61 <sup>a</sup>
	S	3,41±0,60 <sup>a</sup>	3,03±0,86 <sup>a</sup>	2,68±1,03 <sup>a</sup>
Fenoles (mg de ácido gálico / g b.s)	C	7,21±0,94 <sup>b</sup>	9,55±0,16 <sup>a</sup>	7,04±0,97 <sup>b</sup>
	S	8,66±0,76 <sup>a</sup>	9,03±0,60 <sup>a</sup>	8,84±0,92 <sup>a</sup>
Carotenoides (mg de β- caroteno / g b.s)	C	1,22±0,19 <sup>a</sup>	1,05±0,57 <sup>a</sup>	0,83±0,44 <sup>a</sup>
	S	1,31±0,47 <sup>a</sup>	0,87±0,50 <sup>a</sup>	1,48±0,60 <sup>a</sup>

Los valores representan la media de n=4± la desviación estándar, (DMS,  $\alpha < 0,05$ ).

( $\alpha > 0,05$ ) entre las medias, indicando un efecto mínimo de deterioro, debido al proceso de liofilización, resultado que se encuentra acorde a lo reportado por Shofian *et al.* (2011). En el *C. annum* L. detectó que contenía 1,8 veces más ácido ascórbico en los tratamientos liofilizados con respecto al secado por convección forzada con aire caliente a 60°C (Toontom *et al.* 2012). Otros estudios han evidenciado que los procesos de deshidratación por convección forzada, a temperaturas de secado de 45, 55 y 65°C, presentan pérdidas de vitamina C, entre un 32 y 68%, en *Capsicum* sp. (Reis *et al.* 2013).

En la figura 1B, se presenta el contenido de capsaicina de los tratamientos liofilizados, donde se hallaron diferencias estadísticas, tanto debidas al efecto de la programación de la ve-

locidad de calentamiento en la sublimación como en la categoría presencia o ausencia de semillas, viéndose una mayor concentración de capsaicina por la presencia de semillas, tanto para el producto en fresco como para los tratamientos liofilizados y, ello, probablemente, a la inclusión de la placenta, donde se encuentra gran cantidad de este metabolito, de acuerdo a lo reportado por Simonovska *et al.* (2014) . El efecto del tiempo y la velocidad durante el secado disminuyó las concentraciones finales de capsaicina en el producto, lo cual, está acorde con lo hallado por Yaldiz *et al.* (2010).

El contenido de capsaicina entre los tratamientos liofilizados y los frescos presentan diferencia estadística ( $\alpha < 0,05$ ), debido a la pérdida de este componente en los tratamientos liofilizados; estas disminuciones en las concentraciones del

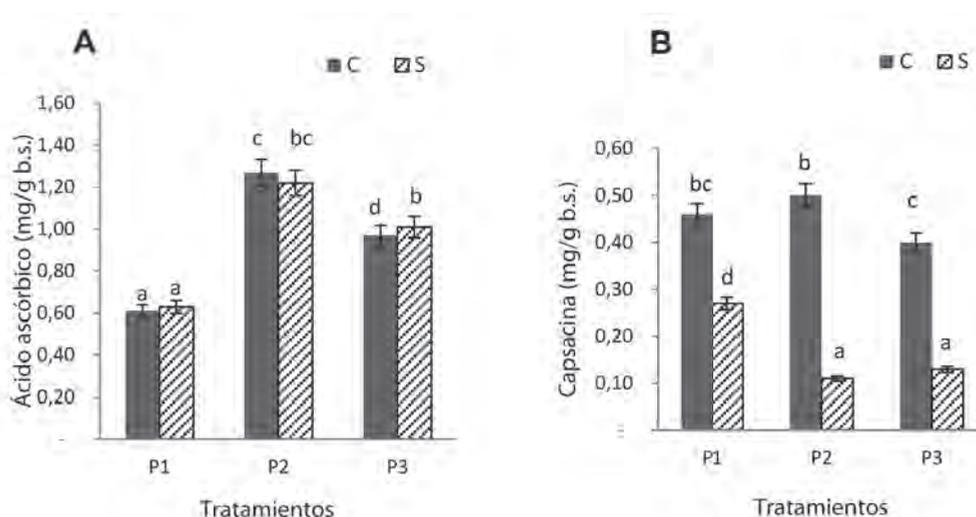


Figura 1. Contenido de ácido ascórbico: (A) y contenido de capsaicina (B) de los tratamientos de ají rocoto (*Capsicum pubescens*) liofilizado con semillas (C) y sin semillas (S), para cada una de las programaciones (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>) (DMS,  $\alpha < 0,05$ ) para  $n = 4$ .

metabolito, pueden ser, debido a la actividad catalítica de las enzimas como la peroxidasa que degrada el compuesto, lo cual, ha sido reportado por algunos investigadores, como (Topuz *et al.* (2011).

Se pudo concluir en esta investigación, que las condiciones de operación de la programación 2 en la liofilización, se obtuvo una mayor concentración de capsaicina en los vegetales liofilizados integralmente con semillas y placenta y, además, permitió conservar la concentración de ácido ascórbico con respecto a los productos frescos. El ají rocoto liofilizado contiene niveles importantes de compuestos funcionales, como fenoles totales, ácido ascórbico y capsaicina.

**Agradecimientos:** Los autores agradecen al personal técnico de los laboratorios de frutas y hortalizas, control de calidad de alimentos y ciencias de los alimentos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de interés que pongan en riesgo la validez de los resultados presentados.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARSLAN, D.; ÖZCAN, M. 2011. Dehydration of red bell pepper (*Capsicum annuum* L.): Change in drying behavior, colour and antioxidant content. *Food and Bioproducts Processing*. (United Kingdom). 89(4):504-513.
- BISWAS, A.K.; SAHOO, J.; CHATLI, M.K. 2011. A simple UV-Vis spectrophotometric method for determination of  $\beta$ -carotene content in raw carrot, sweet potato and supplemented chicken meat nuggets. *LWT - Food Sc. and Tech.* (United States). 44(8):1809-1813.
- BORT, A.; MORELL, M.C.; RAMOS, Á.; DELGADO, L.; DIAZ, I.; RODRÍGUEZ, N. 2014. Efecto de la capsaicina en el metabolismo de células de hepatocarcinoma. *Dianas*. (España). 3(1):1-9.
- CRUZ, A.; GONZÁLEZ, V.; SOTO, R.; GUTIÉRREZ, M.; GARDEA, A.; PERÉZ, M. 2007. Capsaicinoides, vitamina C y heterosis durante el desarrollo del fruto de chile manzano. *Agrociencia*. (México). 41:627-635.
- GARCÍA, M.; GÓMEZ, I.; ESPINOZA, C.; BRAVO, F.; GANOZA, L. 2009. Tablas peruanas de composición de alimentos. Ministerio de Salud, Centro Nacional de Alimentación y Nutrición (Lima). p.22-23.
- GURNANI, N.; GUPTA, M.; MEHTA, D.; MEHTA, B. 2016. Chemical composition, total phenolic and flavonoid contents, and in vitro antimicrobial and antioxidant activities of crude extracts from red chilli seeds (*Capsicum frutescens* L.). *J. Taibah University for Science* (Saudi Arabia). 10(4):462-470.
- HALIKOWSKI, S. 2015. In the shadow of a pepper-centric historiography: Understanding the global diffusion of capsicums in the sixteenth and seventeenth centuries. *J. Ethnopharmacology* (Ireland). 167:64-77.

8. KOLLMANNSBERGER, H.; RODRÍGUEZ, A.; NITZ, S.; NÚEZ, F. 2011. Volatile and capsaicinoid composition of ají (*Capsicum baccatum*) and rocoto (*Capsicum pubescens*), two andean species of chile peppers. *J Sc Food Agri. (United Kingdom)*. 91(9):1598-1611.
9. LOIZZO, M.R.; PUGLIESE, A.; BONESI, M.; MENICHINI, F.; TUNDIS, R. 2015. Evaluation of chemical profile and antioxidant activity of twenty cultivars from *Capsicum annum*, *Capsicum baccatum*, *Capsicum chacoense* and *Capsicum chinense*: A comparison between fresh and processed peppers. *LWT - Food Sc and Tech. (United States)*. 64(2):623-631.
10. LÓPEZ, E.; PILATOWSKY, I.; CORTÉS, F.; ROJANO, B.; NAVARRO, A. 2016. Effect of temperature on antioxidant capacity during drying process of mortiño (*Vaccinium meridionale Swartz*). *Int. J. Food Properties. (United States)*. 2912(3):1532-2386.
11. MECKELMANN, S.W.; JANSEN, C.; RIEGEL, D.W.; ZONNEVELD, M.; RÍOS, L.; PEÑA, K.; PETZ, M. 2015. Phytochemicals in native peruvian *Capsicum pubescens* (Rocoto). *European Food Res and Tech. (Germany)*. 241(6):817-825.
12. M'HIRI, N.; IOANNOU, I.; GHOUL, M.; MIHOUBI, N. 2017. Phytochemical characteristics of citrus peel and effect of conventional and nonconventional processing on phenolic compounds: A review. *Food Reviews International. (United States)*. 33(6):587-619.
13. ORNELAS, J.; MARTINÉZ, J.M.; RUIZ, S.; SANTANA, V.; IBARRA, V.; OLIVAS, G.; PÉREZ, J.D. 2010. Effect of cooking on the capsaicinoids and phenolics contents of mexican peppers. *Food Chemistry. (Netherlands)* 119(4):1619-1625.
14. ORREGO, C. 2008. Congelación y Liofilización de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia. (Colombia).172p.
15. PÉREZ, M.; REGUEIRO, J.; GONZÁLEZ, C.; RIAL, R.; SIMAL, J. 2011. Changes in antioxidant flavonoids during freeze-drying of red onions and subsequent storage. *Food Control. (Netherlands)*. 22(7):1108-1113.
16. REIS, R.C.; CASTRO, V.C.; DEVILLA, I.A.; OLIVEIRA, C.A.; BARBOSA, L.S.; RODOVALHO, R. 2013. Effect of drying temperature on the nutritional and antioxidant qualities of cumari peppers from pará; (*Capsicum chinense* Jacqui). *Brazilian J. Chemical Eng.* 30(2):337-343.
17. RODRÍGUEZ, A.; GONZÁLEZ, C.; NÚEZ, F. 2010. Carotenoid composition and vitamin A value in ají (*Capsicum baccatum* L.) and rocoto (*C. pubescens* R. & P), 2 pepper species from the Andean region. *J. Food Sc. (United States)*. 75(8):S446-453.
18. RUIZ, S.; ÁLVAREZ, E.; ROSA, L.A.; MARTÍNEZ, A.I.; ORNELAS, J.; MENDOZA, A.M.; GONZÁLEZ, G. 2010. Effect of Different Sanitizers on microbial, sensory and nutritional quality of fresh-cut jalapeno peppers. *American J. Agricultural and Biological Sc. (United States)*. 5(3):331-341.
19. SERNA, L.; VARGAS, D.; AYALA, A. 2015. Structural, physical, functional and nutraceutical changes of freeze-dried fruit. *African J. Biotechnology. (Nigeria)*. 14(6):442-450.
20. SHARMA, S.K.; VIJ, A.S.; SHARMA, M. 2013. Mechanisms and clinical uses of capsaicin. *European J. Pharmacology. (Netherlands)*. 720(1-3):55-62.
21. SHOFIAN, N.M.; HAMID, A.A.; OSMAN, A.; SAARI, N.; ANWAR, F.; DEK, M.S.P.; HAIRUDDIN, M.R. 2011. Effect of freeze-drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits. *International J. Molecular Sc. (Switzerland)*. 12(7):4678-4692.
22. SILVA, N.; SANTANA, R.; DUARTE, C.; BARROZO, M. 2016. Impact of freeze-drying on bioactive compounds of yellow passion fruit residues. *J. Food Process Engineering. (United States)*. 2016:1-9.
23. SIMONOVSKA, J.; RAFAJLOVSKA, V.; KAVRAKOVSKI, Z.; SRBINOSKA, M. 2014. Nutritional and bioactive compounds in hot fruits. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering. (Macedonia)*. 33(1):97-104.
24. TOONTOM, N.; MEENUNE, M.; POSRI, W.; LERTSIRI, S. 2012. Effect of drying method on physical and chemical quality, hotness and volatile flavour characteristics of dried chilli. *Intern Food Res. J. (Malaysia)*. 19(3):1023-1031.
25. TOPUZ, A.; DINCER, C.; ÖZDEMİR, K.S.; FENG, H.; KÜSHAD, M. 2011. Influence of different drying methods on carotenoids and capsaicinoids of paprika (Cv. Jalapeño). *Food Chemistry. (Netherlands)*. 129(3):860-865.
26. VERA, A.; CHÁVEZ, J.; CARRILLO, J.; LÓPEZ, M. 2011.

- Phytochemical evaluation of wild and cultivated pepper (*Capsicum annuum* L. and *C. pubescens* Ruiz & Pav.) from Oaxaca, Mexico. *Chilean J Agricultural Res.* (Chile). 71:578-585.
27. WANGCHAROEN, W.; MORASUK, W. 2009. Antioxidant capacity changes of bird chili (*Capsicum frutescens* Linn.) during hot air drying. *Kasetsart J. (Natural Science)*. (Thailand). 20:12-20.
28. YALDIZ, G.; OZGUVEN, M.; SEKEROGLU, N. 2010. Variation in capsaicin contents of different Capsicum species and lines by varying drying parameters. *Industrial Crops and Products.* (Netherlands). 32(3):434-438.
29. ZAPATA, S.; PIEDRAHITA, A.M.; ROJANO, B. 2014. Capacidad atrapadora de radicales oxígeno (ORAC) y fenoles totales de frutas y hortalizas de Colombia. *Perspectivas en Nutrición Humana.* (Colombia). 16(1):25-36.
28. YALDIZ, G.; OZGUVEN, M.; SEKEROGLU, N. 2010. Variation in capsaicin contents of different Capsi-  
Recibido: Febrero 23 de 2017  
Aceptado: Mayo 30 de 2017

#### Cómo Citar:

Caballero Gutiérrez, B.L.; Márquez Cardozo, C.J.; Rojano, B.A. 2017. Efecto de la liofilización sobre las propiedades funcionales del ají rocoto (*Capsicum pubescens*). *Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient.* 20(1): 111-119.



# ANÁLISIS DE UN JUGO DE MORA (*Rubus adenotrichos*) ENDULZADO CON ESTEVIA (*Stevia rebaudiana* Bertoni), UNA APROXIMACIÓN METABOLÓMICA

## ANALYSIS OF JUICE BLACKBERRY (*Rubus adenotrichos*) SWEETENED WITH STEVIA (*Stevia rebaudiana* Bertoni), A METABOLOMICS APPROACH

César González Torrivilla<sup>1</sup>, Lorena Hernández<sup>2</sup>, Fabrice Vaillant Barka<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doctor en Ciencias, mención Ciencia y Tecnología de Alimentos, Departamento de Procesos Agroindustriales, Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" (UCLA), Av. Florencio Jiménez, Núcleo Obelisco. Barquisimeto - Lara, Venezuela, Código Postal 3001. Teléfono: 0058 4165539861, Dirección de correspondencia, email: cesargonzalez@ucla.edu.ve; <sup>2</sup> Lic. en Química, Especialista en Espectrometría de Masas, Centro de Investigación en Productos Naturales, Ciudad de la investigación. Universidad de Costa Rica, Código Postal 11501-2060 San José, Costa Rica, email: lorena.hernandez@ucr.ac.cr; <sup>3</sup> Doctor en Ingeniería de Procesos Agroalimentarios, Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), UMR 95 QUALISUD, Montpellier, France, e-mail: fabrice.vaillant@cirad.fr

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 121-129, Enero Junio, 2017

### RESUMEN

La investigación tuvo como propósito analizar, a través de una aproximación de estudio metabolómico, la composición integral de un jugo microfiltrado a base de mora (*Rubus adenotrichos*), endulzado con hojas deshidratadas de estevia (*Stevia rebaudiana Bertoni*) y su comparación con análogos obtenidos por tratamiento térmico convencional, endulzados con sacarosa. Para el registro de la información espectral, se optó por un enfoque no dirigido, en el que se midieron, simultáneamente, tantos metabolitos, como fue posible, en los cuatro tipos de muestras elaboradas (jugo microfiltrado no pasteurizado y pasteurizado, endulzado con estevia y sacarosa). Fue empleado un sistema de Cromatografía Líquida de Ultra Alta Resolución (UPLC), equipado con un detector de red de fotodiodos (PDA) acoplado a un electro spray de ionización y dispuesto con Q-TOF al espectrómetro de masas (ESI-Q-TOF/MS). Con base en los archivos formato SPL, aportados por el UPLC y, una vez convertidos a formato NetCDF, se efectuó el análisis respectivo, en el software MZmine, el cual, detectó cada uno de los iones presentes, discriminando la presencia o no de los mismos, en las diferentes muestras, identificándolos según su masa (molecular) y el tiempo de retención donde fueron registrados en el espectro, por el espectrómetro de masas. De acuerdo con las deducciones generadas, el análisis estadístico aplicado, confirmó la variación de la composición del jugo endulzado, tanto con estevia como con sacarosa, al ser sometidos a tratamiento térmico, al corroborar diferencias estadísticamente significativas, lo que permite afirmar que el tratamiento, para

las formulaciones estudiadas, genera una variación de los iones presentes.

Palabras clave: Iones, metabolitos, microfiltración, pasteurización.

### SUMMARY

The purpose of the research was to analyze, through a metabolomic study, the overall composition of a microfiltration blackberry juice (*Rubus adenotrichous*) sweetened with dried leaves of stevia (*Stevia rebaudiana Bertoni*) and its comparison with analogues obtained by conventional heat treatment, sweetened with sucrose. The spectral information was obtained by an undirected approach. all possible metabolites produced in the four samples (unpasteurized and pasteurized microfiltered juice, sweetened with stevia and sucrose) were measured simultaneously. Analyses were conducted in series using a Waters Acquity Ultra Performance Liquid Chromatography system (UPLC) equipped with a photodiode array detector (PDA) and coupled with Electrospray Ionization and Quadrupole Time-Of-Flight Mass Spectrometry (ESI-Q-TOF/MS). SPL format files, provided by the UPLC, in the analysis of the samples were converted to NetCDF format, the respective analyzes were performed by the MZmine software. all ions were detected, discriminating presence or not in the different samples. The mass (molecular) and the retention time were recorded by the mass spectrometer. The results of the statistical analysis applied confirmed the variation in composition microfiltration

blackberry juice sweetened with sucrose and stevia when subjected to heat treatment step, corroborating statistically significant differences between them, which allows to affirm that the treatment for the formulations studied generates a variation of the ions present.

Key words: Ions, metabolites, microfiltration, pasteurization (CAB Thesaurus).

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la demanda mundial por edulcorantes naturales ha sido apreciable, debido a los diversos efectos secundarios asociados al consumo de edulcorantes sintéticos (Keerthi *et al.* 2011). Un número reducido de compuestos edulcorantes, de este tipo, bajo en calorías y disponibles en la naturaleza, se utilizan comercialmente en diversos productos, como, por ejemplo: la taumatina, la glicirricina, el xilitol, el phyllodulcin, el mogrósido y el esteviósido (Puri *et al.* 2011). Entre ellos, se destaca el interés que, en la última década, han generado los edulcorantes, obtenidos a partir de las hojas de la planta *Stevia rebaudiana* Bertoni, los cuales, se encuentran disponibles en el comercio, en diversos países, donde se han utilizado durante varias décadas para endulzar una gran variedad de alimentos, incluyendo, bebidas, verduras dulces, encurtidos y mariscos (Sharoba *et al.* 2012).

En este orden de ideas, y dada la importancia que el consumidor moderno le otorga a aquellos componentes de los alimentos que, a pesar de no ser nutricionalmente esenciales, puedan promover su bienestar y ayudarlo a reducir el riesgo de presentar enfermedades crónicas y degenerativas; el uso de los esteviolglucósidos, como edulcorante y saborizante en la formulación de alimentos, resulta prometedora (González *et al.* 2014).

A este respecto, el aumento sostenido del consumo de zumos procesados, evidenciado por la incorporación de una amplia gama de productos pertenecientes a esta categoría, favorecen su empleo para la fabricación de bebidas, concretamente, para la producción de jugos naturales. A pesar de los avances tecnológicos, las industrias procesadoras de jugos de frutas aplican, principalmente, operaciones unitarias convencionales para la extracción, la filtración y la concentración de pulpas, a partir de los frutos enteros. La elección del equipamiento más adecuado para lograr cada uno de estos propósitos, está determinado por muchos factores, que deben ser sopesados cuidadosamente, para asegurarse del cumplimiento de los requisitos del proceso y el costo de capital. Estos factores, incluyen, entre otras consideraciones, las propiedades del material de alimentación, los requisitos de calidad del producto, las condiciones de funcionamiento y el costo de operación (Prada *et al.* 2004). Bajo las condi-

ciones actuales de producción industrial de zumos de frutas es inevitable que sufran alteraciones en su metabolismo, por las propiedades y la intensidad de los tratamientos aplicados. Dada la poca identificación de afectaciones concretas, que caractericen el nivel de impacto de estos procesos en el estatus metabólico y su vinculación con la calidad final de los productos, el abordaje de este impacto, implica el uso combinado de diferentes metodologías y el análisis de algunos grupos específicos de sustancias trazadores de cambios, en el metabolismo de estos productos.

Actualmente, se presenta gran interés en las técnicas ómicas, como la metabolómica, referida al conjunto de ciencias y de técnicas dedicadas al estudio completo del sistema constituido por el conjunto de moléculas que constituyen los intermediarios metabólicos, metabolitos, hormonas y otras moléculas, y los metabolitos secundarios, que se pueden encontrar en un sistema biológico (Oliver *et al.* 1998). El estudio de la metabolómica de los alimentos ha aumentado gradualmente en los últimos años, porque los sistemas alimentarios están directamente relacionados con la nutrición y la salud humana (Kim *et al.* 2016); sin embargo, el conjunto completo de los metabolitos de pequeñas moléculas presentes en los alimentos que componen la dieta humana y el papel de los sistemas de producción de alimentos en la alteración de este metaboloma de los alimentos son todavía ampliamente desconocidos (Johanningsmeier *et al.* 2016).

Esta técnica ha sido aplicada en la evaluación de frutas y derivados, principalmente, en aspectos relacionados con la identificación de variedades, diferenciación de la calidad y propiedades organolépticas (nuevos marcadores químicos de calidad sensorial), determinación de autenticidad y adulteraciones en zumos y derivados, evaluación nutrabólica y desarrollo de alimentos funcionales, entre otros. Respecto a su uso, en estudios de evaluación de tecnologías de conservación de alimentos, es un campo de aplicación explorado a baja escala por la comunidad científica, que no proyecta, a la fecha, una producción científica destacable (Vaclavik *et al.* 2012; Cajka *et al.* 2011).

Sobre la base de las ideas expuestas, la presente investigación apuntó esfuerzos en la evaluación de un jugo de mora microfiltrado, dirigido a consumidores con regímenes especiales de alimentación, a fin de evidenciar, por medio de un estudio metabolómico preliminar, diferencias entre jugos endulzados, tanto con sacarosa como con estevia y análogos sometidos a una etapa de pasteurización, como operación de conservación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Todas las actividades que comprenden la formulación y la elaboración del jugo de mora fueron realizadas en las ins-

talaciones del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), Universidad de Costa Rica. Se emplearon moras (*Rubus adenotrichos*) de la variedad "vino con espinas", en estado de madurez fisiológico y congeladas a  $-20^{\circ}\text{C}$ . Para la obtención de la pulpa refinada, se sometió la totalidad del lote de moras, a una etapa de prensado. La pulpa refinada obtenida fue envasada en tambores plásticos desinfectados y almacenada bajo condiciones de congelación ( $-20^{\circ}\text{C}$ ). El jugo formulado fue endulzado con hojas de *Stevia rebaudiana* deshidratadas en polvo, de la variedad Morita II, producida por un productor del municipio Sucre, Aragua, Venezuela. La determinación de su proporción en la formulación de uno de los jugos formulados, se rigió por criterios sensoriales, a través de dos pruebas afectivas, celebradas con anterioridad, en las cuales, se definió 2,5g/ $L_{\text{jugo}}$ . Una vez formulados los jugos endulzados, tanto con sacarosa como con estevia, fueron sometidos a una etapa de microfiltración tangencial. El sistema de microfiltración estuvo conformado por una bomba centrífuga, para el suministro del flujo tangencial; una bomba de desplazamiento positivo, que condujo la alimentación y un intercambiador de calor tubular, para el control de la temperatura. Se mantuvo la temperatura del jugo a  $35^{\circ}\text{C}$ , para evitar la disminución de la aceptación sensorial del jugo en estudio. La membrana empleada durante la etapa de microfiltración posee un tamaño de poro igual a 10nm, de 5kDa, área de filtración de  $0,33\text{m}^2$ , fabricada por Pall Corporation, USA. Los ensayos de microfiltración, se iniciaron en condiciones de presión, a través de la membrana igual a 2,54bar y un flujo de permeado de  $270\text{L}/\text{hm}^2$ . Dichos ensayos, se efectuaron a una temperatura constante, con una presión transmembranaria constante, una velocidad tangencial constante y un tiempo aproximado de 70 min.

El permeado obtenido fue envasado asépticamente, mediante un sistema acoplado a la salida del sistema de MF, conformado por una cámara hermética, con inyección constante de nitrógeno, con instalación interna de una lámpara de luz ultravioleta. El jugo fue envasado en bolsas especiales, a base de un laminado, compuesto por capas interpuestas de polietileno-aluminio-polietileno. La mitad de las bolsas de cada formulación fue sometida a una pasteurización, introduciéndolas en una marmita de doble chaqueta (calentada con vapor), dispuesta con agua potable. Se estableció, con base en pruebas preliminares (carga inicial de  $7,5 \times 10^4\text{UFC}/\text{mL}$ , determinada mediante la realización de pruebas microbiológicas) y en valores referenciales obtenidos de la literatura (valor  $Z = 5,5^{\circ}\text{C}$  y tiempo de reducción decimal  $D = 5$  minutos), como condiciones de pasteurización:  $90^{\circ}\text{C}$  por 30 segundos. Transcurrido el tiempo, eran removidas y sumergidas en un baño de agua helada. Cada una de las cuatro muestras (jugo MF endulzado con estevia sin pasteurizar, jugo MF endulzado con estevia pasteurizado, jugo MF endulzado sacarosa sin pasteurizar y jugo MF endulzado sacarosa

pasteurizado) fueron almacenadas durante un mes, bajo 5 condiciones de temperatura distintas:  $5^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $37^{\circ}\text{C}$  y  $45^{\circ}\text{C}$ , en cavas especiales, acondicionadas para tal fin.

Con el propósito de analizar el conjunto de iones presentes y así evidenciar similitudes o diferencias entre su información espectral, se optó por un enfoque no dirigido, en el que se midieron, simultáneamente, tantos iones, como fue posible. Se tomaron algunas de las consideraciones, señaladas en estudios previos, principalmente, los efectuados por Keerthi *et al.* (2011), Rodríguez, *et al.* (2013) y García *et al.* (2014). Su ejecución fue realizada en las instalaciones del Centro de Investigaciones de Productos Naturales (CIPRONA) de la Universidad de Costa Rica. A continuación, se describen cada una de las actividades involucradas para el análisis de las muestras:

**Preparación de muestras para análisis metabolómico:** Se extrajo, dos veces por semana, una porción de cada muestra almacenada, a las cinco condiciones diferentes; el procedimiento, se realizó en el interior de una campana de flujo laminar. Las muestras fueron preservadas en tubos eppendorf de 1,5mL y conservadas a  $-70^{\circ}\text{C}$ . El día estipulado para el análisis, todas las muestras fueron descongeladas, centrifugadas ( $14000\text{rpm}$  por 10 minutos), diluidas con agua grado HPLC en proporción 1:1 y trasvasadas a los viales para introducir las al UPLC.

**Sistema CL-MS empleado:** Los análisis fueron realizados en un sistema de Cromatografía Líquida de Ultra Alta Resolución (UPLC) de Waters Acquity, el cual, estuvo equipado con un detector de red de fotodiodos (PDA), acoplado a un electro spray de ionización (tensión capilar de 2,3 kV, temperatura seca  $270^{\circ}\text{C}$ ) y dispuesto con Q-TOF (analizador cuádruplo de tiempo de vuelo) al espectrómetro de masas (ESI-Q-TOF/MS) (Waters SYNAPT G1, Waters Corporation, Milford, MA, EE.UU.). El equipo estaba dotado, además, de un dosificador binario de disolvente, un muestreador automático y un desgasificador, controlado por MassLynx V4.1 (Waters Corporation, MA, EE.UU.); las condiciones cromatográficas empleadas son descritas en la tabla 1. El espectrómetro de masas fue equilibrado previamente, con las soluciones estándares correspondientes. Los experimentos de fragmentación inducida por colisión MS2, se realizaron utilizando la interfaz ESI operativa, en el modo de ion positivo, usando una velocidad de barrido de exploración de 1/s y una rampa de energía de colisión de 10 a 40 eV. La temperatura de desolvatación fue  $330^{\circ}\text{C}$  y el flujo de gas de desolvatación de 350 L/h. Todas las muestras fueron inyectadas por triplicado, en dos réplicas de forma aleatoria.

**Análisis de los resultados obtenidos:** Se convirtieron los archivos programados por el sistema acoplado de CL-MS, de formato SPL, aportados por el UPLC, a formato AFAM.raw y,

Tabla 1. Condiciones cromatografías empleadas durante el análisis LC-MS, para el estudio metabolómico de muestras de jugo de mora, bajo los diferentes tratamientos, endulzados con esteviolglucósidos o sacarosa, sometidos o no a pasterización.

VARIABLE	CONDICIONES ESPECÍFICAS EN LA MEDICIÓN
Modo de ionización de los espectros	Modo positivo
Rango de medición de espectros	de 50m/z a 1000m/z.
Disolvente A Disolvente B	H <sub>2</sub> O + 0,01% Ácido Fórmico. ACN + 0,01% Ácido Fórmico.
Columna	UPLC BEH C18, 1,0 x 100mm, 1,7µm.
Flujo de inyección	0,4mL/min.
Volumen inyectado	6mL
Temperatura de la columna	50°C
La tasa de adquisición de datos	0,02s

por último, a NetCDF (a través del software Masslynx Data-bridge). Seguidamente, se efectuó el análisis respectivo, en el software especializado MZmine, el cual, detectó, organizó y enlistó, cada uno de los iones presentes, discriminando, a su vez, la presencia o no de los mismos, en las diferentes muestras, identificándolos según su masa (molecular) y el tiempo de retención, registrados en el espectro por el espectrómetro de masas. El listado detallado fue analizado estadísticamente, a través del software SIMCA 13.0.2, que permitió efectuar un análisis de componentes principales (PCA). Estableciendo diferentes comparaciones para, de esta manera, construir la data que alimentó el análisis discriminante PLS, específicamente, se empleó un análisis de tipo PLS-DA. Las comparaciones establecidas para cada análisis PLS-DA efectuado, fueron: A) Comparación de iones presentes en las muestras de jugo MF con estevia, con y sin pasterización; B) Comparación de iones presentes en las muestras de jugo MF con sacarosa, con y sin pasterización y, C) Comparación de iones presentes en las muestras de jugo MF con estevia y formulado con sacarosa.

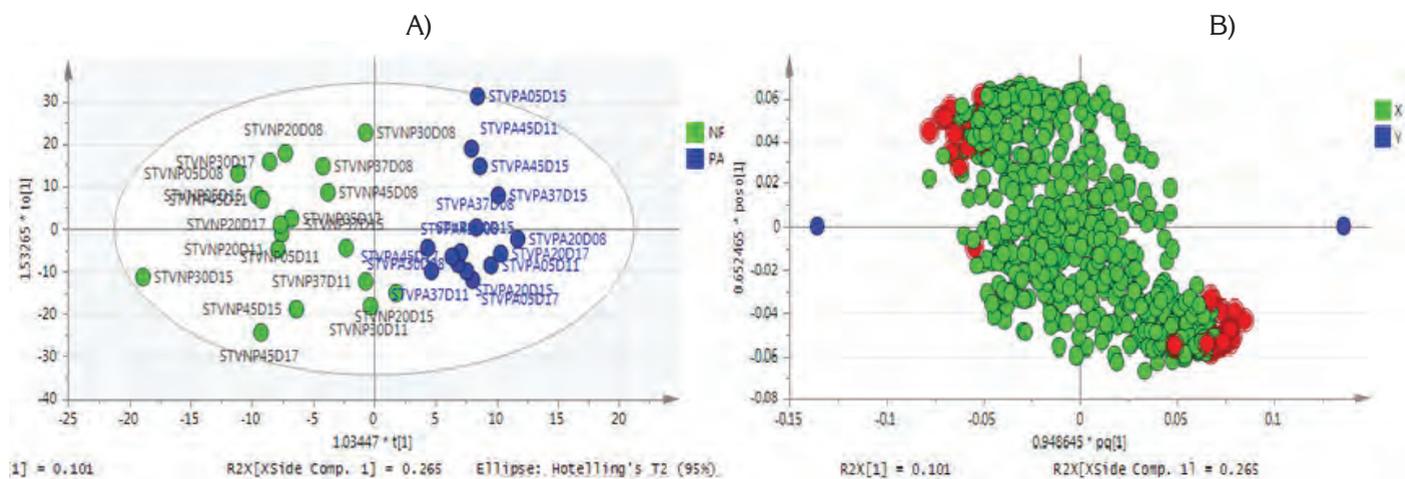
El PCA registró los resultados en puntuaciones (scores) (eje de coordenadas) y plots (manchas). Las puntuaciones de las manchas en el eje de coordenadas (score-plot) permitió describir las relaciones de las muestras entre sí, visualizándose, de esta manera, las similitudes y las diferencias entre las mismas. Para ello, se empleó el software MZmize, siguiendo la metodología descrita por Pluskal *et al.* (2010). Con este software, por tanto, se obtuvieron dos tipos de resultados: el score plot, representado por el eje de coordenadas, donde se sitúan las muestras con base en la cantidad de iones que la conforman y los marcadores potenciales sobre o sub expresados, en las dos clases de muestras.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo ajustó 656 variables, de las cuales, 654 pertenecen a la variable X y dos son de la variable Y; a partir de ellas, se realizaron los tres análisis PLS. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las tres mencionadas comparaciones establecidas.

**COMPARACIÓN A: Cotejo efectuado entre muestras de jugo de mora microfiltrado formulado con estevia pasterizado y no pasterizado:** La figura 1 presenta, en su sección A, la dispersión de las muestras en el espacio X, es decir, representa cómo se sitúan las observaciones modeladas en el espacio X; en él, se puede apreciar que las muestras pertenecientes a cada grupo (azul, para las muestras de jugo de mora microfiltrado formuladas con estevia pasterizadas y, en color verde, las muestras de jugo de mora microfiltrado formuladas con estevia no pasterizadas), no exhiben un patrón definido, distribuyéndose en el plano de forma indistinta.

A pesar de ello, el análisis estadístico aplicado sobre los valores de las intensidades de los diferentes iones identificados en dichas muestras y que consistió en un análisis de varianza, confirmó, estadísticamente, diferencias significativas (p valor es menor a 0,05), con un nivel de confianza del 95%; nótese que el valor p, en la prueba, fue de 0,04, ligeramente inferior al valor establecido para confirmar diferencias (0,05). Al confirmar diferencias estadísticamente significativas fueron seleccionados, a través del software, los iones de mayor importancia, por su notable participación en la diferenciación de los tratamientos, en otras palabras, los iones que presentaron valores muy diferentes entre las muestras de una categoría con respecto a otra (muestras pasterizadas y



A) Representación bidimensional arrojada por el modelo OPLS-DA estimado y B) Iones discriminantes (VIP) en el espacio, identificados por el software SIMCA, durante la comparación de muestras de jugo de mora microfiltrado formulado con estevia con y sin tratamiento.

Figura 1. Representación en el espacio de las muestras formuladas con estevia con y sin tratamiento.

no pasteurizadas). Ya que el valor medio de la trama VIP es 1, esta selección consistió en señalar los iones con valores VIP más altos (por el elevado número del listado de iones arrojados por el software, se consideraron aquellos mayores o iguales a 1,5). Al seleccionar dichos iones, el software aportó el listado de dichos metabolitos, representándolos, además, en el plano, tal y como se muestra en la figura 1B.

Estos metabolitos discriminantes, por su mayor influencia en el modelo, pueden ser apreciados, en la mencionada figura, por su ubicación más lejana al origen (puntos color rojo en la figura) y, por el contrario, los iones con valores VIP, menores a este grupo, pueden ser visualizados de color verde en la figura, se ubican cerca del centro, por lo que tienen una influencia más débil el modelo.

Apoyados en los iones discriminantes arrojados por el programa como iones VIP, por ser distantes, entre las muestras tratadas o no, es decir, entre todos los 2.068 iones presentes en las muestras, este grupo presenta, en mayor medida, una intensidad distinta entre las muestras de diferente tratamiento; se construyeron los histogramas respectivos para, de una manera gráfica, poder visualizar la semejanza o no que pueda existir, según la intensidad de cada uno de los iones, entre las muestras tratadas o no (pasteurizadas o no). Dado los resultados obtenidos en las gráficas elaboradas exhiben para todos los iones empleados un comportamiento irregular, ya que no permiten definir una tendencia definida a disminuir o por el contrario aumentar entre las muestras tratadas y

no tratadas, no es posible apreciar diferencias entre los tratamientos, por lo que se decidió efectuar un análisis más detallado de los datos, discriminado en cada temperatura y así evitar el error generado, producto de la comparación simultánea de todas las muestras, las cuales, fueron conservadas a diferente temperatura.

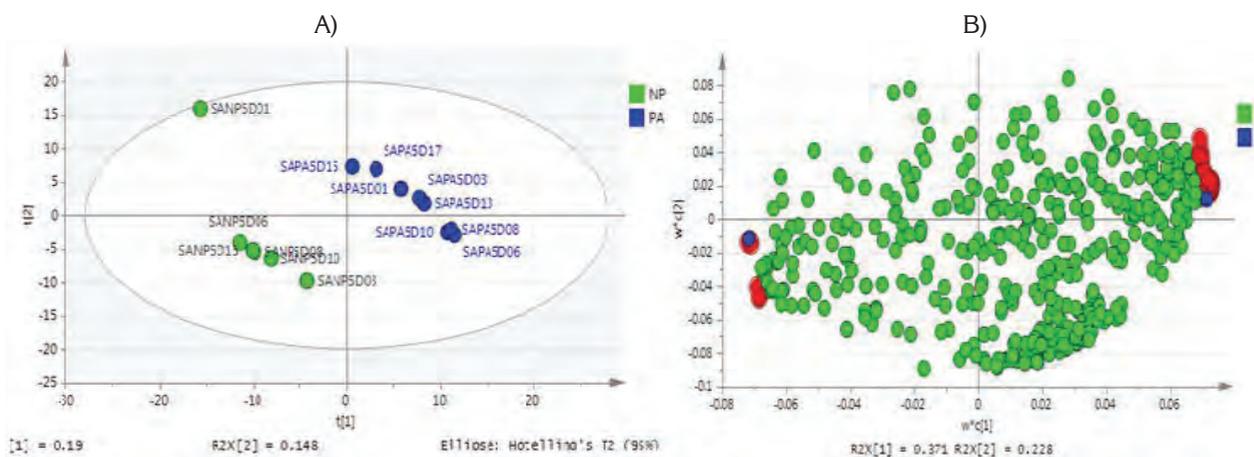
De los cinco nuevos análisis PLS-DA, correspondiente a la comparación de las muestras de jugo de mora microfiltrado endulzado con estevia a las diferentes temperaturas de almacenamiento (5, 20, 30, 37 y 45°C), solo se pueden afirmar diferencias estadísticamente significativas en el grupo de muestras almacenadas a 5°C (en el análisis, se obtuvo un p valor menor a 0,01, por lo que se puede avalar con un nivel de confianza del 99%, que existen diferencias estadísticamente significativas entre las muestras formuladas con estevia pasteurizadas y no pasteurizadas, almacenadas a dicha temperatura). Siguiendo con la metodología descrita fueron seleccionados, a través del software, los iones de mayor importancia, por su participación en la diferenciación de los tratamientos. Esta selección consistió en señalar los iones con valores  $VIP \geq 1,5$ ; el software aportó el listado de iones. Estos iones discriminantes, por su mayor influencia en el modelo, pueden ser apreciados, en la mencionada figura, por su ubicación más lejana al origen (puntos color rojo, en la figura) y, por el contrario, los iones con valores VIP, menores a este grupo, pueden ser visualizados de color verde, en la figura, se ubican cerca del centro, por lo que tienen una influencia más débil el modelo.

Resultados comparables fueron obtenidos por Khan *et al.* 2017, quienes emplearon igualmente UPLC-MS, para analizar metabolitos polares y no polares de pancharishtha, una formulación tradicional polihierbal, preparada por cocción y por fermentación, de diversos vegetales. Los resultados del análisis UPLC-MS fueron empleados por los autores para efectuar un análisis multivariante, a través de XLSTAT. El diagrama de Análisis de Componentes Principales (PCA) distribuyó todas las muestras en cuatro grupos diferentes, con dos formulaciones cada uno, encontrando, de esta manera, diferencias significativas, en el contenido de las diferentes formulaciones.

Según la metodología empleada, restaría apoyarse en los iones discriminantes arrojados por el programa y, a través del software Masslynx versión 4.0, será posible la visualización de cada tiempo de retención, en el cual, fue detectado cada uno de estos iones discriminantes y los espectros de cada muestra, lo que permitiría, a su vez, la comparación de los iones asociados con bases de datos on line para, de esta manera, poder identificar con qué metabolitos pueden estar relacionados y así poder reconocer qué molécula representan.

**COMPARACIÓN B: Cotejo efectuado entre muestras de jugo de mora microfiltrado formulado con sacarosa pasteurizado y no pasteurizado:** El análisis efectuado por el software SIMCA, tal y como fue descrito para la comparación anterior (comparación A), permitió obtener el comportamiento de los iones presentes en las muestras, según el tratamiento. Su distribución en el espacio bidimensional puede ser observado en la figura 2A.

En ellas, se puede apreciar claramente, cómo las muestras pertenecientes a cada categoría se distribuyen de forma similar, agrupándose entre sí y diferenciándose por clase; nótese, cómo los puntos azules (muestras pasteurizadas) en las figuras, se ubican a la derecha y en la parte superior, con la única excepción de la muestra SANP05D01 (jugo de mora microfiltrado endulzado con sacarosa, conservado a 5°C y almacenado durante un día), la cual, es posición atípica, respecto al resto de las muestras de su categoría y las muestras color verde (muestras no pasteurizadas), se sitúan a la izquierda y en la parte inferior. Dicha diferenciación entre las muestras, según el tratamiento, fue corroborado por el análisis de varianza efectuado, al alcanzar un p valor inferior a 0,05, lo que corrobora diferencias estadísticamente significativas, entre las mismas.



A) Representación bidimensional de la distribución de muestras formuladas con sacarosa, con y sin tratamiento, arrojado por el modelo PCA estimado y B) Representación gráfica de los iones discriminantes (VIP) en el espacio, identificados por el software SIMCA, durante la comparación de muestras de jugo de mora microfiltrado formulado con sacarosa, con y sin tratamiento.

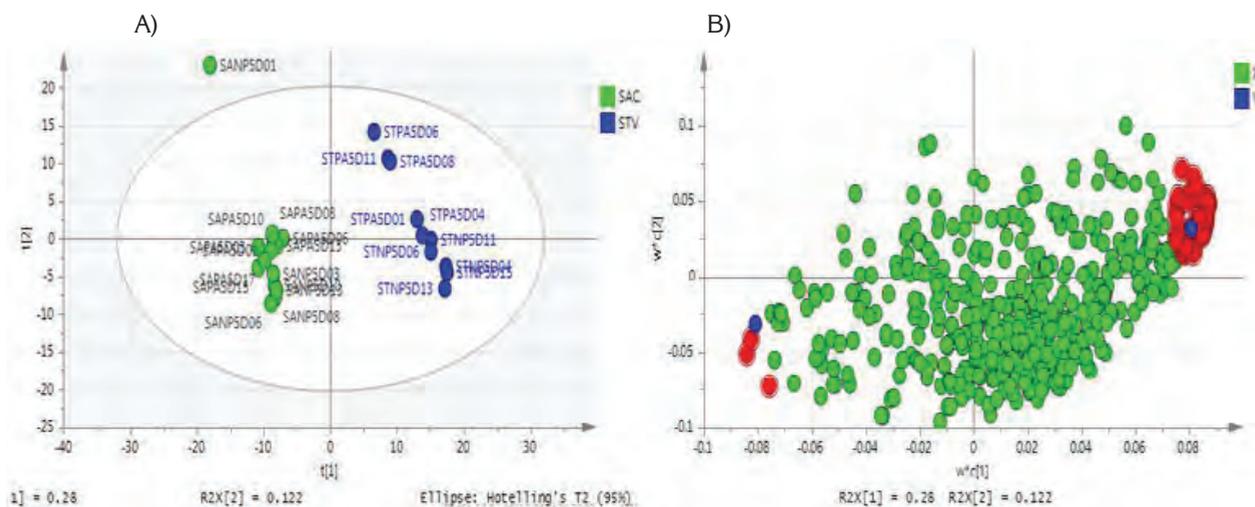
Figura 2. Representación de la distribución de muestras formuladas con sacarosa con y sin tratamiento.

Del mismo modo, el software permitió obtener el listado de iones discriminantes que, para esta comparación, está integrado por 33 iones aportados, inicialmente, el software MZmine, que alcanzaron valores VIP superiores a 1,5. La representación gráfica de los mismos es presentada en la figura 2B.

**COMPARACIÓN C: Cotejo efectuado entre muestras de jugo de mora microfiltrado formulado con estevia y sacarosa sometidos o no a pasteurización:** Una vez realizado el análisis global de las intensidades de los diferentes iones presentes en las muestras (tanto formuladas con estevia como con sacarosa, pasteurizadas y no), por medio del soft-

ware SIMCA, tal y como fue mencionado anteriormente, fue posible visualizar la tendencia de los iones presentes en las muestras, según el tratamiento. Su distribución en el espacio bidimensional puede ser observado en la figura 3A.

Se puede apreciar notoriamente, cómo las muestras pertenecientes a cada categoría, según el tratamiento, se distribuyen de forma similar, agrupándose entre sí, concentrándose de forma diferente en el espacio, las muestras de jugos



A) Representación bidimensional de la distribución de muestras formuladas con estevia y sacarosa, con y sin tratamiento, arrojado por el modelo. B) Representación gráfica de los iones discriminantes (VIP) en el espacio, identificados por el software SIMCA, durante la comparación de muestras de jugo de mora microfiltrado formulado con estevia y sacarosa, con y sin tratamiento.

Figura 3: Representación de la distribución de las muestras formuladas con estevia y sacarosa, con y sin tratamiento, arrojado por el modelo.

pasteurizados (resaltados en la figura 3A color verde) de los no pasteurizados (azul). Esta variación entre las muestras, según el tratamiento, fue corroborado por el análisis de varianza efectuado, al alcanzar un p valor inferior muy cercano a 0, (3,48E-11) lo que corrobora diferencias estadísticamente significativas, entre las mismas, con un nivel de confianza de 99,99%, lo que permite afirmar que el tratamiento para las formulaciones estudiadas genera una variación más marcada de los iones presentes, conducta esperada, dada las diferencias existentes en la composición de las muestras, especialmente, gracias a los componentes aportados por la estevia. En este orden de ideas, el listado de iones discriminantes estuvo conformado por 33 iones. La representación gráfica de su ubicación en el espacio puede ser apreciada en la figura 3B.

Investigaciones similares, llevadas a cabo por Malveira (2010), De Paepe *et al.* (2014), Vervoort *et al.* (2012) y Toydemir *et al.* (2013), en las que se emplearon estudios metabolómicos en muestras zumo de melón, jugo de manzana no clarificado, jugo de naranja y jugo de guinda (*Prunus cerasus* L.), respectivamente, permitieron evaluar, igualmente,

como tecnología de procesamiento, el tratamiento térmico. Malveira (2010) fijó, como variables en estudio, el tiempo (0,16-31min) y la temperatura (66-94°C), obteniendo, igualmente, diferencias estadísticamente significativas, entre los metabolitos presentes, en las diferentes muestras. Entre los metabolitos con distribución diferente y, por tanto, ejercieron un efecto significativo en la formación o la degradación del zumo a causa de la pasteurización, se destacan: 4 (1-metilciclohexanol) y 20 (glicina). Por su parte, De Paepe *et al.* (2014) establecieron, como condiciones del tratamiento, 7.200 segundos en un rango de temperatura de 80 a 145°C y evaluaron con mayor especificidad, a través de un enfoque metabolómico no dirigido, basado en espectrometría de masas y cromatografía líquida de alta resolución, los constituyentes fenólicos termolábiles, lo que les permitió descubrir la subclase de algunos de estos compuestos, como la Procyanidin, susceptibles a la degradación térmica.

De igual manera, Toydemir *et al.* (2013) emplearon, como metodología de análisis, LC-MS, para estudiar los efectos del procesamiento de la fruta de la cereza agria sobre los compuestos polifenólicos. Producto del análisis exhaustivo, los

autores descubrieron 193 compuestos, en la mencionada fruta, de los cuales, 38 podrían ser identificados y, de éstos, solo siete se vieron afectados por el procesamiento, entre los cuales, cinco corresponden a compuestos fenólicos.

A diferencia de los anteriores, Vervoort *et al.* (2012) exploraron, como herramienta para comparar el impacto térmico leve del jugo de naranja, GC-MS, revelando diferencias indirectas durante el almacenamiento, que se atribuyen al crecimiento microbiano en el jugo sin tratar y en la inactivación enzimática.

De igual manera, Sugimoto *et al.* (2012) seleccionaron, como metodología de análisis, un estudio metabolómico, para estudiar el efecto de la pasteurización sobre el sake japonés (vino de arroz). Los resultados de la investigación señalan la disminución de aminoácidos y de polisacáridos, así como el aumento en las concentraciones de péptidos y de glucosa en el sake pasteurizado, determinando, de esta manera, cambios característicos, a causa del tratamiento térmico.

Asimismo, Park *et al.* (2013) analizaron los componentes volátiles de un producto muy similar, vino de arroz coreano tradicional, no pasteurizado y pasteurizado, durante 30 días de almacenamiento, a través de cromatografía de gases-espectrometría de masas. Un total de 11 compuestos de olor activos, tales como 3-metil-1-butanol (alcohol isoamílico), 2-metil-1-butanol, 2,3-butanodiol, ácido butanoico, ácido 3-metilbutanoico (ácido isovalérico), 2 metilbutanoico, 3 (metiltio) -1-propanol (metionol), 2-feniletanol, decanoato de etilo, dodecanoato de etilo y acetato de tetradecanoat, fueron determinados; la mayoría, se encontraron en mayor proporción en las muestras no pasteurizadas, en comparación con las no pasteurizadas, durante el período de almacenamiento.

Por último, el análisis realizado confirmó la variación de la composición del jugo de mora microfiltrado endulzado, tanto con estevia como con sacarosa, al ser sometidos a una etapa de pasteurización (90°C). La información cuantitativa y cualitativa obtenida, en relación con el comportamiento del jugo de mora endulzado con estevia, sometido a tratamiento térmico, puede ser utilizado para monitorizar y controlar el procesamiento térmico del producto.

**Conflictos de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

## BIBLIOGRAFÍA

- CAJKA, T.; RIDDELLOVA, K.; TOMANIOVA, M.; HAJ-SLOVA, J. 2011. Ambient mass spectrometry employing a DART ion source for metabolomic fingerprinting/profiling: A powerful tool for beer origin recognition. *Metabolomics*. 7(4):500-508.
- DE PAEPE, D.; VALKENBORGC, D.; COUJDIJZER, K.; NOTEN, B.; SERVAES, K.; DE LOOSE, M.; VOORPOELS, S.; DIELS, L.; VAN DROOGENBROECK, B. 2014. Thermal degradation of cloudy apple juice phenolic constituents. *Food Chem*. 162:176-185.
- GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, L.; PÉREZ, A.; VAILLANT, F. 2014. Diversity of urinary excretion patterns of main ellagitannins' colonic metabolites after ingestion of tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichus*) juice. *Food Research International*. 55:161-169.
- GONZÁLEZ, C.; TAPIA, M.; PÉREZ, E.; PALLET, D.; DORNIER, M. 2014. Main properties of steviol glycosides and their potential in the food industry: a review. *Fruits*. 69:127-141.
- JOHANNINGSMEIER, S.D.; HARRIS, G.K.; KLEVORN, C.M. 2016. Metabolomic technologies for improving the quality of food: Practice and promise. *Ann. Rev. Food Science and Technology*. 7:413-438.
- KHAN, W.; CHESTER, K.; ANJUM, V.; AHMAD, W.; AHMAD S.; NARWARIA, A.; KUMAR, D.; KATIYAR, C. 2017. Chromatographic profiling of *Pancharishta* at different stages of its development using HPTLC, HPLC, GC-MS and UPLC-MS. *Phytochemistry letters*. Disponible: on line. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2017.04.034>.
- KEERTHI, P.; VANKADARI, M.G.; KALAKOTI, S. 2011. Natural sweeteners: A complete review. *J. Pharm. Res.* 4:2034-2039.
- KIM, S.; KIM, J.; YUN, E.J.; KIM, K.H. 2016. Food metabolomics: from farm to human. *Current Opinion Biotechnology*. 37:16-23.
- MALVEIRA, J. 2010. Avaliação dos efeitos do tratamento térmico sobre o suco de melão: uso da metabolômica para seleção de marcadores. Documento en línea. Disponible desde Internet en: [http://www.google.co.ve/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CBsQFjAA&url=http%3A%](http://www.google.co.ve/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CBsQFjAA&url=http%3A%3)

- 2F%2Fwww.alice.cnptia.embrapa.br%2Fbitstream%2Fdoc%2F880989%2F1%2FOT10015.pdf&ei=b0EGVMK2J4HxgwSbw4Eo&usq=AFQjCNFpq96OJGOVdKBiaoRB\_ghaTG5dQw&bvm=bv.74115972,d.eXY (con acceso 10/03/2015).
10. OLIVER, S.G.; WINSON, M.K.; KELL, D.B.; BAGANZ, F. 1998. Systematic functional analysis of the yeast genome. *Trends Biotechnol.* 16(10):373-378.
11. PARK, H.J.; LEE, S.M.; SONG, S.H.; KIM, Y.S. 2013. Characterization of volatile components in makgeolli, a traditional Korean rice wine, with or without pasteurization, during storage. *Molecules.* 18(5):5317-5325.
12. PLUSKAL, T.; CASTILLO, S.; VILLAR, A.; OREŠIČ, M. 2010. MZmine 2: Modular framework for processing, visualizing, and analyzing mass spectrometry-based molecular profile data. *BMC Bioinformatics.* 11:395-406.
13. PRADA, C. 2004. El futuro del control de procesos. *Rev. Iber. Autom. Inform. Ind.* 1(1):5-14.
14. PURI, M.; SHARMA, D.; TIWARI, A.K. 2011. Downstream processing of stevioside and its potential applications. *Biotechnol. Adv.* 29:781-791.
15. RODRÍGUEZ-PÉREZ, C.; QUIRANTES-PINÉ, R.; AMESIS-OUICHEMOUKH, N.; MADANI, K.; SEGURA-CARRERERO, A.; FERNÁNDEZ-GUTIERREZ, A. 2013. A metabolite-profiling approach allows the identification of new compounds from *Pistacia lentiscus* leaves. *J. Pharmaceutical and Biomedical Analysis.* 77:167-174.
16. SHAROBA, A.M.; EI DESOUKY, A.I.; MAHMOUD, M.H. 2012. Effect of addition some hydrocolloids and sweeteners on flow behavior and sensory properties of papaya-apricot nectar Blends. *J. Food Process. Technol.* 3:3-8.
17. SUGIMOTO, M.; KANEKO, M.; ONUMA, H.; SAKAGUCHI, Y.; MORI, M.; ABE, S.; SOGA, T.; TOMITA, M. 2012. Changes in the charged metabolite and sugar profiles of pasteurized and unpasteurized japanese sake with storage. *J. Agric. Food Chem.* 60(10):2586-2593.
18. TOYDEMIR, G.; CAPANOGLU, E.; GOMEZ ROLDAN, M.; DE VOS, R.C.H.; BOYACIOGLU, D.; HALL, R.D.; BEEKWILDER, J. 2013. Industrial processing effects on phenolic compounds in sour cherry (*Prunus cerasus* L.) fruit. *Food Research International.* 53(1):218-225.
19. VACLAVIK, L.; SCHREIBER, A.; LACINA, O.; CAJKA, T.; HAJŠLOVA, J. 2012. Liquid chromatography–mass spectrometry-based metabolomics for authenticity assessment of fruit juices. *Metabolomics* 8:793-803.
20. VERVOORT, L.; GRAUWET, T.; KEBEDE, B.; VAN DER PLANCKEN, I.; TIMMERMANS, R.; HENDRICKXA, M.; VAN LOEY, A. 2012. Analytical methods headspace fingerprinting as an untargeted approach to compare novel and traditional processing technologies: A case-study on orange juice pasteurisation. *Food Chem.* 134:2303-2312.

Recibido: Octubre 22 de 2016

Aceptado: Mayo 29 de 2017

#### Como citar:

González Torrivilla, C.; Hernández, L.; Vaillant Barka, F. 2017. Análisis de un jugo de mora (*Rubus adenotrichos*) endulzado con estevia (*Stevia rebaudina* Bertoni), una aproximación metabolómica. *Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient.* 20(1): 121-129.



# EVALUACIÓN DE LA PECTINA EXTRAÍDA ENZIMÁTICAMENTE A PARTIR DE LAS CÁSCARAS DEL FRUTO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)

## EVALUATION OF PECTIN EXTRACTED ENZYMATICALLY FROM COCOA (*Theobroma cacao* L.) POD HUSKS

Lina Mendoza-Vargas<sup>1</sup>, Javier Jiménez-Forero<sup>2\*</sup>, Miguel Ramírez-Niño<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero(a) Agroindustrial, Joven investigadora, Grupo de Investigación Ciencia, Tecnología e Innovación Agroindustrial CITIA. Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia, e-mail: lina.mendoza@unillanos.edu.co; <sup>2</sup>Ingeniero de Producción Agroindustrial, Magíster en diseño y gestión de procesos, Profesor tiempo completo, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Grupo de Investigación Ciencia, Tecnología e Innovación Agroindustrial CITIA. Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia, e-mail: jajimenez@unillanos.edu.co; <sup>3</sup>Químico, Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Profesor tiempo completo, Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia, e-mail: miguelramirez@unillanos.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 131-138, Enero-Junio, 2017

### RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito evaluar el rendimiento y las características de la pectina extraída enzimáticamente a partir de la cáscara, pericarpio del fruto de cacao (*Theobroma cacao* L.); para ello, se realizó un diseño de tipo unifactorial, con 4 niveles de tratamiento, variando la concentración de complejo enzimático comercial Viscozyme L., de la marca Novozyme®. La pectina obtenida fue caracterizada, de acuerdo a la metodología planteada por Owens *et al.* 1952. Se elaboró un producto comercial tipo conserva (mermelada), donde se comparó la pectina obtenida enzimáticamente, con pectina comercial de alto y bajo metóxilo; en ambos casos fue evaluada la viscosidad aparente del fluido obtenido. Como resultados, se obtuvo mayor rendimiento de extracción de pectina promedio ( $13,0 \pm 0,53\%$ ), utilizando la mayor concentración de complejo enzimático ( $82,9 \mu\text{L}/100\text{g}$  cáscara), presentando diferencias significativas con los demás tratamientos ( $p < 0,05$ ); el porcentaje de metóxilo (ME) fue de  $1,58 \pm 0,01\%$ , el peso equivalente (PE)  $5091,4 \pm 77,6 \text{ mg/meq}$ ; la acidez libre (AL)  $0,20 \pm 0,01 \text{ meq/g}$ ; el grado de esterificación (GE)  $72 \pm 0,1\%$  y el porcentaje de ácido anhídridogalacturónico (AAG)  $12,5 \pm 1,0\%$ . Con respecto al producto comercial, se observaron características reológicas de un fluido no Newtoniano pseudoplástico, con una viscosidad aparente máxima de  $6043,7 \text{ mPa.s}$  y mínima de  $1741,3 \text{ mPa.s}$ , al aumentar la fuerza del torque, presentando una menor capacidad viscosante que la pectina comercial. De acuerdo a los resultados obtenidos, se demostró que existe la oportunidad de obtener pectinas a partir de residuos del sector cacaotero, utilizando enzimas comerciales, con posibles usos en la industria alimentaria.

Palabras clave: Rendimiento de extracción, hidrólisis enzimática, viscosidad, grado de esterificación, grado de metoxilación y cáscara de cacao.

### SUMMARY

This research was aimed to evaluate the yield and characteristics of pectin extracted enzymatically from cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod husks pericarp. For this a unifactorial type design with 4 levels of treatment varying the concentration of commercial enzyme complex Viscozyme L. of the brand Novozyme®. The obtained pectin was characterized according to the methodology proposed by Owens *et al.* 1952. A commercial preserved product (jam) was elaborated, where pectin obtained enzymatically was compared with high and low methoxyl commercial pectin, in both cases the apparent viscosity of the obtained fluid was evaluated. The highest pectin extraction yield ( $13.0 \pm 0.53\%$ ) was obtained using the highest concentration of enzyme complex ( $82.9 \mu\text{L} / 100\text{g}$  shell), showing significant differences with the other treatments ( $p < 0.05$ ). Percentage of methoxyl (ME) was  $1.58 \pm 0.01\%$ , equivalent weight (PE)  $5091.4 \pm 77.6 \text{ mg/meq}$ , free acidity (AL)  $0.20 \pm 0.01 \text{ meq/g}$ , degree of Esterification (GE)  $72 \pm 0.1\%$  and the percentage of anhydridogalacturonic acid (AAG)  $12.5 \pm 1.0\%$ . With respect to the commercial product, rheological characteristics of a pseudoplastic non-Newtonian fluid with a maximum apparent viscosity of  $6043.7 \text{ mPa.s}$  and a minimum of  $1741.3 \text{ mPa.s}$  were observed when increasing the torque force, presenting a lower viscosity capacity than the commercial pectin. According to the results obtained it was demonstrated that there is an opportunity to obtain pectins from residues from

the cocoa sector using commercial enzymes with possible uses in the food industry.

Key words: Extraction yield, enzymatic hydrolysis, viscosity, esterification and methoxylation degree and cocoa pod husk.

## INTRODUCCIÓN

La producción de semilla de cacao (*Theobroma cacao* L.), se encuentra, principalmente, en países africanos, con un aporte, aproximado, del 70%. En varios países de Latinoamérica, la producción se centra en cacao fino de sabor y aroma, para elaboración de chocolatería fina, donde su producción supera el 80%, a nivel internacional (International Cocoa Organization, 2012), siendo de gran interés para Colombia, porque, además, se ha convertido en apuesta gubernamental para la sustitución de cultivos ilícitos, en varios departamentos, entre ellos, el del Meta. El plan nacional de desarrollo cacaoero, al 2021, tiene como objetivo un total de 230.000ha productivas, de las cuales, se espera una participación del departamento del Meta, de 16.000ha. En este departamento, de 6.180,5ha sembradas, 3.557 están en producción, con un rendimiento aproximado de 0,6t de semilla por hectárea (Fedecacao, 2015) que, cuantificados, representan 2.101t de semilla/año.

El pericarpio o comúnmente denominado “cáscara” representa, en promedio, entre el 52 – 76% del total de la mazorca (Chan & Choo, 2013), lo que genera alrededor de 10.505t de cáscara/año, utilizadas, principalmente, como material orgánico para la fertilización de los propios cultivos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2012), siendo, quizás, vector de enfermedades, tales como *Phytophthora* sp. y *Oomycetes*, lo que conlleva a importantes pérdidas anuales y al incremento del uso de agroquímicos, desinfectantes, herramientas y mano de obra (Jaimes Suárez & Aranzazu Hernández, 2010); sin embargo, diversas investigaciones proponen su utilización como fuente de energía renovable (Syamsiro *et al.* 2012), material bioremediador (Pua *et al.* 2013), fuente de lipasas (Khanahmadi *et al.* 2016) y fuente de pectina, empleando ácidos fuertes para su extracción, como ácido clorhídrico y acético (Vriesmann *et al.* 2011).

Las sustancias pécticas presentes en los vegetales, se encuentran en el tejido parenquimático y meristemático, siendo las zonas de mayor concentración, la pared primaria de las células y la lámina media (Willats *et al.* 2001). La fruta en estado de madurez “verde” posee la sustancia péctica (protopectina), que está asociada a la estructura de la membrana celular por medio de enlaces covalentes y puentes de hidrógeno con la celulosa, hemicelulosa y lignina, principalmente, hallándose altamente esterificada por grupos metóxilo, que la hacen insoluble y confiriéndole rigidez a las cáscaras; sin embargo, durante la maduración del fruto de cacao, se altera

la estructura de la cáscara, por acción de enzimas presentes naturalmente, produciendo desesterificación de los grupos metóxilos, convirtiéndola en pectina soluble y favoreciendo el ablandamiento de la cáscara (Brett & Waldron, 1990; Frides Monsalves *et al.* 2009; Kashyap *et al.* 2001).

La pectina es un heteropolisacárido de origen vegetal compuesto, principalmente, por ácido D-galacturónico, unido mediante enlaces  $\alpha$ -(1,4) glucosídicos, que componen la cadena principal. La esterificación que presenta, indica el porcentaje de residuos del ácido galacturónico esterificado o metoxilado por el grupo metilo y se clasifican en pectinas de bajo (<50%) y alto metóxilo (>50%). Las pectinas forman geles en presencia de iones de calcio y de azúcar, en condiciones de bajo pH, característica importante para su utilización como aditivo en procesos de gelificación (Chan & Choo, 2013; Chasquibol & Morales, 2010).

Actualmente, la pectina se obtiene, a escala industrial, de manera tradicional, por hidrólisis con ácidos fuertes, principalmente de origen inorgánico, de difícil recuperación al finalizar el proceso y que impactan al medio ambiente, al acidificar los efluentes y los suelos, si no se disponen de una manera adecuada (Vriesmann *et al.* 2011).

Por esta razón, en este estudio, se evaluó el rendimiento y se caracterizó la pectina extraída de la cáscara de la mazorca de cacao utilizando un complejo enzimático comercial, con el fin de aprovechar los residuos del beneficio de cacao y viabilizar el uso de enzimas, para su procesamiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Material vegetal.** Se muestrearon y seleccionaron aleatoriamente frutos maduros sanos de cacao (*Theobroma cacao* L.), variedad trinitario clon ICS-60, procedentes de un huerto clonal, de tres años de edad, de la Universidad de los Llanos –sede Barcelona-, de la ciudad de Villavicencio, Meta (Colombia), ubicada en las coordenadas latitud 4°04'33.78"N, longitud 73°34'49.50"O, altitud 441 msnm, con clima cálido, humedad relativa superior al 70%, 3856 mm precipitaciones anuales y temperatura media anual de 25,5°C. Los frutos fueron lavados y despulpados para la obtención de las cáscaras de la mazorca, las cuales, fueron sometidas a un proceso de escaldado, por 10 minutos, a 90°C, previo al proceso de extracción para inactivación de enzimas presentes naturalmente. Los procesos de extracción y caracterización, se llevaron a cabo en los laboratorios de Química e Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de los Llanos -sede Barcelona-.

**Extracción de Pectina.** Se realizaron, a escala de laboratorio, en beakers de 1000ml, con cinco tratamientos de hidrólisis por quintuplicado, de la siguiente manera: T<sub>0</sub>: 0 $\mu$ L; testigo T<sub>1</sub>: 16,5 $\mu$ L, T<sub>2</sub>: 49,5 $\mu$ L y T<sub>3</sub>: 82,9 $\mu$ L, del complejo enzimático

comercial (Novozymes, 2009) Viscozyme L, por cada 100g de material vegetal; de acuerdo a la ficha técnica de aplicación del fabricante, se utiliza un rango de 0,2 a 1kg, por cada tonelada de materia prima, por lo cual, se calcularon para 100g de cáscara de cacao valores: mínimo, T<sub>1</sub>; intermedio, T<sub>2</sub> y máximo, T<sub>3</sub> del complejo, a una temperatura de 50°C y pH de 5 (Novozymes, 2009) y T<sub>4</sub> hidrólisis ácida, con HCl 1mol/L, 90°C y a pH 2. Se estableció el tiempo de extracción de una hora para todos los tratamientos; la precipitación de la pectina se realizó con etanol, al 96%, adicionando  $\frac{3}{4}$  al volumen de solución péctica, por 30 minutos; la pectina, se filtró en tela muselina y se secó en horno, hasta obtener peso constante (Ferreira *et al.* 1995).

El rendimiento de la pectina extraída, se calculó en base seca de materia prima, por quintuplicado, de acuerdo al método de Seggiani *et al.* (2009):

$$\% \text{ de Rend} = \frac{\text{Pectina Pura (g)}}{\text{Peso prom. de cáscaras en base seca (g)}} \times 100\% \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde, la cantidad de "pectina pura" se calculó libre de humedad y de cenizas. Para determinar el contenido de humedad promedio, se secaron 100g de cáscara de mazorca de cacao a 100°C, hasta obtener peso constante, mientras que el contenido de cenizas, se obtuvo por calcinación de un gramo de pectina a 500°C, por 24 horas (Chan & Choo, 2013). Estas determinaciones se realizaron por quintuplicado.

Caracterización fisicoquímica. Se realizó, de acuerdo a la metodología planteada por Owens *et al.* (1952), aplicándolo al tratamiento con mayor rendimiento de extracción y a las pectinas comerciales de gelificación lenta y rápida por triplicado.

La acidez libre (AL) y el peso equivalente (PE) de la pectina, se determinaron realizando una titulación con Hidróxido de sodio 0,1 mol/L; éstos, se calcularon relacionando el peso de la muestra (mg) y los miliequivalentes de hidróxido de sodio gastados en la titulación, de acuerdo a las siguientes expresiones (Owens *et al.* (1952):

$$\text{Peso equivalente (Pe)} = \frac{\text{mg componente ácido}}{\text{meq (A) NaOH}} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

- Meq A (NaOH): meq de NaOH utilizados en la titulación
- Componente ácido: mg de pectina

$$\text{Acidez libre (Al)} = \frac{\text{meq A (NaOH)}}{\text{g componente ácido}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

- Meq A (NaOH): meq de NaOH utilizados en la titulación
- Componente ácido: mg de pectina

El porcentaje de Metóxilo, se determina con la solución empleada para la determinación del peso equivalente y acidez, en la cual, se agrega hidróxido de sodio 0,25mol/L, para desesterificar la pectina; la solución se neutraliza con ácido clorhídrico 0,25mol/L y se titula con hidróxido de sodio 0,1mol/L, para determinar el porcentaje de metóxilo, hasta el viraje de color a rojizo, que se calcula por medio de la ecuación (4):

$$\% \text{ Metoxilo (Me)} = \frac{\text{meq B} * 31 * 100}{\text{mg componente ácido}} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

- 31: peso molecular del metóxilo (CH<sub>3</sub>O) expresado en mg/meq
- meq B: meq de NaOH utilizados en la titulación
- Componente ácido: Peso de la muestra (mg)

El grado de esterificación, se calcula relacionando los meq B gastados en la titulación de determinación del porcentaje de metoxilación y la suma del total de los meq A gastados en la titulación de determinación del peso equivalentes y meq B, de acuerdo a la ecuación (5):

$$\% \text{ Grado de esterificación (Ge)} = \frac{\text{meq B}}{\text{meq A} + \text{meq B}} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

- meq A: miliequivalentes utilizados en la primera titulación NaOH 0,1 mol/L
- meq B: miliequivalentes utilizados de NaOH 0,1 mol/L en la segunda titulación para determinar el contenido de metóxilo

El porcentaje de ácido anhídrido galacturónico (AAG) permite conocer el grado de pureza de la sustancia péctica, debido a que la pectina es un polisacárido constituido no solo por ácido D-galacturónico, sino también, en su estructura, el 10% o más de la cadena puede representar otros azúcares, como arabinosa, glucosa y ramnosa.

Su determinación es la acidez libre y unidades metiladas, relacionándolos en la ecuación (6):

$$\% \text{ AAG} = \frac{176 * 100 - (\text{meq A} + \text{meq B})}{\text{mg componente ácido}} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

- 176: Peso molecular del ácido anhídrido galacturónico expresado en mg/meq
- meq A: miliequivalentes utilizados en la primera titulación con NaOH 0,1 mol/L
- meq B: miliequivalentes utilizados de NaOH 0,1 mol/L en la segunda titulación, para determinar el contenido de metóxilo
- Componente ácido: peso de la muestra (mg)

Prueba de viscosidad aparente. Se preparó una conserva de fruta dulce, tipo mermelada, con pulpa de piña, variedad oro miel, utilizando, como aditivos, gelificantes pectina comercial (P.C.), de gelificación rápida (pectina rápida 105) y pectina extraída de la cáscara de la mazorca de cacao (P.E.), bajo la siguiente formulación estándar: 200g de pulpa, 200g de azúcar, 40mL de agua, 5,4g de pectina y 25mg de cloruro de calcio (este último, se aplicó teniendo como referencia que la pectina obtenida de cacao es de bajo metóxilo en investigaciones de Vriesmann *et al.* (2011). Los componentes, se pesaron y se mezclaron con agitación constante, se llevó a temperatura de ebullición (98°C), por 45 minutos y se dejó en reposo, hasta enfriamiento. Las mediciones, se realizaron en un viscosímetro rotacional Fungilab Adv Series ® con husillo R3, registrando 3 mediciones de viscosidad, cada 2 minutos, en cada velocidad de deformación utilizada.

Análisis estadístico. El proceso de extracción de pectina, se realizó por quintuplicado y fueron sometidos a la prueba de Kolmogorov-Smirnov, para verificar su normalidad. Posteriormente, se aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía y pruebas de comparación de medias de Tukey, a un nivel de confianza del 95%.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Extracción de pectina. El rendimiento de extracción de pectina demostró un mínimo promedio de 9,9%±0,3 (T<sub>1</sub>) y máximo promedio de 13%±0,5 (T<sub>3</sub>). El análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey (95%) permiti-

eron evidenciar diferencias significativas individuales entre los tratamientos, encontrándose los mayores rendimientos de extracción de pectina a mayores concentraciones del complejo enzimático (Figura 1). Se observa, dentro de los tratamientos enzimáticos una relación incremental de tipo lineal, entre el porcentaje de rendimiento y la concentración, como sigue:

$$\% \text{Rendimiento} = 5 [E] + 8,77 \quad (\text{Ec. 7})$$

Dónde: [E] es la concentración del complejo enzimático, evidenciándose un aumento estimado de 5% por cada μL de complejo enzimático/g cáscara, utilizado en la extracción. En cuanto a la calidad de este ajuste, se puede decir que el 98,97% de la variación observada en el porcentaje de rendimiento de extracción es explicada por el modelo de tipo lineal, lo que indica que la calidad del ajuste es satisfactorio y que, por ello, la relación entre el porcentaje de rendimiento y la concentración de complejo enzimático [E] es descrita adecuadamente por una línea recta de tipo incremental, dadas las condiciones evaluadas. Por otro lado, a partir de este comportamiento, se infiere que a bajas concentraciones de enzima se produjo una posible saturación de los sitios activos, que impiden alcanzar, durante ese tiempo, un mayor rendimiento en el proceso de extracción (Yuan *et al.* 2003). De igual manera, se pudo observar que las extracciones vía enzimática mostraron rendimientos significativamente mayores a los obtenidos con hidrólisis ácida (T<sub>4</sub>) 3,7%. Algunos autores han reportado rendimientos de extracción con hidrólisis ácida de 26,3%, con otro tipo de residuos, como la cáscara de limón, a una concentración 0,2 mol/L a 70°C y

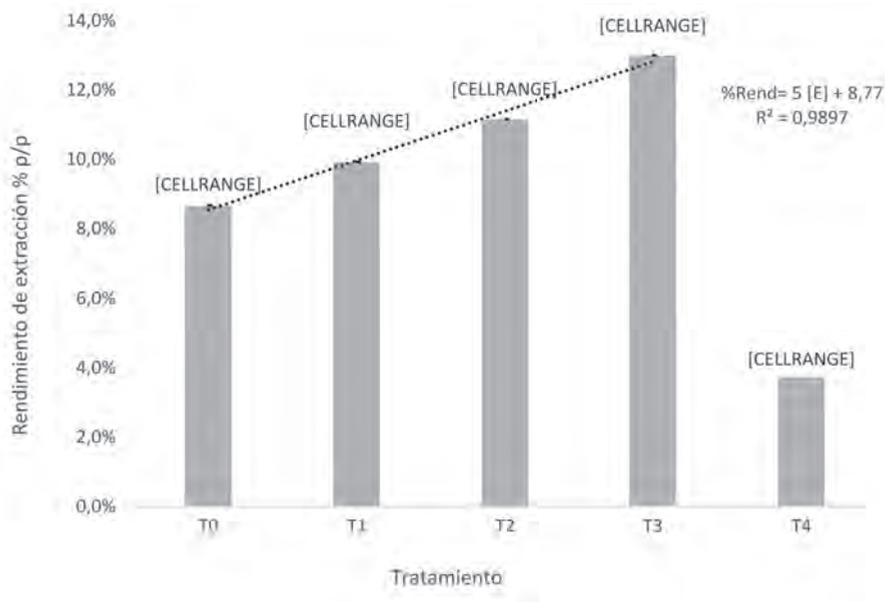


Figura 1. Rendimiento de extracción de pectina en base seca, de los diferentes tratamientos de extracción (letras diferentes entre cada uno de los tratamientos evidencian diferencia significativa P<0,05).

con cáscara de cacao, hasta 5,13%, a un pH de 2,5, con ácido clorhídrico, 95°C y tiempo de 1,5 horas de extracción (Chan & Choo, 2013; Seggiani *et al.* 2009); esta diferencia posiblemente se deba, a un tiempo de extracción insuficiente, con este tipo de hidrólisis (Chan & Choo, 2013). Además, la alta temperatura requerida (95°C) pudo haber hidrolizado la pectina soluble, rompiendo las cadenas laterales y liberando azúcares, disminuyendo así la calidad y la cantidad de la pectina presente, hasta formar ácidos pécticos sin esterificación (Laguado *et al.* 1999; Fredes Monsalves *et al.* 2009); sin embargo, esto evidencia un menor consumo energético con mayor rendimiento utilizando procesos de extracción enzimática a temperaturas más bajas (50°C), que por hidrólisis ácida (90-95°C) (Chan & Choo, 2013; Maldonado Culquimboz *et al.* 2010).

El costo estimado de utilizar el complejo enzimático comercial, teniendo en cuenta el mayor rendimiento de extracción, representa una inversión alrededor de \$23 pesos por gramo de pectina extraída, empleando el complejo enzimático,

mientras que con ácido clorhídrico 1mol/L, se requiere alrededor de \$44, es decir, que se generaría una reducción del 47,7% en costo, con mayor rendimiento, aplicando la extracción enzimática.

**Caracterización fisicoquímica.** La tabla 1 contiene los resultados obtenidos durante la caracterización fisicoquímica de la pectina extraída (P.E) en T<sub>3</sub>. En cuanto al peso equivalente (PE), el cual, corresponde al número de unidades de ácido urónico anhidro y el grado de esterificación, se encontró en la pectina extraída (P.E) valores por encima de los resultados obtenidos para las pectinas comerciales (P.C.) evaluadas, lo que podría indicar presencia de residuos de cáscara de cacao, azúcares o sustancias polifenólicas, causado, probablemente, por la actividad xilanasa, celulasa y hemicelulasa del complejo enzimático (Novozymes, 2009), donde la actividad endo-beta glucanasa hidroliza los enlaces (1-3) o (1-4) en beta-D-glucanos, liberando ácidos, azúcares y metabolitos, atrapados en la matriz polimérica (Kashyap *et al.* 2001).

Tabla1. Caracterización fisicoquímica de las pectinas comerciales y la pectina extraída del tratamiento T<sub>3</sub>.

Muestra	PE (MG/MEQ)	AL (meq/g)	% ME	%GE	% AAG
Pectina comercial gelificación lenta	2702,9±54,4 <sub>a</sub>	0,37±0,0 <sub>a</sub>	2,23±0,0 <sub>a</sub>	66%±0,0 <sub>a</sub>	19,2±0,1 <sub>a</sub>
Pectina comercial, gelificación rápida	3602,1±37,1 <sub>b</sub>	0,28±0,0 <sub>b</sub>	2,90±0,0 <sub>b</sub>	77%±0,0 <sub>b</sub>	21,3±0,4 <sub>b</sub>
Pectina (T <sub>3</sub> )	5091,4±77,6 <sub>c</sub>	0,20±0,01 <sub>c</sub>	1,58±0,01 <sub>c</sub>	72%±0,1 <sub>c</sub>	12,5±1,0 <sub>c</sub>

(Letras diferentes entre cada uno de los tratamientos evidencian diferencia significativa P<0,05).

La acidez libre (AL) presentó valores menores que los obtenidos para las pectinas comerciales sin P.C.; sin embargo, se encuentra dentro de los intervalos reportados para P.E., por hidrólisis ácida (Vriesmann *et al.* 2011).

El grado de metoxilación (ME) de la P.E. y la comercial fue menor al 7%, clasificándose como pectinas de bajo metóxilo, lo que concuerda con los resultados reportados por otros autores para pectina obtenida de cáscara de cacao (Chan & Choo, 2013; Vriesmann *et al.* 2012); sin embargo, la P.C. pudo haber sufrido una desesterificación con HCl durante el proceso de neutralización de la saponificación con NaOH en la titulación de caracterización, pudiendo afectar su porcentaje y disminuyendo así la metoxilación.

Durante la maduración, los tejidos de los frutos presentan una variación del contenido de pectina soluble. En estado inmaduro, la pectina está totalmente esterificada, lo que le confiere mayor rigidez al tejido; en procesos de extracción industrial, se buscan bajos estados de maduración, para obtener mayores rendimientos de pectina, con calidad de alto metóxilo; no obstante, la acción natural de las enzimas sobre

los tejidos durante la maduración convierte la protopectina en pectina soluble, ablandando los frutos y disminuyendo el grado de metoxilación, es decir, que los residuos agroindustriales de cáscaras de frutos maduros son una fuente, en menor proporción aprovechable, para la industria agroalimentaria (Fredes Monsalves *et al.* 2009; Cerón-Salazar & Cardona-Alzate, 2011).

El grado de metoxilación es un parámetro importante en la industria alimentaria, ya que las pectinas de alto metóxilo requieren presencia de azúcar, entre 60-65% y pH ácido, entre 2 a 3,5, para formar geles en la elaboración de mermeladas y postres, principalmente, con texturas más rígidas, que aquellas con menor grado de metoxilación. Por otra parte, las pectinas de bajo metóxilo requieren de la presencia de iones de calcio y de pH, entre 2,8 y 6,5, para poder formar estas interacciones, que las hace pectinas de bajo metóxilo, útiles para la industria alimentaria de productos bajos en azúcar (light) o con edulcorantes, que sustituyen la sacarosa con destino a personas con problemas de diabetes (Cerón-Salazar & Cardona-Alzate, 2011).

El grado de esterificación (GE) en las pectinas comerciales P.C. y la P.E. fue mayor a 60%, probablemente, por la presencia de grupos carboxilo esterificados con grupos etoxilos o amidas (Vriesmann *et al.* 2011), clasificándose dentro del grupo de pectinas gelificación lenta, siendo las más apreciadas dentro de la industria alimentaria, en general, pues a mayor grado de esterificación, se incrementa su viscosidad, importante en el momento de la elaboración de productos, con diversas características de textura (Adi-dako *et al.* 2016; Chaparro *et al.* 2015).

El porcentaje de ácido anhídrido galacturónico (AAG) es indicativo del grado de pureza; la P.E. presentó un 12,5%, que representa una pureza baja, comparada con la P.C., dado que la pectina no está constituida solamente por ácido D-galacturónico dentro de su estructura, ya que se encuentran, en menor proporción, otros azúcares, como arabinosa, glucosa y ramnosa (Vriesmann *et al.* 2011); además, la posible presencia de residuos de cáscara del proceso de filtrado disminuyen su pureza (Vriesmann *et al.* 2011). Por otro lado, la P.E. mostró una coloración café oscura, que indica la presencia de otras sustancias polifenólicas o metabolitos secundarios, como catequinas, leucocianidinas y taninos, que no se solubilizaron en el proceso de separación de la pectina en la solución péctica, otorgando esta coloración y sabor astringente amargo (Adi-dako *et al.* 2016; Vriesmann *et al.* 2011), requiriendo realizar procesos de purificación, implementando lavados con etanol, debido a que la pectina no es soluble en esta sustancia, mientras que estos metabolitos, se pueden extraer con agua o combinaciones con alcohol o por centrifugación (Adi-dako *et al.* 2016; Vriesmann *et al.* 2011; González *et al.* 2008).

**Prueba de viscosidad aparente.** De acuerdo a los perfiles de viscosidad aparente (VA) (Figura 2), para las formulaciones evaluadas realizadas, la VA máxima (velocidad de deformación: 3rpm) y mínima (velocidad de deformación: 50rpm) con P.E. de las cáscaras de la mazorca de cacao fue de 6043,7mPa.s y 1741,3mPa.s, respectivamente, mientras que para la P.C., la viscosidad aparente máxima fue de 7616,1mPa.s y mínima, de 2019,1mPa.s, observándose menor poder de gelificación con la P.E, con mayores diferencias en las viscosidades aparentes, obtenidas entre las velocidades 12 y 30 rpm, debiéndose estas diferencias, principalmente, al grado de esterificación y de metoxilo, entre las pectinas evaluadas (Tabla 1) (Chaparro *et al.* 2015).

En ambos casos, la viscosidad aparente presentó un comportamiento de fluido no Newtoniano, con un comportamiento de tipo exponencial decreciente. Ecuaciones 8 y 9:

$$\mu = 14059 \Omega^{-0,488} \text{ para la pectina comercial} \quad (\text{Ec. 8})$$

$$\mu = 9960,6 \Omega^{-0,463} \text{ para la pectina extraída} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde  $\mu$ =viscosidad aparente (mPa.s) y  $\Omega$  = velocidad del husillo (rpm)

Ambos modelos presentaron un coeficiente de determinación por encima de 0,97, demostrando una buena explicación de los datos experimentales por medio del modelo, en donde se puede observar que la viscosidad disminuye al aumentar la fuerza de rotación (Figura 2), característico de un fluido independiente del tiempo con cualidades pseudoplásticas (Rao, 2014; Silva *et al.* 2008).

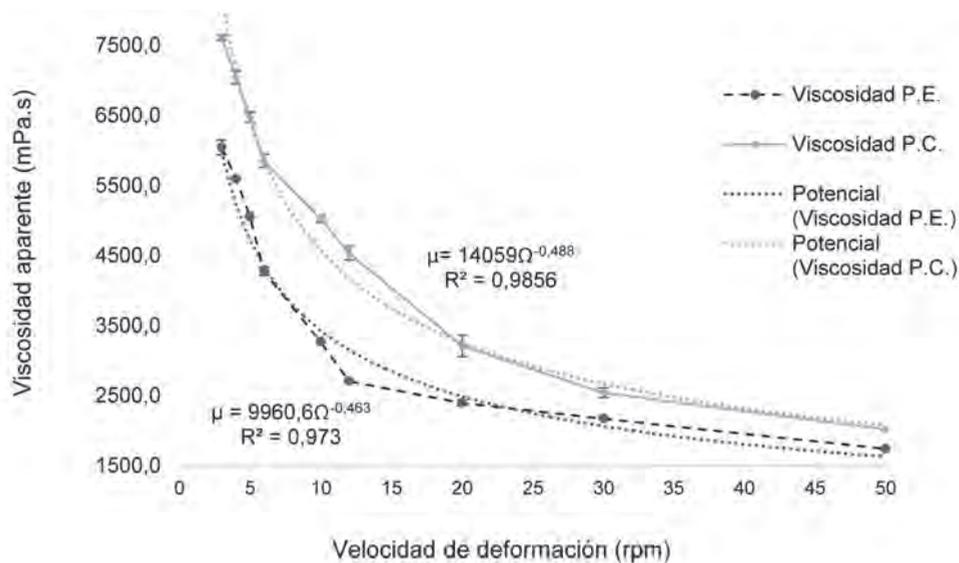


Figura 2. Comportamiento de la viscosidad aparente del producto comercial, elaborado con pectina comercial (P.C) y la pectina extraída (P.E).

En conclusión, la aplicación del método enzimático presentó mayor rendimiento de extracción en comparación con hidrólisis ácida. De acuerdo con los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica es de bajo metóxilo y puede ser utilizada en la industria alimentaria, empleando, como sustrato, las cáscaras de cacao, con una diferencia de 9,3 puntos porcentuales, reducción de costos del 47,7% y menor consumo energético, al utilizar una temperatura óptima de trabajo de 50°C, para las enzimas, muy por debajo de la empleada en hidrólisis ácida, de 90°C. Las aplicaciones industriales se orientan, principalmente, al sector alimentario, en productos bajos en azúcar, por ser pectinas de bajo metóxilo.

Con esta investigación, se pudo demostrar que el procesamiento enzimático de este subproducto cacaotero, proporciona una alternativa viable para la obtención de pectina, con propiedades de interés en la industria alimentaria; sin embargo, se sugiere realizar trabajos, donde se mejoren los procesos de purificación, que conlleven a mejorar su calidad.

**Agradecimientos:** Los autores agradecen a la dirección general de investigaciones de la Universidad de los Llanos, por la financiación de parte de este proyecto, referenciado con código C04-F01-002-2015 y al estudiante Camilo Sarmiento, por su ayuda en la fase experimental. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue elaborado y revisado por todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ADI-DAKO, O.; OFORI-KWAKYE, K.; MANSO, S.F.; BOAKYE-GYASI, M.E.; SASU, C.; POBEE, M. 2016. Physicochemical and antimicrobial properties of cocoa pod husk pectin intended as a versatile pharmaceutical excipient and nutraceutical. *J. Pharmaceutics (UK)*. 12p.<http://doi.org/10.1155/2016/7608693>.
2. BRETT, C.; WALDRON, K. 1990. Cell-wall degradation. In: Black, M.; Chapman, J. (Eds.), *Physiology and Biochemistry of Plant Cell Walls*. Dordrecht. Springer. (Netherlands). p.168-179.
3. CERÓN-SALAZAR, I.; CARDONA-ALZATE, C. 2011. Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Ingeniería y Ciencia*. (Colombia). 7(13):65-86.
4. CHAN, S.-Y.; CHOO, W.-S. 2013. Effect of extraction conditions on the yield and chemical properties of pectin from cocoa husks. *Food Chemistry (UK)*. 141(4):3752-3758.
5. CHAPARRO, S.; MÁRQUEZ, R.; SÁNCHEZ, J.; VARGAS, M.; GIL, J. 2015. Extracción de pectina del fruto del higo (*Opuntia ficus indica*) y su aplicación en un dulce de piña. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia)*. 18(2):435-443.
6. CHASQUIBOL SILVA, N.; MORALES GOMERO, J.C. 2010. Contribución al estudio del proceso de gelación de la pectina del níspero de la sierra. *Ingeniería Industrial (Perú)*. 28:157-176.
7. FEDECACAO. 2015. Producción Nacional de Cacao en grano por departamentos 2002-2014. Disponible desde Internet en: <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-02-12-17-20-59/nacionales> (con acceso el 27/02/2016).
8. FERREIRA, S.; PERALTA N., A.P.; RODRÍGUEZ A., G.P. 1995. Obtención y caracterización de pectina a partir de desechos industriales del mango (cáscara). *Rev. Col. Cienc. Químico-Farmacéuticas*. 24:29-34.
9. FREDES MONSALVES, C.; LOYOLA LÓPEZ, N.; MUÑOZ CRUZ, J.C. 2009. Extracción de pectinas de *Vitis labrusca* CV. Concord para producir jaleas. *Idesia (Arica)*. (Chile), 27(3):9-14.
10. GONZÁLEZ-NEVES, G.; FAVRE, G.; CHARAMELO, D.; BALADO, J.; BARREIRO, L.; BOCHICCHIO, R.; TESSORE, A. 2008. Estudio comparativo de la extracción de polifenoles en la elaboración de vinos Tannat por técnicas alternativas. *Rev. Enología (Argentina)*, 1(5):1-5.
11. INTERNATIONAL COCOA ORGANIZATION. 2012. *International Cocoa Organization*. Disponible desde Internet en: <https://www.icco.org/statistics/production-and-grindings/production.html> (con acceso el 27/02/2016).
12. JAIMES SUÁREZ, Y.; ARANZAZU HERNÁNDEZ, F. 2010. Manejo de las enfermedades del cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia, con énfasis en monilia (*Moniliophthora roreri*). Fedecacao. (Colombia), 90p. Disponible desde Internet en: [http://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub\\_doctecnicos/fedecacao-pub-doc\\_04A.pdf](http://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_04A.pdf) (con acceso el 25/04/2016).
13. KASHYAP, D.R.; VOHRA, P.K.; CHOPRA, S.; TEWARI, R. 2001. Applications of pectinases in the commercial sector: a review. *Bioresource Technol. (UK)*. 77(3):215-227.

14. KHANAHMADI, S.; YUSOF, F.; CHYUAN ONG, H.; AMID, A.; SHAH, H. 2016. Cocoa pod husk: A new source of CLEA-lipase for preparation of low-cost biodiesel: An optimized process. *J. Biotechnology*. (Netherlands). 231:95-105.
15. LAGUADO, N.; PÉREZ, E.; ALVARADO, C.; MARÍN, M. 1999. Características fisicoquímicas y fisiológicas de frutos de guayaba de los tipos Criolla Roja y San Miguel procedentes de dos plantaciones comerciales. *Rev. Facultad de Agronomía*. (Colombia). 16(4):382-397.
16. MALDONADO CULQUIMBOZ, Y.; SALAZAR OCAMPO, S.; MILLONES CH, C.; TORRES M., E.; VÁSQUEZ, E. 2010. Extracción de pectina mediante el método de hidrólisis ácida en frutos de maushan (*Vasconcellea weberbaueri* (Harms) V.M. Badillo) provenientes del distrito de San Miguel de Soloco, región Amazonas. *Rev. Aporte Santiaguino*. (Perú). 3(2):177-184.
17. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. 2012. Plan de Desarrollo Cacaotero 2012-2021. Colombia. Disponible desde Internet en: <http://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/Plan%20Nacional%20de%20desarrollo%20ca> (con acceso el 27/02/2016).
18. NOVOZYMES. 2009. Ficha de Aplicación Alimentos y Nutrición. Viscozyme L para el Procesamiento de Vegetales y Frutas. Generic, Bogotá D.C., Colombia: Novozymes Latin America Ltda.
19. OWENS, H.S.; MCCREADY, R.M.; SHEPHERD, A.D.; MIERS, J.C.; EARLANDSED, R.F.; MACLAY, W.D. 1952. Methods used at western regional research laboratory for extraction and analysis of pectic materials. Book, Albany, California: AIC-340, Western, Regional Research Laboratory.
20. PUA, F. LING; SAJAB, M.S.; CHIA, C.H.; ZAKARIA, S.; RAHMAN, I.A.; SALIT, M.S. 2013. Alkaline-treated cocoa pod husk as adsorbent for removing methylene blue from aqueous solutions. *J. Environmental Chemical Engineering*. (UK). 1(3):460-465.
21. RAO, M.A. 2014. *Rheology of Fluid, Semisolid, and Solid Foods*. Boston, MA: Springer US. <http://doi.org/10.1007/978-1-4614-9230-6>.
22. SEGGIANI, M.; PUCCINI, M.; PIERINI, M.; GIOVANDO, S.; FORNERIS, C. 2009. Effect of different extraction and precipitation methods on yield and quality of pectin. *Int. J. Food Sci. Technol.* (UK). 44(3):574-580.
23. SILVA, N.C.; BENITES, E.A.; GOMERO, J.C.M. 2008. Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. *Ingeniería Industrial*. (Perú). 26:175-199.
24. SYAMSIRO, M.; SAPTOADI, H.; TAMBUNAN, B.H.; PAMBUDI, N.A. 2012. A preliminary study on use of cocoa pod husk as a renewable source of energy in Indonesia. *Energy Sustain. Development*. (UK). 16:74-77.
25. VRIESMANN, L.C.; DE MELLO CASTANHO AMBONI, R.D.; DE OLIVEIRA PETKOWICZ, C.L. 2011. Cocoa pod husks (*Theobroma cacao* L.): composition and hot-water-soluble pectins. *Industrial Crops and Products*. (Netherlands). 34(1):1173-1181.
26. VRIESMANN, L.C.; TEÓFILO, R.F.; DE OLIVEIRA PETKOWICZ, C.L. 2012. Extraction and characterization of pectin from cacao pod husks (*Theobroma cacao* L.) with citric acid. *LWT - Food Sci. Technol.* (UK). 49(1):108-116.
27. WILLATS, W.G.T.; MCCARTNEY, L.; MACKIE, W.; KNOX, J.P. 2001. Pectin: Cell biology and prospects for functional analysis. *Plant Molecular Biology*. (Netherlands). 47(1-2):9-27.
28. YUAN, Z.; ZHAO, J.; WANG, Z.-X. 2003. Flexibility analysis of enzyme active sites by crystallographic temperature factors. *Protein Engineering*. (United States). 16(2):109-114.

Recibido: Septiembre 28 de 2016

Aceptado: Abril 7 de 2017

#### Cómo citar:

Mendoza-Vargas, L.; Jiménez-Forero, J.; Ramírez-Niño, M. 2017. Evaluación de la pectina extraída enzimáticamente a partir de las cáscaras del fruto de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(1): 131-138.

# REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE SOBRE RESIDUOS DE CACAO PRETRATADOS QUÍMICAMENTE

## REMOVING OF HEXAVALENT CHROMIUM ON CHEMICALLY PRETREATED CACAO WASTE

Candelaria Tejada Tovar<sup>1\*</sup>, Ángel Villabona Ortiz<sup>2</sup>, María Jiménez Villadiego<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Magíster en Ingeniería Ambiental, Magíster en Educación, Especialista en Química Analítica, Ingeniera Química, Profesora de tiempo completo del Programa de Ingeniería Química y docente del grupo de investigación IDAB de Ingeniería. Universidad de Cartagena, e-mail: ctejadat@unicartagena.edu.co; <sup>2</sup> Magíster en Ingeniería Ambiental, Especialista en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Profesor titular de tiempo completo del Programa de Ingeniería Química y docente del grupo de investigación IDAB. Universidad de Cartagena, e-mail: avillabonao@unicartagena.edu.co; <sup>3</sup> Ingeniera Química, e-mail: MJJimenez\_Ingqca@hotmail.com; \*Investigador para correspondencia.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 139-147, Enero-Junio, 2017

### RESUMEN

La disponibilidad de recurso hídrico de calidad es un factor de gran interés científico, debido a la gran carga de contaminantes de origen antrópico presente en las fuentes de agua, siendo los metales, de especial atención por la bioacumulación y lamtoxicidad. En el presente artículo, se estudia la adsorción de Cromo hexavalente, usando cáscara de cacao, como material adsorbente, así como dos tratamientos químicos a la misma, con hidróxido de sodio y ácido clorhídrico, evaluando su efecto en la remoción del ión metálico. La medición del metal en solución, se hizo mediante espectroscopia (UV-Vis, usando el reactivo difenilcarbazida. Se estudió el efecto del tamaño de partícula en el proceso y el ajuste de la cinética, se hizo con los modelos de primer orden, segundo orden, Elovich y difusión. Se encontró que el modelo que mejor se ajustó a los datos experimentales fue el de Elovich, mientras que la isoterma de Freundlich describe mejor el proceso de adsorción; de este modo, se establece que la superficie catalítica del bioadsorbente es heterogénea, exhibiendo diferentes energías de activación. Además, se observó que la modificación con ácido clorhídrico mejoró la capacidad de adsorción del material.

Palabras clave: Adsorción, biomaterial, Cromo (VI), tratamiento químico.

### SUMMARY

The availability of quality water resources is a factor of great scientific interest because of the high burden of anthropic contaminants in water sources, with particular attention to metals due to their bioaccumulation and toxicity. In this

research the adsorption of hexavalent chromium using cocoa shell as adsorbent material, as well as two chemical treatments with sodium hydroxide and hydrochloric acid was studied. The effect of removing this metal-ion was evaluated. Measurement of this metal in aqueous solution was realized by (UV-Vis spectroscopy using diphenylcarbazine reagent. The effect of particle size in the process was studied and the adjustment of the kinetics was done with models of first order, second order, Elovich and diffusion It was found that the model with the best fit to the experimental data was Elovich, while Freundlich's isotherm describes the adsorption process in a better way. Thereby it was established that the catalytic surface of this bioadsorbent is heterogeneous, exhibiting different energies of activation. Furthermore it was observed that the modification with hydrochloric acid improved the adsorption capacity of this material.

Key words: Adsorption, biomaterial, Chromium (VI), chemical treatment.

### INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua potable de calidad es un factor importante para preservar la salud de la población; el creciente desarrollo de la sociedad hace aumentar, continuamente, la cantidad y los tipos de fuentes de contaminación ambiental y, así, numerosos efluentes industriales, plaguicidas y otros productos químicos utilizados en la agricultura, arrastrados por las lluvias, contribuyen al deterioro de la calidad de las aguas, siendo los metales pesados, de especial cuidado, por su alta toxicidad y alta permanencia en el ambiente (Islam *et al.* 2015).

El cromo, se ubica como uno de los elementos más contaminantes, además de no ser química ni biológicamente degradable, por tanto, puede permanecer indefinidamente en el medio ambiente. Este metal presenta dos estados de oxidación: Cr (III) y Cr (VI). El primero de estos, aunque no es de carácter tóxico, mediante un proceso de óxido-reducción, se puede convertir en Cr (VI), el cual, es considerado tóxico, por ser capaz de absorberse, a través de la piel, provocando efectos negativos en la salud (Ma *et al.* 2015; Lavado-Meza *et al.* 2012).

Las descargas de Cr (VI) en aguas residuales provienen, generalmente, de curtiembres, de industrias metalúrgicas y maderas, además, de fertilizantes artificiales, los cuales, superan ampliamente la concentración máxima establecida en agua potable, por la Environmental Protection Agency (EPA), de  $100\mu\text{g/L}$  (Mädler *et al.* 2016). Se han usado diversas tecnologías para la remoción de este iones metálicos en aguas residuales, entre las que destacan: precipitación química, intercambio iónico, membranas, extracción con solventes, osmosis inversa, entre otras; sin embargo, muchas son ineficientes, además de involucrar un gran uso de químicos, generando grandes cantidades de residuos contaminantes (Torab-Mostaedi *et al.* 2013).

La adsorción ha sido estudiada como un método alternativo a las tecnologías convencionales para remover metales pesados en soluciones acuosas, que involucra la separación de una sustancia presente en una fase fluida, en la superficie de un adsorbente sólido. El proceso ofrece flexibilidad en el diseño y operación y produce un efluente tratado de alta calidad, siendo el carbón activado el material más usado en los procesos de adsorción (Asasian *et al.* 2014). Su utilidad deriva en la gran cantidad de microporos y mesoporos que resulta en la alta área superficial (Guo *et al.* 2016; Ingole & Dharpal, 2012); sin embargo, el alto costo de su activación, encarece su uso en plantas de tratamientos (Largitte *et al.* 2016). Así ha ganado importancia la bioadsorción, usando adsorbentes de origen orgánico, como residuos agrícolas, microorganismos y biomasa de algas, para el tratamiento de aguas residuales, ya que es posible el uso de materiales más económicos, con igual eficiencia. La eficiencia del proceso, se basa en la presencia de grupos funcionales en la superficie de estos biomateriales, afines por los iones metálicos; estos grupos incluyen carboxilo, hidroxilo, sulfoxidos y amida (Feizi & Jalali, 2015; Guo *et al.* 2016).

Entre los materiales residuales ampliamente estudiados y con excelentes resultados para la remoción de metales pesados, se encuentran: cáscaras de naranja (Tejada *et al.* 2015a), aserrín de pino (Momčilović *et al.* 2011), bagazo de palma (Ismail *et al.* 2013; Tejada *et al.* 2015b), bagazo de caña (Hamza *et al.* 2013), cáscara de nuez (Altun & Pehlivan, 2012), cáscaras de yuca y de limón (Tejada *et al.* 2015c), entre otros.

La cáscara de cacao ha sido identificada como un sorbente natural muy eficiente para la remoción de iones plomo y otros metales pesados, mostrando ser eficiente frente a otro tipo de materiales residuales (Wu *et al.* 2013).

En el presente trabajo, se estudió la capacidad de adsorción de Cr (VI) usando, como biomasa residual, cáscara de cacao. Los ensayos de adsorción, se realizaron en sistemas por lotes, estudiando el efecto del biomaterial modificado químicamente, con hidróxido de sodio y ácido clorhídrico, en la adsorción del ión metálico en estudio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Materiales.** Los agentes químicos usados en el presente estudio fueron grado analítico marca Merck. Además, para todos los análisis, se utilizó agua desionizada. La cáscara de cacao fue obtenida de cultivos de cacao, ubicados en el municipio de San Jacinto, departamento de Bolívar (Colombia).

**Preparación del adsorbente.** Las cáscaras fueron lavadas con agua destilada, con el fin de retirar impurezas solubles y suciedad. Luego, fueron secadas por 24 horas en horno, a una temperatura de  $90^{\circ}\text{C}$ , reducidas de tamaño y tamizadas, seleccionando los tamaños de partícula inferiores a  $0,355\text{mm}$ . Una vez preparadas, se procedió a la caracterización físico-química de las mismas, realizando una determinación de elementos CHON (Carbono: AOAC 949.14; Hidrógeno: AOAC 949.14; Nitrógeno: AOA 984.13; Azufre: Digestión), además de pectina, lignina, celulosa, hemicelulosa (Digestión-termogravimetría). Igualmente, se realizó un análisis de los grupos funcionales presentes en la biomasa antes y después de la adsorción, utilizando un espectrómetro infrarrojo por transformada de Fourier, en condiciones ambientales. Los espectros, se registraron a partir de  $4000$  a  $400\text{cm}^{-1}$ .

**Modificación química.** La biomasa fue tratada con hidróxido de sodio y ácido clorhídrico  $1\text{M}$ ; para tales efectos, fueron puestos en contacto  $20\text{g}$  de biomasa en  $100\text{mL}$  de solución, a temperatura ambiente ( $30^{\circ}\text{C}$ ), durante 24 horas, a una agitación constante de  $150\text{rpm}$ . Alcanzado el tiempo de contacto, se realizó un repetido lavado con agua destilada, hasta obtener un valor constante de pH. Luego, la biomasa se secó por 12 horas, en horno, a  $70^{\circ}\text{C}$  (Liu *et al.* 2014; Abdolali *et al.* 2015; Chieng *et al.* 2015).

**Preparación de soluciones y determinación de Cr (VI).** Las soluciones de agua sintética residual fueron preparadas con el reactivo  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (dicromato de potasio), a una concentración de  $100\text{ppm}$ . Un método espectrofotométrico fue usado para determinar la cantidad de Cr (VI) removido. El complejo rosado formado por la reacción entre el ion Cr (VI) y la 1,5-difenilcarbazida fue medido, a  $540\text{nm}$ , usando agua destilada, como blanco, en el espectrofotómetro Uv-Vis (Wu *et al.* 2013).

**Experimentos de adsorción en sistema por lotes.** En el estudio, para determinar el mejor tamaño de partícula, fue llevado a cabo a temperatura de (25°C), por 120 minutos, a pH 2 y la relación biomasa/solución fue de 5g/L. El efecto del tamaño de partícula (0,355 - 0,5 -1mm) fue medido, a una concentración inicial del metal de 100 ppm. El pH de la solución fue ajustado por adición de HCl o NaOH 1M. Por último, se hizo el estudio cinético por 270 minutos, tanto para la biomasa modificada como sin modificar. Los experimentos fueron realizados al menos por duplicado, bajo iguales condiciones.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Caracterización físico-química de la cáscara de cacao.** En la tabla 1, se relacionan los métodos analíticos y los parámetros utilizados, para determinar la composición elemental de las cáscaras de cacao. De Los resultados obtenidos, se establece que el carbono es el elemento con mayor porcentaje. Además, se confirma la presencia de lignina, de celulosa y de hemicelulosa, por lo cual, se esperaría una alta eficiencia de adsorción, puesto que todos estos grupos hidroxilos y fenólicos pueden favorecer la adsorción de metales (Chen *et al.* 2012).

Tabla 1. Caracterización de la cáscara de cacao.

Parámetros	Valor	Métodos
Carbono %	50,35	AOAC 949.14
Hidrógeno %	5,08	AOAC 984.14
Nitrógeno %	1,28	AOAC 984.13 KJELDAHL
Azufre ppm	0,59	Digestión-nefelometría
Cenizas %	7,75	Termogravimetría
Pectina %	9,54	Digestión ácida-termogravimetría
Lignina %	12,66	Fotocolorimetría
Celulosa %	19,82	Digestión-termogravimetría
Hemicelulosa %	9,45	Digestión-termogravimetría
Calcio mg/g como Ca <sup>2+</sup>	11,20	EAA
Sodio mg/g como Na <sup>+</sup>	0,5	EAA
Potasio mg/g como K <sup>+</sup>	47	EAA
Hierro mg/g como Fe <sup>2+</sup>	0,0014	EAA
Cobre mg/g como Cu <sup>2+</sup>	0,008	EAA
Magnesio mg/g como Mg <sup>2+</sup>	2,20	EAA
Cromo mg/g como Cr <sup>3+</sup>	0,0006	EAA-Horno de grafito

**Experimentos de adsorción.** De los resultados mostrados en la figura 1, se encuentra que es el tamaño de 0,355mm, el cual, favorece el proceso de adsorción, así se establece que, a un menor tamaño, se podría dar un aumento en el área superficial; sin embargo, se sugiere realizar estudios de caracterización de poros a la biomasa. Tal como lo reporta la literatura, el aumento de microporos aumenta el número de sitios accesibles, pero no puede ser relacionado con el tamaño de partícula, pues en realidad, se están usando partículas con un mismo espesor, que es lo que determina la distancia de difusión y la clasificación de tamaño de la partícula de una biomasa por tamices estándar, que funciona en longitud y ancho (Igwe & Abia, 2006). Sala *et al.* (2005) mostraron que las partículas de biomasa más grandes de *Sargassum*

*fluitans* y *Ascophylum nodosum* tenían mayor adsorción de metal que las partículas más pequeñas, al aumentar de 0,15mm a 0,85mm, pero a partir del tamaño de partícula 0,85mm a 1,00mm, la cantidad adsorbida disminuía.

**Equilibrio de adsorción de la cáscara de cacao y sus modificaciones.** Si se analiza la cinética del proceso, se establece que todos los biomateriales superan el 80% de adsorción, luego de los 290 minutos, durante los cuales, se estudió la remoción del ión metálico. De la figura 2, se observa, además, que la modificación con NaOH no supera en ningún momento los porcentajes alcanzados por la biomasa sin modificación y, también, que la hecha con HCl solo lo hace ligeramente; sin embargo, solo con el estudio isotérmico a

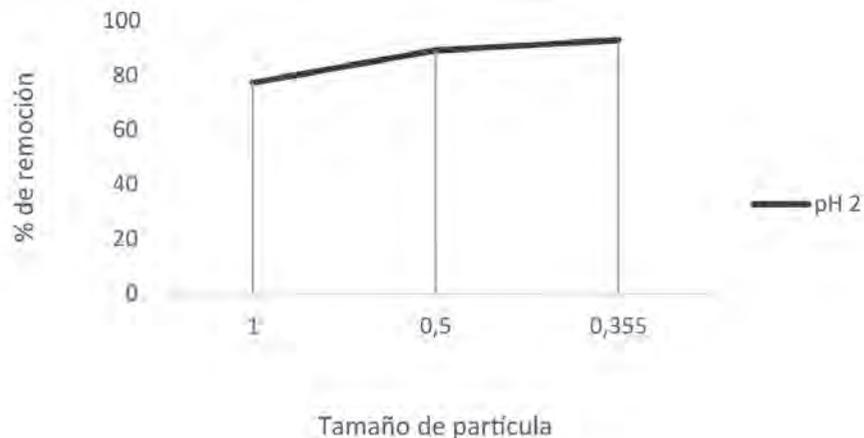


Figura 1. Efecto del tamaño de partícula en la adsorción de Cr (VI).

diferentes concentraciones iniciales de metal, se determinará la capacidad máxima de cada biomaterial.

Al realizar el ajuste de los modelos cinéticos a los datos experimentales, tal como se observa en las figuras 3(a), (b) y (c), se establece que el modelo cinético de Elovich es el que se ajusta de mejor forma a los datos experimentales del proceso de adsorción. Esto indica, que el mecanismo controlante de la adsorción sobre la cáscara de cacao es una reacción de segundo orden y, además, la superficie catalítica de la misma es heterogénea, exhibiendo diferentes energías de activación. En este modelo,  $\alpha$  se relaciona con la energía de quimisorción y  $\beta$ , con la superficie cubierta

El análisis de isotermas de adsorción estuvo basado en el análisis de los parámetros calculados, mostrados en la tabla

2, pudiendo establecer que la máxima capacidad de adsorción es alcanzada con las cáscaras de cacao modificadas con ácido clorhídrico. Asimismo, se observa que los valores de la velocidad inicial de adsorción son mayores en la cáscara de cacao sin modificar, al igual que  $\beta$ , lo que muestra una toma más rápida por la biomasa sin modificar, aunque esto no signifique que sea la de mayor eficiencia.

Respecto al análisis de isotermas de adsorción, se establece la correlación de los datos experimentales con el modelo de Freundlich, así se puede concluir que el enlace se da, principalmente, por fuerzas físicas; la adsorción está limitada a la formación de una monocapa; el número de especies adsorbidas no excede el total de sitios disponibles y no se considera ninguna reacción de desorción que pueda tener lugar durante el proceso de remoción (Alves & Gil, 2009).

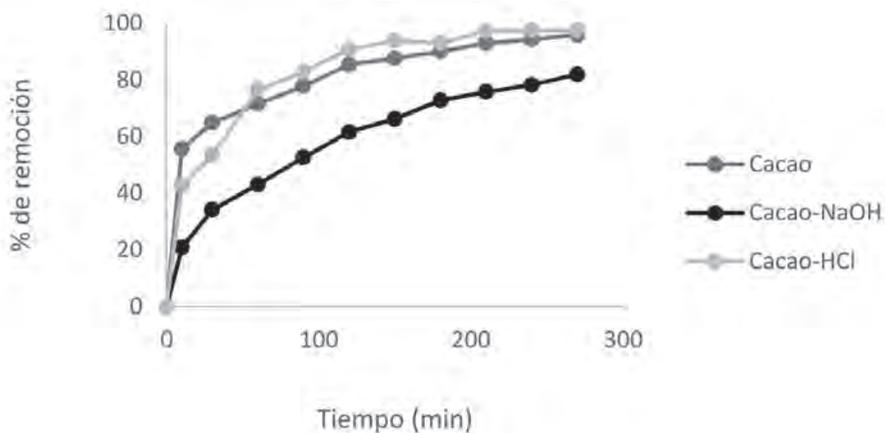
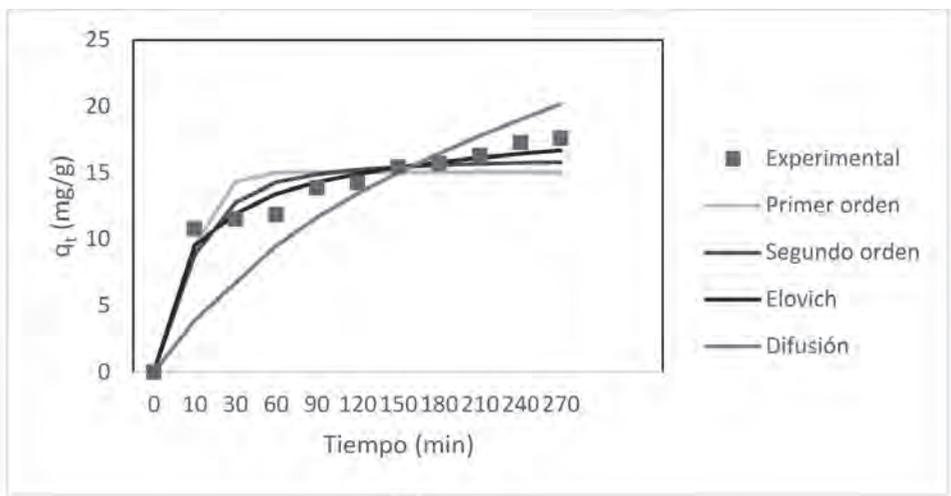
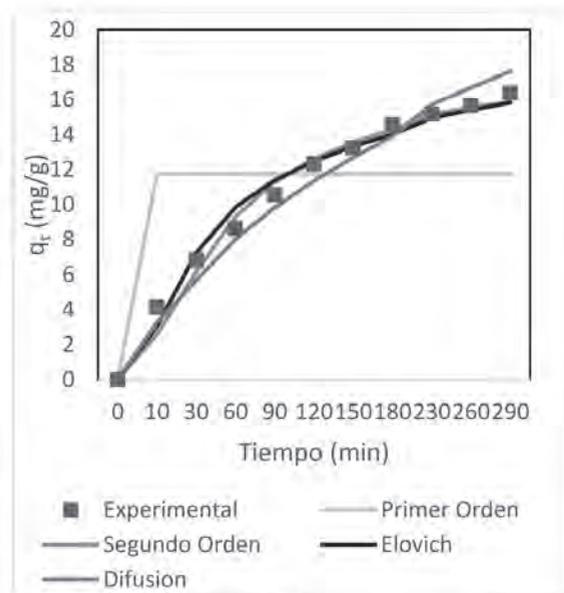


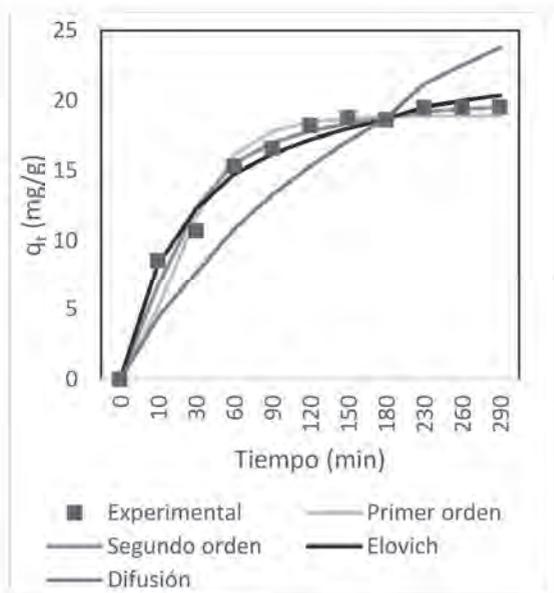
Figura 2. Equilibrio de la adsorción de Cr (VI) sobre cáscara de cacao.



(a)



(b)



(c)

Figura 3. Ajuste de modelos cinéticos Cr (VI). (a) cáscara de cacao sin modificar, (b) modificada con NaOH y (c) modificada con HCl.

Tabla 2. Parámetros de modelos de isotermas para la adsorción de Cr (VI).

Modelo	Parámetros	Cáscara de cacao	Cáscara de cacao modificada con NaOH	Cáscara de cacao modificada con HCl
Langmuir	qmax	227,3484	76,4416	463,5226
	b	0,0112	0,0019	0,0018
	suma	13,4484	34,6255	8,6184
Freundlich	Kf	0,9571	2,84E-05	0,3863
	1/n	1,5336	3,2730	1,2897
	suma	0,5782	8,9567	5,8334

De la caracterización a la biomasa, se observa que es el carbono el elemento con mayor porcentaje; además, se confirma la presencia de lignina, de celulosa y de hemicelulosa, que son bien conocidos por la presencia de grupos funcionales hidroxilos y carboxilos y que han sido relacionados con la remoción de metales. Se establece que es el modelo de Elovich el que describe, de mejor forma, el proceso de adsorción, por lo que se sugiere que la superficie catalítica del bioadsorbente es heterogénea, exhibiendo diferentes energías de activación. De acuerdo a la isoterma de Langmuir, la máxima capacidad de adsorción se encontró con la cáscara de cacao modificada con HCl; además, se mostró que la modificación con NaOH disminuye la capacidad de la biomasa.

Se comparó la capacidad de adsorción de adsorbentes, previamente reportados para Cr (VI), con los presentes resultados, de lo que se estableció, que la cáscara de cacao es una mejor alternativa frente a otros adsorbentes de bajo costo, pues su modificación con HCl alcanza una capacidad de 463mg/g, en comparación con 250mg/g-cáscara de mosambi (*Citrus limetta*) (Saha *et al.* 2013), 278mg/g-cáscara de arroz modificada (El-Shafey, 2005), 131mg/g-cáscara de maní modificada (Owalude & Tella, 2016), 0,582mg/g-Kenaf (*Hibiscus cannabinus*) (Omidvar *et al.* 2016), 9mg/g-carbón de cáscaras de coco (Babel & Kurniawan, 2004), 69,5mg/g-pino de chipre (*Pinus brutia*) (Ozdes *et al.* 2014), entre otros.

Asimismo, con el análisis de los espectros FTIR fue posible identificar los grupos funcionales de la biomasa de cacao, relacionados con la adsorción de metales pesados y la eficiencia de la misma.

En la figura 4 (a), correspondiente a la cáscara de cacao antes de la adsorción, la región desde 3700 a 2900cm<sup>-1</sup> concierne a la vibración por extensión del hidrógeno y un átomo de oxígeno, lo que favorece la aparición de picos de adsorción; además, se observa una tendencia decreciente en este rango y se debe a que el enlace de hidrógeno tiende a ampliar los picos y desplazarlos hacia números de onda más bajos, por tanto, la forma ancha y de gran intensidad del pico sobre 3300 cm<sup>-1</sup> es típica (Amel *et al.* 2012). La vibración de enlaces C-H, correspondiente a grupos alifáticos, se encontró en la región comprendida entre 2990-2800cm<sup>-1</sup>. Asimismo, la tendencia creciente del espectro lo genera la formación de triples enlaces, que se favorecen en la región de 2700 a 1850cm<sup>-1</sup>; para el caso en estudio, los enlaces de este tipo corresponden a grupos funcionales asociados al nitrógeno, donde se observa la aparición de grupos del tipo C≡N sobre 2374cm<sup>-1</sup>, del mismo modo, la aparición de C≡C, sobre la región de 2026cm<sup>-1</sup>. La región del pico sobre 1950 a 1550cm<sup>-1</sup> pertenece a los enlaces dobles, C=C y C=O, correspondiente a grupos aromáticos y grupo carbonilo de éster, respectivamente. En general, se estableció que en la biomasa analizada hay mayor presencia de hidrocarburos alifáticos, aromáticos e insaturados, con una energía vibracional variable.

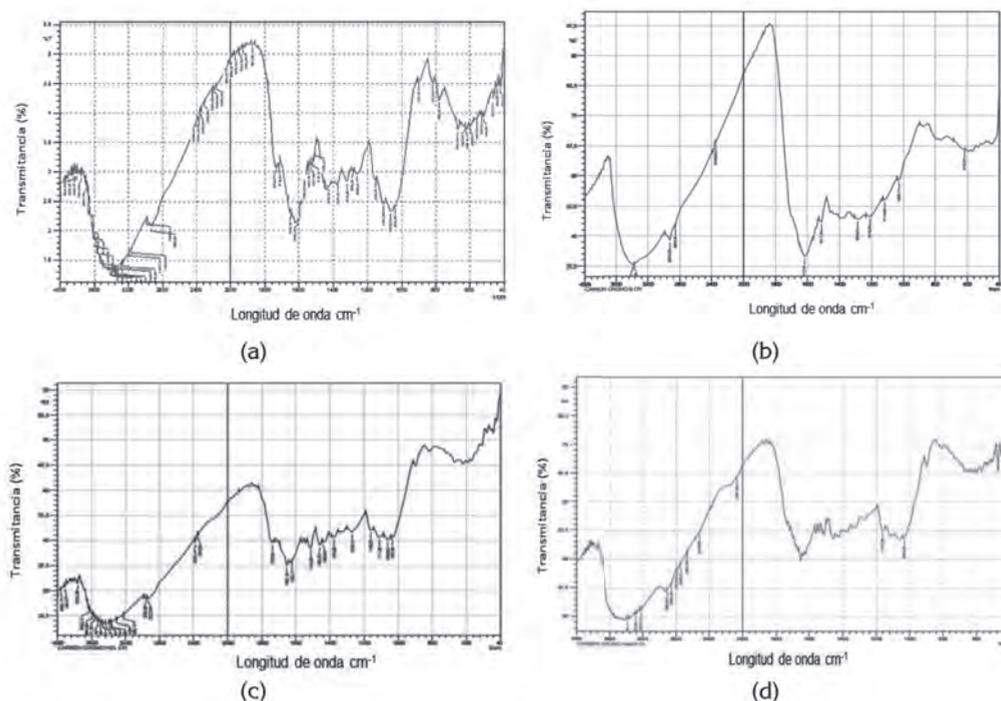


Figura 4. Análisis FTIR. (a) Cáscara de cacao antes de la adsorción, (b) cáscara de cacao-Cromo, (c) cáscara de cacao HCl y (d) cáscara de cacao NaOH.

Al comparar con los grupos funcionales que aparecen luego de la adsorción de cromo, tal como se observa en la figura 4(b), se encontró que hay un cambio en los picos a 1800 y 1600 $\text{cm}^{-1}$ , correspondiente a la vibración C=C. Además, el pico a 1440 $\text{cm}^{-1}$ , asociado al estiramiento del anillo aromático, también sufre un cambio, al igual que los ubicados a 1240 y 1080 $\text{cm}^{-1}$ , relacionados con los enlaces C-H y C-O. En los espectros de la cáscara de cacao tratada [Figuras 4(c) y (d)], se da un cambio en las bandas, entre 3600 y 3200 $\text{cm}^{-1}$ , correspondiente a los grupos -OH y, a diferencia de la modificación con NaOH, en la modificación hecha con HCl, se observa un cambio en el pico que aparece a 1500 $\text{cm}^{-1}$ , correspondiente a la vibración C=C. Así se establece que este grupo puede ser importante en la remoción del cromo y, de allí, la diferencia significativa entre la capacidad de adsorción de cada material.

En conclusión, se observó que la biomasa cuenta con grupos hidroxilo, los cuales, se han encontrado en la mayoría de los carbones activados, utilizados como producto principal en la remoción de contaminantes y se establece, que son principalmente estos grupos los responsables de la toma metálica (Ahmad *et al.* 2012); sin embargo, cabe destacar, que los grupos funcionales que contienen N y S también pueden ser importantes en la adsorción de metales, quizás diferentes al cromo, dependiendo de factores, como el estado químico, la accesibilidad, la cantidad de sitios activos y la afinidad entre los sitios y el metal.

**Agradecimientos:** Los autores desean agradecer al Departamento de Ciencias, Tecnologías e Innovación de Colombia COLCIENCIAS y a la Universidad de Cartagena, por la financiación de este proyecto, en el marco del programa Jóvenes Investigadores e Innovadores. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existen conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ABDOLALI, A.; NGO, H.H.; GUO, W.; ZHOU, J.; DU, B.; WEI, Q.; WANG, X.C.; DAN NGUYEN, P.; 2015. Characterization of a multi-metal binding biosorbent: Chemical modification and desorption studies. *Biores. Technol.* 193:477-487.
2. AHMAD, F.; ASHRI, W.; RADZI, R. 2012. Cocoa (*Theobroma cacao*) shell-based activated carbon by CO<sub>2</sub> activation in removing of Cationic dye from aqueous solution: Kinetics and equilibrium studies. *Chem. Eng. Res. Design.* 90(10):1480-1490.
3. ALTUN, T.; PEHLIVAN, E. 2012; Removal of Cr(VI) from aqueous solutions by modified walnut shells. *Food Chemistry.* 132:693-700.
4. ALVES, L.V.; GIL, L.F. 2009; Adsorption of Cu (II), Cd(II) and Pb (II) from aqueous single metal solutions by succinylated twice-mercerized sugarcane bagasse functionalized with tri ethylen tetramine. *Water Research.* 3(18):4479-4488.
5. AMEL, K.; ABDESLAM, M.; KERROUM, D. 2012. Isotherm and kinetics study of biosorption of cationic dye onto banana peel. *Energy Procedia.* 19:286-295.
6. ASASIAN, N.; KAGHAZCHI, T.; FARAMARZI, A.; HAKIMI-SIBONI, A.; ASADI-KESHEH, R.; KAVAND, M.; MOHTASHAMI, S. 2014. Enhanced mercury adsorption capacity by sulfurization of activated carbon with SO<sub>2</sub> in a bubbling fluidized bed reactor. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 45(4):1588-1596.
7. BABEL, T.; KURNIAWAN, A. 2004. Cr(VI) removal from synthetic wastewater using coconut shell charcoal and commercial activated carbon modified with oxidizing agents and/or chitosan. *Chemosphere.* 54:951-967.
8. CHEN, G.; FAN, J.; LIU, R.; ZENG, G.; CHEN, A.; ZOU, Z. 2012. Removal of Cd (II), Cu (II) and Zn (II) from aqueous solutions by *Phanerochaete chrysosporium*. *Environ. Technol.* 33(23):2653-2659.
9. CHIENG, H.I.; LIM, L.B.L.; PRIYANTHA, N. 2015. Enhancing adsorption capacity of toxic malachite green dye through chemically modified breadnut peel: equilibrium, thermodynamics, kinetics and regeneration studies. *Environ. Technol.* 36(1):86-97.
10. EL-SHAFFEY, E. 2005. Behaviour of reduction-sorption of chromium (VI) from an aqueous solution on a modified sorbent from rice husk. *Water Air Soil Pollut.* 163:81-102.
11. FEIZI, M.; JALALI, M. 2015. Removal of heavy metals from aqueous solutions using sunflower, potato, canola and walnut shell residues. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 54:125-136.
12. GUO, Z.; FAN, J.; ZHANG, J.; KANG, Y.; LIU, H.; JIANG, L.; ZHANG, C. 2016. Sorption heavy metal ions by activated carbons with well-developed microporosity and amino groups derived from *Phragmites australis*.

- lis by ammonium phosphates activation. J. Taiwan Inst. Chem. Eng. 58:290-296.
13. HAMZA, I.A.A.; MARTINCIGH, B.S.; NGILA, J.C.; NYAMORI, V.O. 2013. Adsorption studies of aqueous Pb (II) onto a sugarcane bagasse/multi-walled carbon nanotube composite. Phys. Chem. Earth. 66:157-166.
  14. IGWE, J.; ABIA, A. 2006. Sorption Kinetics and Intraparticulate diffusivity of As (III) bioremediation from aqueous solution, using modified and unmodified coconut fiber. Ecl. Quim. Sao Paulo. 31(3): 23-29.
  15. INGOLE, N.W.; DHARPAL, S.V. 2012. State of art of biosorption technique for treatment of heavy metals bearing wastes. Int. J. Adv. Eng. Technol. 3(2):143-153.
  16. ISLAM, S.; AHMED, K.; RAKNUZZAMAN, M.; AL-MAMUN, H.; ISLAM, M.K. 2015. Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. Ecological indicators. 48:282-291.
  17. ISMAIEL, A.A.; AROUA, M.K.; YUSOFF, R. 2013. Palm shell activated carbon impregnated with task-specific ionic-liquids as a novel adsorbent for the removal of mercury from contaminated water. Chem. Eng. J. 225:306-314.
  18. LARGITTE, L.; BRUDEVY, T.; TANT, T.; COUESPEL DUMESNIL, P.; LODEWYCKX, P. 2016. Comparison of the adsorption of lead by activated carbons from three lignocellulosic precursors. Micropor. Mesopor. Mat. 219:265-275.
  19. LAVADO-MEZA, C.; SUN KOU, M.; RECUAY-ARANA, N. 2012. Remoción de Cr(VI) empleando carbones preparados por activación química a partir de las astillas de eucalipto. Rev. Soc. Quim. 78(1):14-26.
  20. LIU, W.; SUN, W.; HANB, Y.; AHMAD, M.; NI, J. 2014. Adsorption of Cu (II) and Cd (II) on titanatena non-materials synthesis via hydrothermal method under different NaOH concentrations: Role of sodium content. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. 452:138-147.
  21. MA, F.; ZHANG, Z.; JIANG, J.; HU, J. 2015. Chromium (VI) potentiates the DNA adducts (O6-methylguanine) formation of N-nitroso dimethyl amine in rat: Implication on carcinogenic risk. Chemosphere. 139:256-259.
  22. MÄDLER, S.; SUN, F.; TAT, C.; SUDAKOVA, N.; DROUIN, P.; TOOLEY, R.J.; REINER, E.; SWITZER, T.; DYER, R.; KINGSTON, H.M.S.; PAMUKU, M.; FURDUI, V.I. 2016. Trace-Level Analysis of Hexavalent Chromium in Lake Sediment Samples Using Ion Chromatography Tandem Mass Spectrometry. J. Environ. Prot. 7:422-434.
  23. MOMČILOVIĆ, M.; PURENOVIĆ, M.; BOJIĆ, A.; ZARUBICA, A.; RANDELOVIĆ, M. 2011. Removal of lead (II) ions from aqueous solutions by adsorption onto pine cone activated carbon. Desalination. 276:53-59.
  24. OMIDVAR, B.; PIRSAHEB, M.; VOSOUGHI, M.; KHOSRAVI, R.; KAKAVANDI, B.; ZARE, M.; ASADI, A. 2016. Batch and column studies for the adsorption of chromium (VI) on low-cost *Hibiscus cannabinus* kenaf, a green adsorbent. J. Taiwan Institute of Chemical Engineers. 68:80-89.
  25. OWALUDE, S.; TELLA, A. 2016. Removal of hexavalent chromium from aqueous solutions by adsorption on modified groundnut hull. Beni-suef university journal of basic and applied sciences. 5:377-388.
  26. OZDES, D.; GUNDOGDU, A.; KEMER, B.; DURAN, C.; KUCUK, M.; SOYLAK, M. 2014. Assessment of kinetics, thermodynamics and equilibrium parameters of Cr (VI) biosorption onto *Pinus brutia* Ten. Can. J. Chem. Eng. 92:139-147.
  27. SAHA, R.; MUKHERJEE, K.; SAHA, I.; GHOSH, A.; GHOSH, S.; SAHA, B. 2013. Removal of hexavalent chromium from water by adsorption on mosambi (*Citrus limetta*) peel. Res. Chem. Intermed. 39:2245-57.
  28. SALA, E.; GRANHEN, C.; TAVARES, M. 2005. Biosorption Chromium (III) by Sargassum sp. Biomass. Electron. J. Biotechnol. 5:1-7.
  29. TEJADA, C.; QUIÑONEZ, E.; TEJEDA, L.; MARIMÓN, W. 2015a. Absorción de cromo hexavalente en soluciones acuosas por cascaras de naranja (*Citrus sinensis*). Producción + Limpia. 10(1):9-21.
  30. TEJADA, C.; VILLABONA, A.; GARCÉS, L. 2015b. Kinetics of adsorption in mercury removal using cassava (*Manihot esculenta*) and lemon (*Citrus limonum*) wastes modified with citric acid. Ing. Univ. 19(2):283-289.
  31. TEJADA, C.; VILLABONA, A.; RUIZ, E. 2015c. Cinética de adsorción de Cr (VI) usando biomásas residuales

modificadas químicamente en sistemas por lotes y continuo. Rev. ION. 28(1):29-41.

32. TORAB-MOSTAEDI, M.; ASADOLLAHZADEH, M.; HEMMATI, A.; KHOSRAVI, A. 2013. Equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies for biosorption of cadmium and nickel on grapefruit peel. J. Taiwan Inst. Chem. Eng. 44(2):295-302.

33. WU, Y.; LUO, H.; WANG, H.; WANG, C.; ZHANG, J.; ZHANG, Z. 2013. Adsorption of hexavalent chromium from aqueous solutions by graphene modified with cetyl trimethyl ammonium bromide. J. Colloid Interface Sci. 394:183-191.

Recibido: Mayo 12 de 2016

Aceptado: Abril 14 de 2017

#### Cómo citar:

Tejada Tovar, C.; Villabona Ortiz, A.; Jiménez Villadiego, M. 2017. Remoción de cromo hexavalente sobre residuos de cacao pretratados químicamente. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 139-147.



# DIVERSIDAD DE LA ENTOMOFAUNA ACUÁTICA Y CALIDAD DE AGUA EN QUEBRADAS DEL RÍO SAN JUAN, CHOCÓ – COLOMBIA

## DIVERSITY OF AQUATIC ENTOMOFAUNA AND WATER QUALITY IN STREAMS OF SAN JUAN RIVER, CHOCÓ – COLOMBIA

Zuleyma Mosquera Murillo<sup>1</sup>, Mayrin Minerva Mosquera Mosquera<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bióloga, M.Sc. Biología, Profesora Asistente, Programa de Biología. Universidad Tecnológica del Chocó, Ciudadela Universitaria, B/ Nicolás Medrano, Quibdó - Chocó, Colombia, e-mail: d-zuleyma.mosquera@utch.edu.co; <sup>2</sup> Bióloga, Grupo de Limnología. Universidad Tecnológica del Chocó, Ciudadela Universitaria, B/ Nicolás Medrano, Quibdó - Chocó, Colombia, e-mail: mairynmosquera@hotmail.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 149-161, Enero-Junio, 2017

### RESUMEN

A pesar de su destacada importancia, los ecosistemas acuáticos de la región del Chocó vienen sufriendo grandes impactos, causados por las actividades humanas, entre ellas, la minería, por ser esta una de las principales actividades económicas de la región. En este sentido y considerando el valor de los insectos acuáticos, como bioindicadores de calidad de agua, el objetivo de este estudio fue evaluar la diversidad de la entomofauna acuática y la calidad de agua, en quebradas de la cuenca del río San Juan (Chocó-Colombia). Con tal propósito, se realizaron colectas de insectos acuáticos, entre mayo y agosto de 2015, en múltiples hábitats (piedras, hojarasca, vegetación ribereña), de cinco quebradas de la cuenca estudiada. Asimismo, se midieron algunas variables fisicoquímicas del agua y se evaluaron los índices BMWP/Col y ASPT, para determinar la calidad del agua. Un total de 4.100 individuos fueron colectados, correspondientes a nueve órdenes, 37 familias y 59 géneros. Ephemeroptera fue el más abundante de los órdenes (34,32%) y el de mayor riqueza taxonómica (13 géneros). En relación a la diversidad, casi todas las quebradas estudiadas corresponden a diversidad alta, a excepción de Guapandó, con diversidad media, pero no se presentaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), mientras que Raspadurita fue la que presentó la mayor riqueza taxonómica, con el 76,56% de los géneros registrados en el estudio. Los valores de similaridad indican que las quebradas muestran una alta variabilidad en sus comunidades. Los valores del índice BMWP/Col clasifican a las quebradas como muy limpias, con calidad buena, mientras que el índice ASPT, las clasifica como ligeramente contaminadas, con calidad aceptable.

Palabras clave: Bioindicación, fuentes hídricas, insectos acuáticos.

### SUMMARY

Despite its outstanding importance, the aquatic ecosystems of the Chocó region are suffering great impacts caused by human activities, including mining; being the one of the main economic activities of the region. In this sense and considering the value of aquatic insects as bio indicators of water quality, the objective of this study was to evaluate the diversity of aquatic entomofauna and water quality in streams of the San Juan River (Chocó-Colombia). For this purpose, aquatic insects were collected between May and August 2015 in multiple habitats (stones, leaf litter and riparian vegetation) of five streams of the studied basin. In addition, some physicochemical variables of water were measured and BMWP/Col and ASPT indices were evaluated for water quality. 4119 individuals were collected, corresponding to nine orders, 37 families and 59 genera. Ephemeroptera was the most abundant of the orders (34.32%), and the highest taxonomic richness (13 genera). With regard to diversity, almost all the streams studied correspond to high diversity, except Guapandó, but no significant differences ( $p > 0.05$ ) were presented and Raspadurita was the one that presented the greatest taxonomic richness with 76.56% of the genera recorded in the study. Similarity values indicate that the streams exhibit high variability in their communities. BMWP/Col index values classified streams as very clean with good quality, while the ASPT index classifies as slightly contaminated with acceptable quality.

Key words: Aquatic insects, bioindication, water sources.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas lóticos son considerados uno de los recursos naturales más importantes para la vida; sin embargo, en las últimas décadas han sufrido grandes impactos, causados por las actividades humanas, que han llevado a una reducción sustancial de la diversidad acuática, gran parte, de la cual, está representada por los insectos acuáticos, que son, con frecuencia, el principal componente animal de estos ecosistemas (Lara-Lara *et al.* 2008).

Esta problemática ha generado un creciente interés por conocer el estado de salud de los ecosistemas acuáticos y su evolución en el tiempo, con el fin de encontrar estándares de juicio de "Calidad de agua", que permitan satisfacer las demandas de uso del recurso (Figuerola *et al.* 2003). De ahí, que es conveniente utilizar metodologías complementarias a las tradicionales, para determinar la calidad de las aguas y, en ese sentido, es indispensable poner en práctica los conceptos de bioindicación, evaluación biológica e índices de calidad, en cuanto a aguas se refiere.

La evaluación de la calidad del agua, se ha realizado, tradicionalmente, con base en los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos (Madera *et al.* 2016; Roldán, 2016); sin embargo, en los últimos años, muchos países han aceptado la inclusión de las comunidades acuáticas, principalmente insectos, en la evaluación de la calidad de los ecosistemas acuáticos (Roldán, 2003; Prat *et al.* 2009; Roldán, 2016), debido a que los aspectos fisicoquímicos con los que por tradición se evalúan, solo dan una idea puntual sobre la calidad del ambiente y no ofrecen información sobre las variaciones en el tiempo (Alba-Tercedor, 1996; Springer, 2010).

Los insectos acuáticos son los organismos más ampliamente usados como bioindicadores, por diversas razones (Resh, 2008), entre las que se destacan, el tener una amplia distribución geográfica, una gran riqueza de especies con gran diversidad de respuestas a los gradientes ambientales, ser en su mayoría sedentarios, la posibilidad de utilizar su reacción de huida o deriva como indicador de contaminación y tener ciclos de vida largos, que permiten integrar los efectos de la contaminación en el tiempo (Prat *et al.* 2009; Trigal-Domínguez *et al.* 2009). De otro lado, los integrantes de esta comunidad son sensibles a la contaminación orgánica y la degradación del hábitat, por tal razón, en la evaluación ambiental del recurso hídrico es valioso su potencial como bioindicadores de calidad de agua (Merritt & Cummins, 1996).

La riqueza de insectos, la compleja red de interacciones que establecen con otros organismos y su característica de rápida respuesta ante las perturbaciones del medio, hacen de este grupo uno de los mejores bioindicadores del estado y

funcionamiento del ecosistema, debido a que, muchos de ellos, tienen diferentes tolerancias a perturbaciones de su ecosistema (Sánchez *et al.* 2006).

La presencia y abundancia de los organismos bioindicadores es expresa mediante índices denominados "bióticos", los cuales, tienen la ventaja de tomar en cuenta la composición, mediante la ponderación, de acuerdo a la sensibilidad que presentan al factor de perturbación que se quiera valorar (Segnini, 2003).

En Colombia, se han realizado algunas investigaciones que determinan la diversidad de la entomofauna acuática, así como su uso en la determinación de la calidad del agua en diversos sistemas acuáticos, pudiendo mencionar, entre las más recientes, las de Meza *et al.* (2012), Vásquez & Reinoso (2012), Ramírez *et al.* (2013), Roldán *et al.* (2014), Zúñiga *et al.* (2013; 2014), Zamora (2015), entre otras. En el caso del departamento del Chocó, el conocimiento sobre la diversidad de la entomofauna acuática es aun escaso, siendo los únicos trabajos publicados los de Torres *et al.* (2006), Mosquera *et al.* (2006), Córdoba *et al.* (2007), Salas *et al.* (2011) y Mosquera & Córdoba (2015) y lo mismo sucede en cuanto a su uso en evaluación de calidad de agua, con solo dos trabajos publicados (Rivas *et al.* 2003; Asprilla *et al.* 2006).

Dada la escasez de información sobre calidad de agua, con base en la entomofauna acuática, así como la diversidad de esta comunidad en la región del Chocó, es prioritaria la realización de este tipo de investigaciones, teniendo en cuenta la alta diversidad que se ha reconocido y que posee la zona del Chocó, para diferentes grupos de insectos acuáticos (Mosquera & Córdoba 2015; González *et al.* 2016; Rozo & Salinas, 2016). Por esto, el objetivo de este estudio fue determinar la diversidad y la abundancia de los insectos acuáticos y la calidad del agua en diferentes quebradas, pertenecientes a la cuenca del río San Juan (Chocó), como una manera de proveer información específica sobre la diversidad y la riqueza de insectos acuáticos, que presentan estas quebradas, además de evaluar su calidad, con base en la diversidad y abundancia de esta comunidad biológica, contribuyendo a la generación de una línea de investigaciones de referencia para futuros programas de conservación, teniendo en cuenta los impactos sobre estas fuentes hídricas, como resultado de la actividad minera, al ser ésta, una de las principales vocaciones de la región.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio.** La zona de estudio, se encuentra localizada en los municipios de Tadó y Unión Panamericana, ubicados en la cuenca media del río San Juan, en el departamento del Chocó, Colombia (Figura 1 y 2). Esta cuenca, se ubica entre los 5°16'N y 76°73'O, presenta una temperatura de entre los

27 y 29°C y una precipitación anual promedio, que oscila entre los 6.800 y 7.600mm, a una altura de 75msnm y pertenece a la zona de vida de Bosque Pluvial Tropical (bp-T) (Holdridge, 1996). En la tabla 1, se describen las características de las cinco quebradas seleccionadas en la zona de estudio.

**Comunidad de insectos acuáticos:** Se realizaron cuatro muestreos entre abril y agosto de 2015. Para la colecta de los organismos, se seleccionó un tramo representativo de 20m<sup>2</sup> en cada una de las quebradas objeto de estudio (Rolán, 2003), empleando diferentes métodos, de acuerdo al sustrato presente: una red D-net, para la vegetación margi-

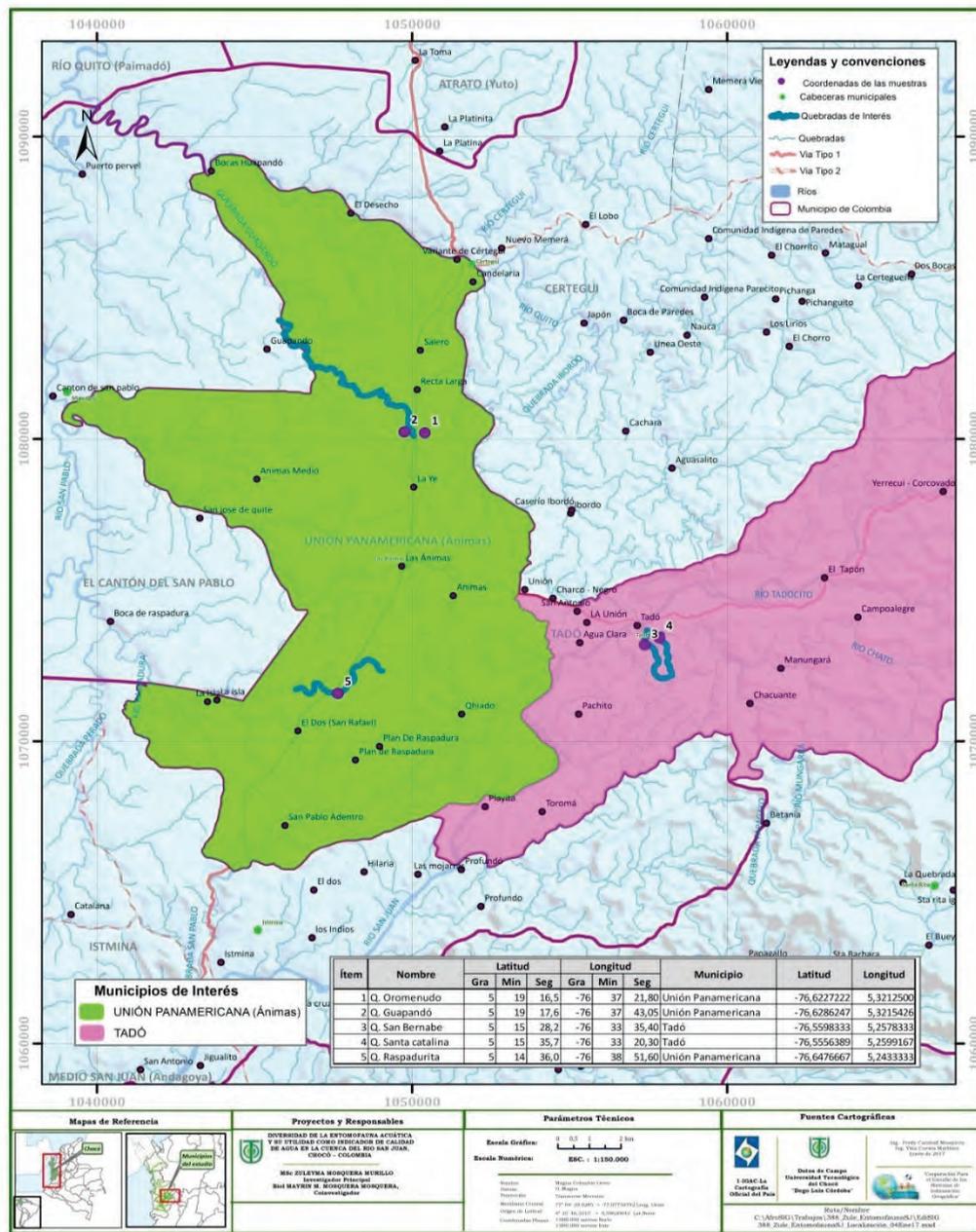


Figura 1. Localización de las quebradas estudiadas en la zona del San Juan, Chocó.

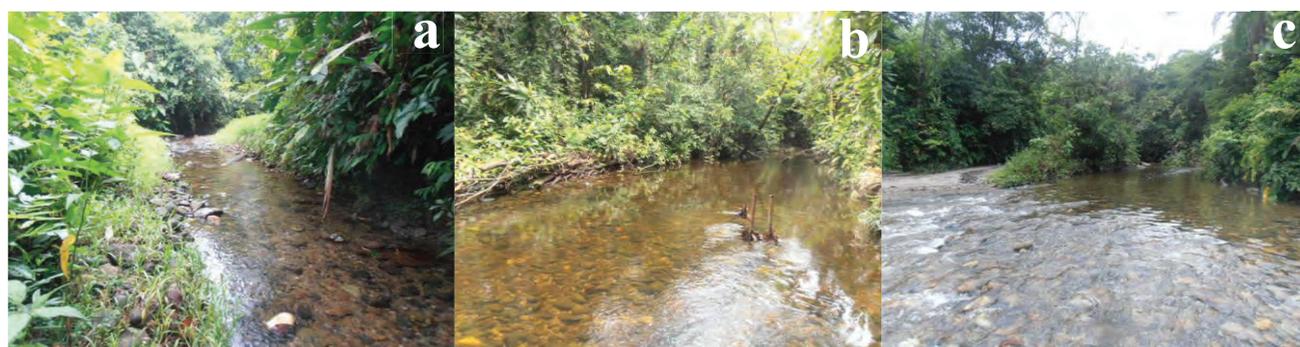


Figura 2. Quebradas de la cuenca del río San Juan: a) Quebrada Santa Catalina; b) Quebrada Guapandó; c) Quebrada Raspadurita. Fotos: Zuleyma Mosquera-Murillo.

Tabla 1. Descripción de las quebradas estudiadas en la cuenca media del río San Juan, Chocó – Colombia.

Quebrada	Coordenadas y Altitud	Descripción
Quebrada Oromenudo	5°19' LN 76°37' LO 130 msnm	Ancho promedio de 1,44m y profundidad de 0,28m. Temperatura del agua promedio de 26,35°C, velocidad de 0,23m/s y caudal de 0,080m <sup>3</sup> /s. Sustrato cubierto por arena, piedras y hojarasca. La vegetación es la asociada a ambientes de terrazas de material rocoso, cubierta por epifitos (musgos y hepáticas), junto a especies de helechos, Cyclanthaceas e individuos herbáceos de Rubiaceae.
Quebrada Guapando	5°19' LN 76°34' LO 103msnm	Ancho promedio de 6,6m y profundidad de 0,31m. Temperatura del agua promedio de 26,80°C, velocidad de 0,44m/s y caudal de 0,85m <sup>3</sup> /s. Sustrato cubierto por piedras y guijarros. Vegetación de llanura aluvial con bosque medianamente intervenido, representado a nivel de ribera por las familias Moraceae, Rubiaceae, Acanthaceae, Myristicaceae, Araceae y a nivel del suelo por Cyclanthaceae y Pteridofitos (helechos) (Figura 2).
Quebrada Santa Catalina	5°15' LN 76°33' LO 95msnm	Ancho promedio de 3,03m y profundidad de 0,32m. Temperatura del agua de 27,57°C, velocidad de 0,31m/s y caudal de 0,27m <sup>3</sup> /s. Sustrato cubierto por arena y piedras. Vegetación de llanura aluvial, con bosque medianamente intervenido, representado por las familias Rubiaceae, Melastomataceae ( <i>Miconia</i> sp.), Heliconiaceae, Araceae, Dioscoreaceae, Acanthaceae y gramíneas ( <i>Paspalum</i> sp.) (Figura 2).
Quebrada Raspadurita	5°14' LN 76°38' LO 133msnm	Ancho promedio de 11,64m y profundidad de 0,46m. Temperatura del agua de 26,30°C, velocidad de 0,49m/s y caudal de 2,52m <sup>3</sup> /s. Sustrato cubierto por piedras de gran tamaño. Vegetación de llanura aluvial, bosque intervenido, con individuos de porte arbóreo con algunas familias como Mimosaceae ( <i>Pichinde</i> ), Myrtaceae, Araceae, Helechos ( <i>Sticherus</i> sp. y <i>Gleichenia</i> sp.) y algunas gramíneas (Figura 2).
Quebrada San Bernabé	5°15' LN 76°33' LO 94msnm	Ancho promedio de 4,97m y profundidad de 0,35m. Temperatura del agua de 26,37°C, velocidad de 0,39m/s y caudal de 0,63m <sup>3</sup> /s. Sustrato cubierto por piedras y arena. Vegetación de llanura aluvial con bosque altamente intervenido. Se distinguen en sus riberas las familias Melastomataceae ( <i>Miconia</i> sp.), Helechos ( <i>Sticherus</i> sp. y <i>Gleichenia</i> sp.), Araceae, Gramíneas ( <i>Paspalum</i> sp.), Myristicaceae, Araceae y Rubiaceae.

nal y pinzas entomológicas, para los organismos presentes en piedras, en troncos y en hojarasca. Se utilizó, igual esfuerzo de muestreo, en cada uno de los sustratos presentes: piedra, hojarasca, vegetación ribereña y troncos (30 minutos), con dos réplicas para cada uno. Aunque cada muestra se procesó por separado, para los análisis los registros de abundancia fueron promediados y considerados como un solo dato, para cada fecha y quebrada. Los organismos colectados fueron fijados en alcohol al 70% y transportados al Laboratorio de Limnología de la Universidad Tecnológica del Chocó, donde se realizó la determinación taxonómica de los especímenes hasta género, utilizando las claves de Domínguez *et al.* (2006), Merritt *et al.* (2008), Domínguez & Fernández (2009), Springer *et al.* (2010). Los ejemplares, se encuentran depositados en la Colección Limnológica del Chocó "CLCH".

**Calidad de agua de las quebradas:** Para la evaluación de calidad del agua en cada una de las quebradas estudiadas, se utilizó el índice BMWP (Biological Monitoring Working Party), adaptado para Colombia (BMWP/Col.), que se basa en algunas familias de macroinvertebrados acuáticos, cuyos puntajes individuales reflejan su tolerancia a la contaminación. El índice, se obtiene por la suma total de la puntuación de cada familia (1-10) y define clases, calidad, puntaje y categorías (Roldán, 2003). Igualmente, se calculó el índice ASPT (Average Score Per Taxon = Puntaje promedio por Taxon = 1-10), que se obtiene al dividir el BMWP, por el número de taxa incluidos en el cálculo (Armitage *et al.* 1983).

En cada quebrada estudiada, se midieron *in situ*, con un equipo digital multiparámetro (HACH HQ30d), el oxígeno disuelto, el pH, la temperatura del agua, la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos; la alcalinidad total, se midió siguiendo las recomendaciones de Standard Methods (APHA, 2012), en el Laboratorio de Limnología de la Universidad Tecnológica del Chocó. Además, se tomaron muestras de agua para ser analizadas en el laboratorio y determinar los nitritos, los nitratos, el amonio y los fosfatos.

**Análisis de datos:** La diversidad de la comunidad de insectos acuáticos, se estimó mediante el índice de diversidad de Shannon - Weaver, el índice de dominancia de Simpson y la riqueza específica (programa Past versión 1.57, Hammer *et al.* 2001). Para comparar la composición, a nivel de géneros, de la comunidad de insectos acuáticos entre quebradas, se realizó un análisis Cluster, utilizando el índice de similitud de Bray-Curtis. Las diferencias en diversidad, en dominancia y en riqueza específica entre quebradas fueron evaluadas mediante un análisis de varianza (ANOVA una vía). La calidad de agua de las quebradas, se evaluó con los índices BMWP/Col (Roldán, 2003) y ASPT (Average Score Per Taxon, Armitage & Petts, 1992). Adicionalmente, se eje-

cutó una prueba de correlación múltiple entre la estructura de la comunidad de insectos acuáticos, los valores de los índices BMWP/Col, ASPT y las variables fisicoquímicas. Todos los análisis estadísticos mencionados fueron realizados mediante los programas StatGraphics versión 5.1.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Diversidad de insectos acuáticos:** Se colectaron 4.100 individuos, distribuidos en nueve órdenes, 37 familias y 59 géneros (Tabla 2). En la quebrada Guapandó, se colectaron 1.678 individuos, en 30 familias y 43 géneros, de los cuales, 3 fueron exclusivos de este ecosistema: *Marilia*, *Laccophilus*, *Maruina* y *Georissus*. En la quebrada Raspapurita, 1.405 individuos, en 26 familias y 46 géneros, donde *Tricorythopsis* es exclusivo de esta quebrada. En la quebrada Santa Catalina, se colectaron 513 individuos, en 23 familias y 38 géneros, de los cuales, 3 fueron exclusivos de esta quebrada: *Macrostenum* y *Helichus*. En la quebrada San Bernabé, 376 individuos, en 23 familias y 35 géneros, siendo *Simulium* exclusivo de esta quebrada. En la quebrada Oromenudo, se colectaron 128 individuos en 17 familias y 29 géneros, donde *Ranatra* fue exclusivo de esta quebrada. En cuanto a la composición, se encontró que el 37,11% de los géneros registrados (16) son compartidos por las cinco quebradas estudiadas, entre ellos *Cylloepus*, *Macrelmis*, *Smicridea*, *Argia*, *Psephenus*, *Corydalis*, *Anacronuria*, *Farrrodes*, *Thraulodes*, *Americabaetis* y *Tikuna*; este último ha sido reportado, recientemente, por segunda vez para el país, por Mosquera & Córdoba (en prensa) (Tabla 2) (Figura 3).

A nivel de órdenes, Ephemeroptera fue el más representativo, tanto en términos de abundancia, con 1.407 organismos (34,32%), como de riqueza específica (13 géneros), seguido de Trichoptera, con 1.026 organismos (25,02%) y Odonata, con 745 (18,17%) y, en menor proporción, se registra Lepidoptera, con 2 organismos (0,05%) (Tabla 2).

La composición de la comunidad de insectos acuáticos en esta investigación es similar a la reportada por Mosquera & Córdoba (2015) en otras quebradas, ubicadas en la misma zona de estudio, con prevalencia de los órdenes Ephemeroptera y Trichoptera. Particularmente, el grupo de los efemerópteros, sobresale en todas las quebradas, lo cual, se relaciona con los múltiples ciclos de reproducción en el año (polivoltinos) y su capacidad de colonizar diferentes sustratos, presentando mayor diversidad en ríos de aguas bien oxigenadas, con fondo rocoso, al ser capaces de vivir en casi todo tipo de cuerpos dulceacuícolas (Prat *et al.* 2009).

Las diferencias en abundancia y en composición de la comunidad de insectos acuáticos observadas entre las quebradas, se puede atribuir a las diferencias en morfología que genera cambios en el tipo y disponibilidad de los sustratos, vegeta-

Tabla 2. Insectos acuáticos colectados en las quebradas estudiadas.

ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	Qda. Oromenudo	Qda. San Bernabé	Qda. Santa Catalina	Qda. Raspadurita	Qda. Guapandó	Densidad total	Densidad relativa (%)
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Americabaetis</i>	7	19	13	10	41	90	2,20
		<i>Cloeodes</i>	10	42	9	14	55	130	3,17
		<i>Baetodes</i>	4	25	52	33	34	148	3,61
		<i>Camelobaetidius</i>	2	0	30	31	23	86	2,10
	Leptophlebiidae	<i>Miroculis</i>	6	2	0	2	7	17	0,41
		<i>Farrodes</i>	8	18	13	31	1	71	1,73
		<i>Thraulodes</i>	15	8	56	46	70	195	4,76
		<i>Terpides</i>	10	5	11	33	9	68	1,66
		<i>Tikuna</i>	4	28	7	134	60	233	5,68
	Leptohyphidae	<i>Hydrosmilodon</i>	2	0	80	90	0	172	4,20
		<i>Tricorythopsis</i>	0	0	0	16	0	16	0,39
Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i>	0	1	0	178	0	179	4,37	
	Euthyplociidae	<i>Campylocia</i>	1	0	0	1	0	2	0,05
Trichoptera	Odontoceridae	<i>Marilia</i>	0	0	0	0	1	1	0,02
	Leptoceridae	<i>Nectopsyche</i>	4	0	2	19	16	41	1,00
	Hydropsychidae	<i>Smicridea</i>	1	4	16	117	694	832	20,29
		<i>Macrostemum</i>	0	0	1	0	0	1	0,02
		<i>Macronema</i>	4	0	0	1	0	5	0,12
		<i>Leptonema</i>	1	0	1	3	0	5	0,12
	Glossosomatidae	<i>Culoptila</i>	0	0	0	3	69	72	1,76
	Calamoceratidae	<i>Phylloicus</i>	0	0	0	2	1	3	0,07
	Polycetropodidae	<i>Poliplectropus</i>	0	3	3	3	3	12	0,29
		<i>Cyrnellus</i>	2	3	0	1	0	6	0,15
Phylopotamidae	<i>Chimarra</i>	2	10	29	4	3	48	1,17	
Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	3	9	3	162	2	179	4,37
Odonata	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	0	24	32	25	8	89	2,17
	Platystictidae	<i>Palaemnema</i>	0	0	6	10	29	45	1,10
	Libellulidae	<i>Perithemis</i>	8	25	33	27	19	112	2,73
		<i>Dythemis</i>	2	7	7	12	33	61	1,49
		<i>Elasmothemis</i>	4	0	1	4	15	24	0,59
	Politoridae	<i>Polythore</i>	4	2	1	8	20	35	0,85
	Cordulidae	<i>Neocordulia</i>	0	4	0	0	10	14	0,34
	Coenagrionidae	<i>Argia</i>	9	16	17	35	67	144	3,51
	Perilestidae	<i>Perissolestes</i>	4	1	0	0	0	5	0,12
	Gomphidae	<i>Desmoghomphus</i>	0	18	24	33	127	202	4,93
<i>Styloghomphus</i>		0	0	0	1	1	2	0,05	
Megapodagrionidae	<i>Heteragrion</i>	0	0	6	2	4	12	0,29	
Hemiptera	Naucoridae	<i>Cryphocricos</i>	0	3	2	7	4	16	0,39
		<i>Limnocoris</i>	0	2	3	0	0	5	0,12
		<i>Ambrysus</i>	0	1	4	9	7	21	0,51
		<i>Pelocoris</i>	0	9	5	8	3	25	0,61
	Nepidae	<i>Ranatra</i>	2	0	0	0	0	2	0,05
	Veliidae	<i>Rhagovelia</i>	1	14	6	3	2	26	0,63

Continuación Tabla 2.

Coleoptera	Gyrinidae	<i>Gyretes</i>	1	11	0	0	0	12	0,29
	Ptilodactilidae	<i>Anchytarsus</i>	0	16	6	2	2	26	0,63
	Elmidae	<i>Cylloepus</i>	0	8	17	28	37	90	2,20
		<i>Microcylloepus</i>	0	0	1	1	0	2	0,05
		<i>Macrelmis</i>	2	3	0	68	10	83	2,02
	Dryopidae	<i>Helichus</i>	0	0	2	0	0	2	0,05
	Psephenidae	<i>Psephenus</i>	5	3	4	88	40	140	3,41
	Dytiscidae	<i>Laccophilus</i>	0	0	0	0	2	2	0,05
Georissidae	<i>Georisuss</i>	0	0	0	0	6	6	0,15	
Diptera	Chironomidae	<i>Pentaneura</i>	0	0	2	1	0	3	0,07
		<i>Ablabesmyia</i>	0	0	0	12	48	60	1,46
	Tipulidae	<i>Hexatoma</i>	0	1	1	11	35	48	1,17
	Psychodidae	<i>Maruina</i>	0	0	0	0	1	1	0,02
	Simuliidae	<i>Simulium</i>	0	2	0	0	0	2	0,05
Lepidoptera	Crambidae	<i>Petrophila</i>	0	0	0	0	2	2	0,05
Megaloptera	Corydalidae	<i>Corydalis</i>	0	29	7	76	57	169	4,12
Abundancia Total			128	376	513	1405	1678	4100	
Puntaje BMWP/Col			129	165	174	190	198		
ASPT			8,06	7,85	7,56	7,6	7,61		



Figura 3. Detalle de algunos géneros registrados: a) Tikuna (*Ephemeroptera*); b) Miroculis (*Ephemeroptera*); c) Chimarra (*Trichoptera*); d) Nectopsiche (*Trichoptera*); e) Macrostemum (*Trichoptera*); f) Polythore (*Odonata*). Fuente: Z. Mosquera.

ción ribereña, cauce, velocidad de la corriente, así como en las condiciones fisicoquímicas de las mismas, ya que, en general, los macroinvertebrados que viven en ecosistemas lóticos (ríos, arroyos, quebradas), se acomodan en un gradiente longitudinal y transversal en relación con la velocidad de la corriente y de la colonización de los diferentes microhábitats, por lo tanto, existe un mosaico faunístico correspondiente con el mosaico de tipos de sedimentos depositados sobre el lecho del río y, en consecuencia, se puede esperar una mayor abundancia de organismos en aquellos tramos con mayor heterogeneidad del sustrato y, por el contrario, allí donde el sustrato sea uniforme o exista una mayor homogeneidad del lecho del río, la abundancia esperada será menor (Segnini, 2003; Arango *et al.* 2008), situación que se presenta en el presente estudio.

Los resultados de los índices ecológicos fueron homogéneos entre quebradas, como lo demuestra el Análisis de Varianza, con  $p > 0,05$ , en todos los casos (Figura 4). El índice de diversidad Shannon-Weaver ( $H'$ ) presentó su máximo valor en la quebrada San Bernabé, con rangos entre 3,14 y 2,52bits/ind. La dominancia de Simpson presentó rangos entre 0,94 y 0,80, entre tanto, la riqueza específica fue mayor en Raspadurita, con un rango de entre 29 y 46 géneros.

Considerando que los valores  $H' \geq 2,70$  comprenden alta diversidad y  $H'$  entre 1,50-2,70, corresponden a diversidad media (Margalef, 1983), se puede clasificar a las quebradas Santa Catalina, Oromenudo, San Bernabé y Raspadurita, como correspondientes a diversidad alta, mientras que la diversidad es media para la quebrada Guapandó. Estos resultados son explicados por la variedad de sustratos, que se encontraron presentes en las mismas, los que estuvieron constituidos, principalmente, por piedras, por hojarasca, por sedimento y por vegetación ribereña (Figura 2), lo que sugiere, una mayor variedad de fuentes de alimento y de hábitos alimenticios, que brindan estabilidad para la colonización, la alimentación, el refugio y la reproducción de un gran número de invertebrados acuáticos (Chará, 2003). Asimismo, en estos lugares existió una buena cobertura vegetal en la zona de ribera que, en cierta forma, mejora el hábitat (Cárdenas *et al.* 2007), puesto que contribuye a tener mejor calidad de agua, mayor integridad del cauce, mejor hábitat físico y, consecuentemente, una biota más diversa dentro de las quebradas (Chará *et al.* 2007). Los valores altos de dominancia, asociados a la alta abundancia que presentaron (Holzenthall *et al.* 2007; Zúñiga *et al.* 2014) han sido reportados como abundantes en otras investigaciones realizadas en la zona, como las de Asprilla *et al.* (2006), Córdoba *et al.* (2007) y Mosquera & Córdoba (2015).

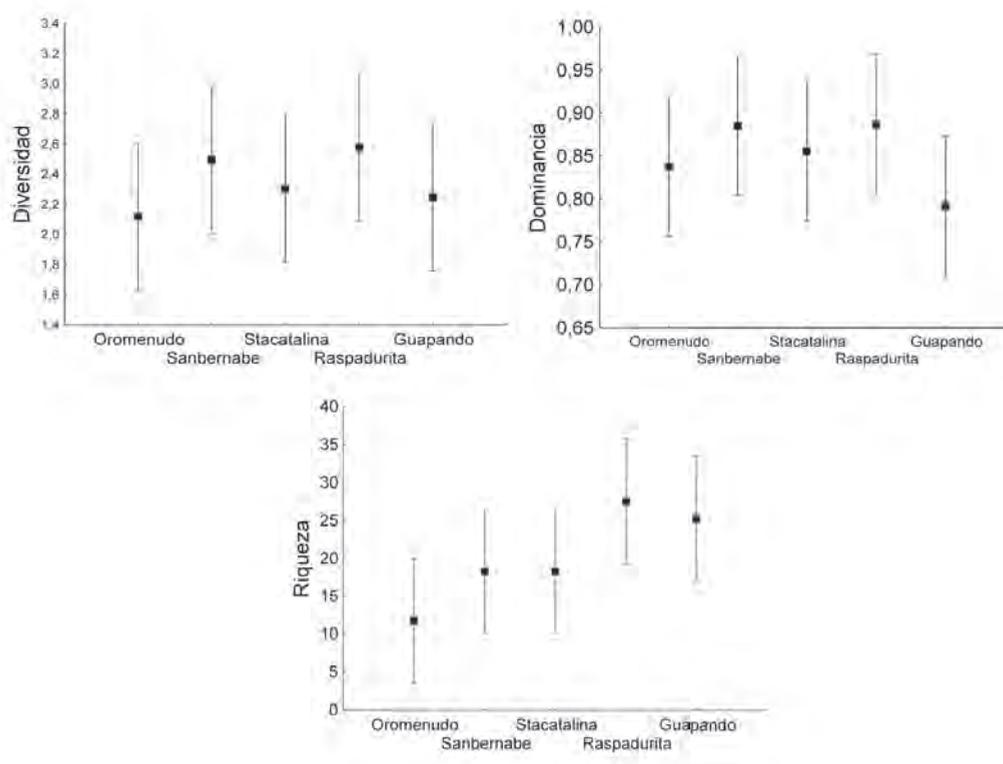


Figura 4. Gráfico de medias para la diversidad, dominancia y riqueza específica de macroinvertebrados acuáticos en las quebradas estudiadas.

Al analizar la similitud entre quebradas, se observa la formación de dos grupos bien definidos (Figura 5), un primer grupo formado por las quebradas Guapandó y Raspadurita y otro por Santa Catalina, San Bernabé y Oromenudo, con la más alta similitud, observada entre las quebradas San Bernabé y Santa Catalina, con un 51,84%, mientras que las más disimiles son Oromenudo y Raspadurita, con un 21,92% (Figura 5).

Los valores de similitud observados, con la mayor similitud entre las quebradas Santa Catalina y San Bernabé, son atribuibles a su cercanía, al encontrarse ambas en el casco urbano del municipio de Tadó (Chocó), lo que generó condiciones similares de hábitat y de cobertura boscosa, entre estos dos ecosistemas, los cuales, son factores importantes

para los macroinvertebrados acuáticos, como ha sido señalado por diversos autores (Alonso, 2006; Arango *et al.* 2008), quienes resaltan la importancia de la vegetación ribereña en la composición, la riqueza y la abundancia de macroinvertebrados acuáticos, al proveer heterogeneidad de hábitat para el establecimiento de la mayoría de grupos de macroinvertebrados (Richardson & Moore, 2010); igualmente, estas quebradas comparten un importante número de familias y de géneros, aunque no se pueden descartar otros factores, como la temperatura del agua, las adaptaciones fisiológicas de los organismos, la amplitud de los cauces, los niveles de oxígeno y la corriente de las quebradas, factores que influyen sobre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y, entre ellos, los insectos (Roldán, 2003).

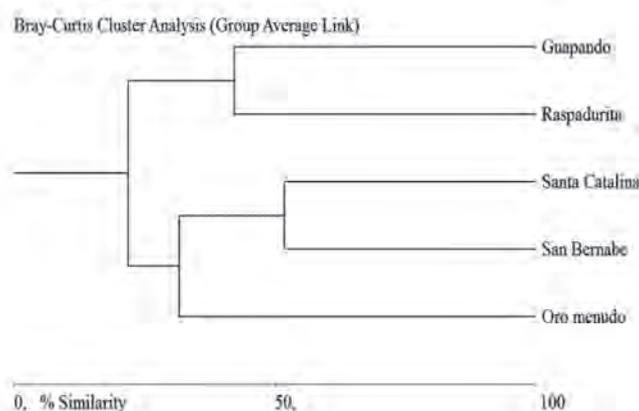


Figura 5. Similitud de la composición de géneros en las quebradas estudiadas.

**Calidad de agua de las quebradas:** La calidad del agua de las cinco quebradas, se evaluó con el índice BMWP/Col (Roldán, 2003), encontrándose que los valores oscilaron entre 129, para la quebrada Oromenudo y 198, para Guapandó (Tabla 2), indicando que en los ecosistemas estudiados las aguas son muy limpias, con calidad buena o no alteradas, de manera sensible, a aguas de calidad excelente (valores entre 101-150 a >150), de acuerdo con la escala publicada por Roldán (2003). Por otro lado, de acuerdo con el ASPT, casi todas las quebradas tienen agua Clase II, aceptable (ligera-mente contaminada); sin embargo, la quebrada Oromenu- do presentó aguas Clase I, buena (aguas no contaminadas) (Tabla 2).

Estos resultados son similares a los reportados por García *et al.* (2012), quienes encontraron ligeras diferencias en los resultados arrojados por los índices BMWP/Col y ASPT, atribuibles a que este último es más sensible a la inter- vención antrópica, al incluir en su cálculo la riqueza de familias; sin embargo, es importante resaltar que estos dos índices están estrechamente relacionados, lo que es corroborado por los trabajos de Arango *et al.* (2008), Bustamante *et al.*

(2011) y Ramírez *et al.* (2013), quienes reportan cómo la utilización conjunta de estos dos índices, brinda una infor- mación sólida para definir la calidad del agua en ecosiste- mas sujetos a variados tipos de perturbación antrópica.

En cuanto a las variables fisicoquímicas, los promedios de cada quebrada se muestran en la tabla 3. Se encontró que en promedio la concentración de oxígeno disuelto, el pH, la temperatura, la alcalinidad y la conductividad eléctrica regis- traron sus mayores valores en la quebrada Santa Catalina. El menor promedio de oxígeno y de conductividad, se registra en Oromenudo, mientras que en Raspadurita, se consignan los valores más bajos de pH, de temperatura y de alcalini- dad. En el caso de los nutrientes, tienden a ser mayores en Raspadurita (Nitritos y Nitratos), Guapandó (Amonio) y San- ta Catalina (Fosfatos). De acuerdo al análisis de correlación múltiple, se observó que el índice BMWP/Col, se encuentra correlacionado, positivamente, con la diversidad y la riqueza de insectos acuáticos; en tanto que, en cuanto a la estruc- tura, los índices de diversidad, de riqueza y de dominancia mostraron correlaciones positivase entre ellos (Tabla 4).

Los factores fisicoquímicos son considerados, por algunos autores, como los aspectos que más influencia ejercen sobre la distribución, la abundancia y la riqueza de insectos acuáticos (Shieh & Yang, 2000; Ocon *et al.* 2004). En el caso de las quebradas estudiadas, los parámetros medidos se hallan dentro de los rangos normales, para este tipo de ambientes, coincidiendo con otras investigaciones realizadas en el Chocó, como las de Salas *et al.* (2011), Contreras-Martínez (2013), Mosquera & Córdoba (2015), a excepción de los fosfatos, que se encuentran por encima del rango requerido para la vida acuática en aguas naturales,

que es de 0,05mg/L lo que es resultado de la cercanía de algunas quebradas a algunos asentamientos urbanos del área; no obstante, son similares a los reportados por otras investigaciones adelantadas en la zona, como las de Mosquera & Córdoba (2015). Valores normales de parámetros, como el oxígeno, el pH, la temperatura y la conductividad son importantes en los ecosistemas acuáticos, ya que están relacionados con los procesos metabólicos de los organismos aeróbicos y la productividad biológica, respectivamente (Nieves *et al.* 2010).

Tabla 3. Variables fisicoquímicas para cada quebrada estudiada.

Fisicoquímicos	Quebradas					
	Oro menudo	San Bernabé	Santa catalina	Guapandó	Raspadurita	CV
Oxígeno disuelto (mg/L)	5,69	7,33	7,41	5,96	6,85	11,84
pH	5,84	6,4	6,56	6,55	5,64	6,92
Temperatura del agua (°C)	26,35	26,37	27,57	26,8	26,2	2,01
Alcalinidad (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	8,67	11,17	14,75	12,57	6,83	28,98
Conductividad (μS/cm)	7,14	21,25	29,77	22,44	11,23	49,60
Nitritos (mg/L)	0,13	0,02	0,01	0,19	0,27	89,73
Nitratos (mg/L)	0,64	0,72	0,11	0,88	1,15	54,73
Amonio (mg/L)	0,09	0,26	0,08	0,38	0,05	82,77
Fosfato (mg/L)	0,05	0,05	0,22	0,07	0,09	74,24

Tabla 4. Resultados significativos de la prueba de correlación múltiple entre la estructura de la comunidad de insectos acuáticos, los valores del índice BMWP/Col y las variables fisicoquímicas.

Variable	Diversidad		Riqueza	
	r	p	r	p
BMWP/Col	0,67	0,0033	0,93	0,0020
Diversidad	-		0,70	0,0023
Dominancia	0,90	0,0010	-	

Según este estudio, las quebradas evaluadas en la cuenca del río San Juan presentan una comunidad de insectos acuáticos muy diversa y compleja, lo que se asocia con sistemas que no han sido alterados o con poca intervención antropogénica, lo cual, se refleja en los resultados arrojados por los índices bióticos, basados en esta comunidad biológica; sin embargo, es importante seguir adelantando estudios de monitoreo en la zona, teniendo en cuenta las amenazas a las que se enfrentan estos ecosistemas en la actualidad, como resultado del avance en la actividad minera y de explotación maderera en el área.

**Agradecimientos:** Las autoras agradecen a la Fundación para la Promoción de la Investigación y la Tecnología del Banco de la República, por la financiación de esta investigación y a la Universidad Tecnológica del Chocó, por faci-

litar la infraestructura de campo y laboratorios. A las biólogas Yasiris Salas Tovar (Q.E.P.D.), Sandra Patricia Sánchez y Karen Y. Palomeque, por su apoyo en la fase de campo de esta investigación. Agradecemos igualmente, a dos revisores anónimos, por sus comentarios y sugerencias, que contribuyeron a mejorar la versión final del manuscrito. **Conflictos de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Este estudio fue financiado por la Fundación para la Promoción de la Investigación y la Tecnología del Banco de la República y La Universidad Tecnológica del Chocó

## BIBLIOGRAFÍA

1. ALBA-TERCEDOR, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA). Almería, Vol. II. p.203-213.
2. ALONSO, A. 2006. Valoración del efecto de la degradación ambiental sobre los macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares. *Ecosistemas, Asociación Española de Ecología Terrestre*, 15(2):1-5.
3. APHA, AWWA, WEF. 2012. *Standard Methods for examination of water and wastewater*. 22nd ed. Washington: American Public Health Association; 1360p.
4. ARANGO, M.C.; ÁLVAREZ, L.F.; ARANGO, G.A.; TORRES, O.E.; DE J. MONSALVE, A. 2008. Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia. *Revista EIA*. 9:121-141.
5. ARMITAGE, P.D.; MOSS, D.; WRIGHT, J.F.; FURSE, M.T. 1983. The performance of a new biological water quality score based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Wat. Res.* 17:333-347.
6. ARMITAGE, P.D.; PETTS, G.E. 1992. Biotic score and prediction to assess the effects of water abstractions on river macroinvertebrates for conservation purposes. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 2(1):1-17.
7. ASPRILLA, S.; MOSQUERA, Z.; RIVAS, M. 2006. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad ecológica del agua en la parte media del río Cabí (Quibdó – Chocó). *Rev. Asoc. Colom. Cien. Biol.* 18:43-50.
8. BUSTAMANTE-TORO, C.A.; MARÍN-VILLEGAS, N.C.; CORREDOR-COY, N.V. 2011. Estudio de calidad ambiental en la quebrada La Florida, unidad de manejo de cuenca del río Quindío. Armenia – Quindío, Colombia. *Rev. Asoc. Col. Cienc. (Col.)*, 23: 65-76.
9. CÁRDENAS, A.Y.; BISMARCK, R.; LÓPEZ, M.; WOO, A.; RAMÍREZ, E.; IBRAHIM, M. 2007. Biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos y la calidad del agua en la subcuenca de los ríos Bul Bul y Paiwas, Matiguás, Nicaragua. *Encuentro*. 77:83-93.
10. CHARÁ, J.; PEDRAZA, G.; GIRALDO, L.; HINCAPIÉ, D. 2007. Efecto de los corredores ribereños sobre el estado de quebradas en la zona ganadera del río La Vieja, Colombia. *Agrofor. Américas*. 45:72-78.
11. CHARÁ, J. 2003. Manual para la evaluación biológica de ambientes acuáticos en microcuencas ganaderas. Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. CIPAV. Colombia. 52p.
12. CONTRERAS-MARTÍNEZ, E. 2013. Diversidad de Entomofauna acuática en tres ríos de la Ecoregión Darién, Choco biogeográfico (Colombia). *Dugesiana*. 20(2):243-250.
13. CÓRDOBA, K.E.; CASAS, L.; MOSQUERA-MURILLO, Z.; ASPRILLA, S. 2007. Composición y variación temporal del orden Ephemeroptera (Insecta) en los ríos Tutunendo y Catugadó, Quibdó (Chocó - Colombia). *Rev. Asoc. Colom. Cienc. Biolo.* 19:34-41.
14. DOMÍNGUEZ, E.; FERNÁNDEZ, H. 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. *Sistemática y Biología*. Fundación Miguel Lillo. Tucumán, Argentina. 654p.
15. DOMÍNGUEZ, E.; MOLINERI, C.; PESCADOR, M.L.; HUBBARD, M.D.; NIETO, C. 2006. Ephemeroptera of South América. In: Adís, J., Arias, JR., Redadeldgado, G. & K.M Wantzen (Eds): *Aquatic Biodiversity in Latin América (ABLA)*, Vol. 2 penonft, sofia-moscow, 646p.
16. FIGUEROA, R.; VALDOVINOS, C.; ARAYA, E.; PARRA, O. 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua del sur de Chile. *Rev. Chilena Historia Natural*. 76:275-285.
17. GARCÍA-MONTOYA, J.; CARMONA-BEDOYA, J.C.; MONTOYA-MORENO, Y. 2012. Caracterización de la calidad del agua de la parte alta de la microcuenca de la quebrada La Cimarronas, El Carmen de Viboral (Antioquia), utilizando macroinvertebrados acuáticos. *Investigación, Biodiversidad y Desarrollo*. 31(1):5-18.
18. GONZÁLEZ-CÓRDOBA, M.; ZÚÑIGA, M.DELC.; MOSQUERA-MURILLO, Z.; SÁNCHEZ-VÁSQUEZ, S. 2016. Riqueza y distribución de Elmidae (Insecta: Coleoptera: Byrrhoidea) en el departamento del Chocó, Colombia. *Revista Intropica*. 11:85-95.
19. HAMMER, O.; HARPER, D.; RYAN, P.D. 2001. *Past: Paleontological Statistics Software Package for Edu-*

- cation and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4. Disponible en: [http://palaeoelectronica.Org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeoelectronica.Org/2001_1/past/issue1_01.htm).
20. HOLDRIDGE, R.L. 1996. Ecología basada en zonas de vida. Instituto Inter. Americano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José de Costa Rica. p.1-6.
  21. HOLZENTHAL, R.W.; BLAHNIK, R.J.; PRATHER, A.L.; KJER, K.M. 2007. Order Trichoptera Kirby, 1813 (Insecta), caddisflies. *Zootaxa*. 1668:639-698.
  22. LARA-LARA, J.R.; ARREOLA, J.A.; CALDERÓN, L.E.; CAMACHO, V.F.; ESPINO, G.L.; ESCOFET, A.M.; ESPEJEL, M.; GUZMÁN, M.; LADAH, L.B.; LÓPEZ M.; MELING E.A.; MORENO P.; REYES H.; RÍOS E.; ZERTUCHE, J.A. 2008. Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales, en *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, 109-134p.
  23. MADERA, L.; ANGÚLO, L.C.; DÍAZ, L.C.; ROJANO, R. 2016. Evaluación de la calidad del agua en algunos puntos afluentes del río cesar (Colombia) utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de contaminación. *Inf. Tecnológica*. 27(4):103-110.
  24. MARGALEF, R. 1983. *Limnología*. Editorial Omega. 1010p.
  25. MERRITT, R.W.; CUMMINS, K.W. 1996. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. 3 ed. Kendall/Hunt Publishing, Iowa, 862p.
  26. MERRITT, R.W.; CUMMINS, K.W.; BERG, M.B. 2008. *An introduction to the aquatic insects of North America*. Dubuque, Kendall/Hunt Publishing Company. 1214p.
  27. MEZA, A.M.; RUBIO, J.; DÍAS, L.; WALTEROS, J. 2012. Calidad de agua y composición de Macroinvertebrados acuáticos en la Subcuenca alta del río Chinchiná. *Caldasia*. 34(2):443-456.
  28. MOSQUERA, Z.; BEJARANO, D.; ASPRILLA, S. 2006. Estudio del orden Trichoptera (Insecta) en dos ecosistemas lóticos del municipio de Quibdó, Chocó - Colombia. *Libro de la Asociación Colombiana de Limnología*. 1:85-91.
  29. MOSQUERA, Z.; CÓRDOBA, K.E. 2015. Caracterización de la entomofauna acuática en cuatro quebradas de la cuenca del río San Juan, Chocó, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 39(150):67-76.
  30. MOSQUERA, Z.; CÓRDOBA, K.E. 2017. Primer registro del genero *Tikuna* Savage, Flowers & Porras (Ephemeroptera: Leptophlebiidae) para el Chocó, Colombia. En prensa.
  31. NIEVES, G.; ROSAS, E.; HORNEDO, M. 2010. Biodiversidad de insectos acuáticos asociados a la cuenca del río Grande de Manatí. Departamento de recursos naturales y ambientales. Puerto Rico. 35p.
  32. OCON, C.S.; RODRIGUEZ, A. 2004. Presence and abundance of Ephemeroptera and other sensitive macroinvertebrates in relation with habitat conditions in Pampean streams (Buenos Aires, Argentina). *Arch. Hydrobiol.* 159:473-487.
  33. PRAT, N.; RIOS, B.; ACOSTA, R.; RIERADEVALL, M. 2009. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de las aguas. En: Domínguez, E.; Fernández, H, (eds), *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos*. Primera edición: p.631-654. San Miguel de Tucumán: Fundación Miguel Lillo.
  34. RAMÍREZ, D.F.; TALERO, G.M.; LÓPEZ, R.H. 2013. Macroinvertebrados bentónicos y calidad del agua en un tramo del río Bogotá. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(1):205-214.
  35. RESH, V.H. 2008. Which group is best? Attributes of different biologic assemblages used in freshwater biomonitoring programs. *Environ. Monit. Assess.* 138:131-138.
  36. RICHARDSON, J.S.; MOORE, R.D. 2010. Stream and riparian ecology. (Chapter 13). In: Pike, R.G.; Redding, T.E.; Moore, R.D.; Winkler, R.D. Bladon, K.D. (eds). *Compendium of Forest Hydrology and Geomorphology in British Columbia*. B.C. Ministry of Forests and Range Res. Branch, Victoria, B.C. and FORREX Forest Res. Extension Partnership, Kamloops, B.C. *Land Management Handbook (TBD)*.
  37. RIVAS, M.; MOSQUERA, Z.; ASPRILLA, S. 2003. Calidad ecológica de las aguas de la parte media del río Cabí utilizando los macroinvertebrados como indicadores. *Rev. Inst. Univ. Tecnológica del Chocó*. 19:59-63.
  38. ROLDÁN, G.A. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col. Universidad de Antioquia. Colombia. 170p.
  39. ROLDÁN, G.; ZÚÑIGA, M.DELC.; ZAMORA, H.; REINOSO, G.; ÁLVAREZ, L.F.; LONGO, M. 2014. Colombia.

- En: Alonso EguíaLis, P., Mora, J.M., Campbell, B., Springer, M., (Eds). *Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y Univ. Autónoma de Querétano, México y Universidad de Costa Rica, San José-Costa Rica.
40. ROLDÁN, G. 2016. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 40(155):254-274.
41. ROZO, A.M.; SALINAS, L.G. 2016. Inventario del orden Ephemeroptera (Insecta) en la quebrada Coquital, Serranía de Tripogadí, Departamento del Chocó, Colombia. *Entomotopica*. 31(1):1-13.
42. SALAS, Y.; GEOVO, S.; ASPRILLA, S. 2011. Caracterización de las comunidades perifíticas y de macroinvertebrados acuáticos presentes en el río Pacurita, corregimiento de Pacurita, Quibdó-Chocó-Colombia. *Rev. Biodiversidad Neotropical*. 1(2):98-104.
43. SÁNCHEZ, M.; LEÓN, C.W.; ROJAS, J.; VARGAS, R. 2006. Calidad de agua, invertebrados y bioindicación en el río Magdalena en el norte del departamento del Huila. Pág. 92 en: F.A. Villa, C. A. Rivera, G.R. Flórez & M. Avellaneda (Eds), *Resúmenes VII seminario Colombiano de Limnología*. Universidad del Tolima-ACL-Limnos. 2006.
44. SEGNINI, S. 2003. El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Ecotropico*. 16(2):45-63.
45. SHIEH, S.H.; YANG, P.S. 2000. Community structure and functional organization of aquatic insects in an agricultural mountain stream of Taiwan: 1985-1986 and 1995-1996. *Zool Stud*. 39:191-202.
46. SPRINGER, M.; RAMÍREZ, A.; HANSON, P. 2010. Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I. *Rev. Biol. Trop.* 58 (Suppl. 4):97-136.
47. SPRINGER, M. 2010. Biomonitorio. En: Springer, M., Ramírez A. & P. Hanson (eds.). *Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I*. *Rev. Biol. Trop.* 58 (Suppl. 4): 53-59.
48. TORRES, Y.; ROLDÁN, G; ASPRILLA, S.; RIVAS, T. 2006. Estudio preliminar de algunos aspectos ambientales y ecológicos de las comunidades de peces y macroinvertebrados acuáticos en el río Tutunendo, Chocó-Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 114(30):67-76.
49. TRIGAL-DOMÍNGUEZ, C.; FRENÁNDEZ-ALÁEZ, C.; GARCÍA- CRIADO, F. 2009. Ecological assessment of highly heterogeneous systems: The importance of taxonomic sufficiency. *Limnologica* 4:208-214.
50. VÁSQUEZ-RAMOS, J.M.; REINOSO, G. 2012. Estructura de la fauna béntica en corrientes de los Andes colombianos. *Rev. Col. Entomología*. 38(2):351-358.
51. ZAMORA, H. 2015. Macroinvertebrados acuáticos registrados durante la época de lluvias en tres ríos del piedemonte llanero de Colombia. *Rev. Colombiana Cienc. Anim.* 7(2):139-147.
52. ZÚÑIGA, M.DELC.; CHARÁ, J.C.; GIRALDO, L.P.; CHARÁ-SERNA, A.M.; PEDRAZA, G.X. 2013. Composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en pequeñas quebradas de la región andina colombiana, con énfasis en la entomofauna. *Dugesiana* 20(2):263-277.
53. ZÚÑIGA, M.C.; CARDONA, W.; MOLINERI, C.; MENDIVIL, J.; CULTID, C.; CHARÁ, A.M.; GIRALDO, A. 2014. Entomofauna acuática del Parque Nacional Natural Gorgona, Pacífico Colombiano, con énfasis en Ephemeroptera y Plecoptera. *Rev. Biol. Trop.* 62(Suppl. 1):221-241.

Recibido: Noviembre 26 de 2016

Aceptado: Mayo 11 de 2017

#### Cómo citar:

Mosquera Murillo, Z.; Mosquera Mosquera, M.M. 2017. Diversidad de la entomofauna acuática y calidad de agua en quebradas del río San Juan, Chocó – Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(1): 149-161.



# RESEÑA DE LA ENTOMOLOGÍA ECONÓMICA Y MÉDICA DEL SIGLO PASADO EN COLOMBIA

## ECONOMIC AND MEDICAL ENTOMOLOGY DURING THE LAST DECADE IN COLOMBIA: A REVIEW

Ingeborg Zenner de Polanía<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. Docente-investigador, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, calle 222 No. 55-37, Bogotá, e-mail: izenner@udca.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient 20(1): 163-173, Enero-Junio, 2017

### RESUMEN

Con esta revisión, se pretende informar a las generaciones actuales y futuras de entomólogos del país, sobre algunos estudiosos de esta disciplina, quienes laboraron en el siglo pasado y han sido olvidados por muchos. Igualmente, sobre los orígenes de las bases del manejo de plagas insectiles, pasando por el prácticamente exclusivo, control químico, hacia un disperso manejo integrado de plagas. Se señalan las fuentes escritas, donde estudiantes y profesionales pueden encontrar los resultados de las investigaciones de los pioneros de la ciencia del estudio de los insectos, en el sentido amplio de la palabra. El artículo, se sustenta, parcialmente, en la experiencia personal del ejercicio profesional, en actividades de investigación conjunta con colegas entomólogos, en la revisión de publicaciones poco conocidas e, inclusive olvidadas y las actividades como docente universitario. Se buscó, ante todo, hacer memoria y recordar que la entomología y las plagas insectiles no se inventaron hoy, demostrar que muchos problemas entomológicos, cuya solución se busca al presente, ya fueron abarcados, por lo menos en parte y, que estos estudios, se deben apreciar y tener en cuenta para edificar sobre ellos y no como ocurre en la actualidad, ignorarlos.

Palabras clave: Entomología, memoria, investigadores, publicaciones, revistas.

### SUMMARY

With this review, it is intended to inform, current and future generations of Colombian entomologists, about the researchers of this discipline in past centuries, forgotten by many. Equally, about the origins of the bases for insect pest management, starting with the, almost exclusively, chemical control, up to a, dispersed, integrated pest management. Written sources, where students and professionals can find the results of investigations of the pioneers of the science

of the study of insects, in the broad sense are indicated. The article is based, partly, on the personal experience and research activities in entomology, on these actions in conjunction with colleague entomologists, on reviewing publications, even little-known and even forgotten ones, and university teaching activities. Above all, this text was pursued to make memory and remember that entomology and insect pests in Colombia, were not invented today, show that many entomological problems, which solutions are currently being looked for were already covered, at least partially, and that these studies should be appreciate and kept in mind, to build on them and not as, at present, very often ignore them.

Key words: Entomology, memory, researchers, publications, journals.

### INTRODUCCIÓN

Al revisar literatura colombiana sobre algún insecto plaga o benéfico, se encuentran resultados de estudios recientes y solo al profundizar, se observa que el tema ya fue tratado, en parte, en el siglo XX; infortunadamente, estos trabajos son ignorados muy a menudo, por los actuales profesionales. El desconocimiento de estudios anteriores, se debe a la tendencia actual a consultar lo fácilmente asequible, por la Internet, lo consignado en páginas Web y evitar -al máximo-, la visita a bibliotecas y buscar publicaciones no tan recientes, pero sí complejas y con resultados relevantes, además, influenciado y promovido por la tendencia de editores y de evaluadores de artículos a exigir "referencias actualizadas", exigencia válida, en muchos casos, pero no excluyente de trabajos clásicos. ¿Quién no aceptaría, por ejemplo, citar a Otoyá (1945), al hablar de chizas en la Sabana de Bogotá; a Madrid (1944), al mencionar los intentos de control biológico de las moscas del nuche y de los cuernos o, a Apolinar (1924), si se trabaja con dermápteros, como posibles enemigos naturales de larvas de lepidópteros?

Este texto pretende suplir, parcialmente, la falta de un tratado coherente, ya que, solo se encuentran en las páginas Web de algunas instituciones, documentos que muestran apartes de la historia de la entomología y de sus protagonistas en el país; sin embargo, este escrito tampoco ambiciona ser un compendio completo y exhaustivo, ya que se espera que otros investigadores se dediquen a revisar y reseñar a la historia del siglo XXI.

El artículo pretende poner un granito de arena al conocimiento de la historia de la Entomología de país, con el cumplimiento de los objetivos principales de este escrito, que corresponden a poner a pensar a las actuales generaciones de profesionales, que se dedican a cualquier sub-disciplina de la entomología que, a menudo, se justifica y vale la pena “regresar” y buscar soluciones en estudios pasados, antes de iniciar las investigaciones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para plasmar en un artículo este recuento de la entomología económica del país, se revisaron algunos estudios de los primeros casos de manejo de problemas insectiles y las publicaciones disponibles en las diversas Instituciones del Gobierno, en las Universidades y las Agremiaciones de Profesionales. Para el análisis del pasado, se escogieron aquellas revistas nacionales, en las que, habitualmente, se buscan y se detectan artículos relacionados con la Entomología Económica y Médica; además, se hizo uso de documentos de algunas instituciones del sector agrícola y de la memoria personal.

Finalmente, para actualizar los conocimientos, se exploraron las revistas nacionales indexadas en SciELO Colombia, que abarcan, ocasionalmente, temas, tales como biología, reconocimientos, controles varios de insectos específicos y estudios relacionados con los vectores de enfermedades, como Dengue, Encefalitis equina venezolana, virus del occidente del Nilo, Malaria, Leishmaniasis y Chagas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Pasado:** Aunque el Dr. Miguel A. Revelo, en la presentación de la primera edición de la “Lista de insectos dañinos y otras plagas de Colombia” menciona que con anterioridad a los años 20, del siglo XX, la entomología básica y el control de plagas era prácticamente ausente (Posada, 1976a), charlas con uno de los “Padres de la Entomología” del país, el Señor Luis Ma. Murillo, revelaron que existen datos concretos del manejo de las chizas por los Muiscas. En crónicas de la época de la colonia, se señala además, que unos gusanos peludos de color negro, posiblemente la fase migratoria del muque de la papa *Copitarsia consueta* (Walker, 1857) (Lepidoptera: Noctuidae) (Zenner de Polanía & López, 1977), arrasaban extensas zonas de gramas.

De acuerdo a lo informado por Howard (1930) existen noticias del manejo exitoso realizado por el Dr. Luis Zea Uribe, de una langosta con la bacteria *Coccobacillus acridiorum* d’Herelle, en Tocaima y por el Profesor Federico Lleras Acosta, en Guadua. La bacteria procedía del Instituto Pasteur, siendo el primer caso del empleo célebre de un entomopatógeno en el país. Estos y otros reportes, tales como la existencia de un libro sobre el gusano de seda, por Aureliano Vélez, editado en 1923 y la publicación de un folleto sobre las enfermedades y plagas de las plantas, con indicaciones acerca de su control, por Rafael A. Toro, fueron proporcionados a L. O. Howard, por el entomólogo económico Charles H. Ballou, designado en 1929, a la recién establecida granja experimental en Medellín, del Departamento de Agricultura y Zootecnia del Ministerio de Industrias, creado mediante el decreto 945 de junio de 1927. Fue la institución a cargo de la Sanidad Vegetal del país.

En este departamento inició su trayectoria, en 1929, el bachiller Luis Ma. Murillo Quinche. Laboraba en un pequeño laboratorio en “La Picota”, donde también fundó la colección de insectos, hoy día, localizada en el C.I. Tibaitatá (CORPOICA), con énfasis en los coccinélidos de la Sabana de Bogotá. En 1969, el Dr. Murillo visitó a. C.I. Tibaitatá y tuvo la oportunidad de mostrarle sus coccinélidos, que había dado por perdidos. La colección fue bautizada, posteriormente, Colección Taxonómica Nacional “Luis María Murillo”, en su honor. Sarmiento (s.f.) hace un recuento detallado de las investigaciones y logros de Luis M. Murillo, de los cuales, aquí se comentarán unos muy pocos.

Solucionó un problema en los cafetales de Caldas y de Antioquia, atribuido por los caficultores a una hormiga olorosa o hedionda, denominada vulgarmente la hormiga de Amagá (*Acropyga (Rhizomyrma) fuhrmanni* Forel, 1913) (Hymenoptera: Formicidae). Descubrió los causantes del mal, cochinitas chupadoras de savia de los géneros *Chavesia*, *Dysmicoccus* y *Puto* (Pseudococcidae), protegidas y transportadas, eso sí por las hormigas, que se aprovechaban de las sustancias azucaradas secretadas por las primeras. Reconoció y estudió en Nariño, el gusano blanco de la papa, *Premnotrypes (Trypopermnon) vorax* (Hustache, 1933) (Coleoptera: Curculionidae).

Sus mayores éxitos, los logró empleando el control biológico clásico, del cual, fue un devoto defensor. El pulgón lanígero del manzano, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann, 1802) (Eriosomatidae), plaga introducida, que se manejó con la liberación del parasitoide *Aphelinus mali* (Haldemann, 1851) (Hymenoptera: Eulophidae), traído de Estados Unidos; también, se empleó el coccinélido nativo *Neda murilloi* (Chapin, 1941), descrito en su honor. Descubrió que la denominación chisa para las larvas de escarabajos (*Ancognatha* spp.) proviene de la palabra muisca “zisa” y que los chibchas comían

estos gusanos, quitándoles la cabeza quitinizada y las patas torácicas (Murillo, 1934).

Tal vez, el estudio más conocido y citado es el del control biológico de la cochinilla acanalada *Icerya purchasi* Maskell, 1878 (Margarodidae), denominada también la peste blanca de las acacias de Bogotá. Introdujo, en 1948, el coccinélido depredador *Rodolia cardinalis* (Mulsant, 1850). En su obra clásica "Sentido de una Lucha Biológica", Murillo (1938) menciona y describe éstos y otros trabajos de investigaciones realizadas por él, hasta esta época.

Otro investigador destacado que contribuyó al avance de la entomología y acarología fue Francisco Luis Gallego, formador de entomólogos, profesor e investigador de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. La primera investigación realizada por el Dr. Gallego fue acerca de la piroplasmosis, enfermedad transmitida por garrapatas. Creador, en 1937, del Museo Entomológico, que ostenta su nombre, considerado el otro "Padre de la Entomología Colombiana". Sus "Estudios Fundamentales", siguen vigentes y son o deben ser consultados en la actualidad.

Uno de sus alumnos más destacados fue Alfredo Saldarriaga Vélez, quien dirigió muchos trabajos de tesis de estudiantes de Agronomía de la Universidad Nacional - Palmira, algunas publicados en Acta Agronómica. Entre sus últimas investigaciones, se sobresale el estudio de cóccidos y pseudocóccidos de las arboledas de Medellín y el descubrimiento del vector del amarillamiento de venas de la papa, la mosca blanca de los invernaderos, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood, 1856) (Saldarriaga & Posada, 1994). Fue director del programa de entomología del ICA y también uno de los promotores y gestores de la Sociedad Colombiana de Entomología, socio fundador; además, se desempeñó como docente de la Escuela de Postgrados ICA-UN. Entre sus publicaciones, se debe mencionar a la "Guía del control de plagas", Manual de Asistencia Técnica No. 1 del ICA (Zenner de Polanía & Saldarriaga V., 1981).

Igualmente, fue discípulo y colaborador del Dr. Gallego, tanto en la colección de insectos como en la docencia y la investigación, el Dr. Raúl Vélez Ángel, autor del "Catálogo de la colección entomológica Francisco Luis Gallego" (1989). Este docente-investigador recopiló sus experiencias y las de muchos de sus discípulos, en el libro "Plagas agrícolas de impacto económico en Colombia: bionomía y manejo integrado" (Vélez Ángel, 1997).

En Palmira (Valle) existía la Escuela Superior de Agricultura el Valle, la cual, mediante el Decreto 492 del 25 de febrero de 1937, quedó facultada para expedir el título de agrónomo; entre los primeros graduados, se destacó Adalberto Figueroa (Macías-Alvira, 1978), investigador y docente en la poste-

riormente creada Facultad de Agronomía, de la Universidad Nacional, sede Palmira.

A continuación, se mencionan algunos de los entomólogos referenciados por Valenzuela-Vera (1973) y sus obras: los Ingenieros Agrónomos Belisario Lozada, Francisco Otoyá, Adalberto Figueroa y Carlos Marín. Se inicia este recuento con el jefe del Departamento de Entomología de la Estación Agrícola Experimental de Palmira, a principio de los años 40, Belisario Lozada. Bajo su dirección, se iniciaron los primeros trabajos de eficacia de insecticidas; estudió la biología del pasador del fruto del aguacate *Stenoma catenifer* Walsingham, 1912 (Lepidoptera: Elachistidae, Stenominae) (Madrid, 1944).

Ya, por esta época, se habían iniciado las investigaciones con insectos y otras plagas involucradas en Salud Pública y Salud Animal. Los Anophelinae de los arrozales de los alrededores de Palmira, evaluados y criados por Lozada y colaboradores, correspondían a *Anopheles pseudopunctipennis* var. *typicus* Rozoboom, 1937 (Diptera: Culicidae) (Madrid, 1944). Otro ilustre entomólogo, el Médico Ernesto Osorno-Mesa, trabajo también con este grupo de insectos y describió a *A. pseudopunctipennis bifoliata*, n. var., procedente también del Valle del Cauca y capturado dentro de las casas (Osorno-Mesa & Muñoz-Sarmiento, 1948). Otros de sus investigaciones, se relacionan con los Phlebotominae (Osorno-Mesa *et al.* 1967; Morales Alarcón *et al.* 1969), transmisores de la Leishmaniasis.

En un informe de 1944, del Departamento Nacional de Ganadería, se menciona el problema causado por la garrapata, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Canestrini, 1887) (Acari: Ixodidae). Esta división, se ocupó también de las diversas especies de moscas: la mosca del nuche, *Dermatobia hominis* L. 1781 (sinonimia de *D. cyaniventris* Maquart, 1843) (Diptera: Cuterebridae) y la mosca de los cuernos o mosca brava *Haematobia (Lyperosia) irritans* L. 1758. Con la colaboración del Servicio de Entomología, a cargo de Luis Ma. Murillo, se inició la lucha biológica, contra estas moscas hematófagas, liberando a la avispa *Spalangia* sp. (Hymenoptera: Pteromalidae) (Madrid, 1944).

El I.A. Francisco José Otoyá, del Instituto de Biología Vegetal, Departamento Nacional de Agricultura del Ministerio de Economía, fue el primer científico quien se interesó en la taxonomía de las chizas, que figuraban entre las plagas más importantes de todo el país. Describió la nueva especie, *Ancognatha nigriventris* Otoyá, 1945 (Coleoptera: Scarabaeidae) (Otoyá, 1945); su estudio, como lo indicó el Jefe del Departamento de Entomología del Museo Nacional de Washington, el Dr. Edward Chapin, "será una obra de consulta no solamente para los simples investigadores en el campo de la entomología, sino también para los verdaderos maes-

tros" (Barrios-Ferrer, 1945). En 1944, se destacó por su labor en la campaña iniciada por el Servicio de Entomología del Ministerio de control de la hormiga arriera, *Atta* spp. (Hymenoptera: Formicidae), en todo el país, con énfasis en Cundinamarca. Para dar idea de la riqueza defendida por esta Campaña, se anota el hecho que, en una sola zona atendida por el Agrónomo del Ministerio (F.J. Otoyá), se defendieron de esta plaga, 414 fanegadas de cultivos.

Colaboró con el ingeniero Otoyá, don Hernando Osorno, quien cumplía con la labor de "preparador del departamento"; preparó y montó los insectos para ser incluidos en la colección, la cual, más tarde, se convirtió en la colección nacional de insectos, CTN "Luis Ma. Murillo". Además, investigó la biología y los hábitos de los gusanos blancos, clasificados en aquella época como *Trypopermon* spp. (Coleoptera: Curculionidae) (Barrios Ferrer, 1945).

Otoyá inició la primera colección de las especies de *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae), criando las larvas en sus hospederos (Madrid, 1944). Otro estudio sobresaliente de este investigador fue el reconocimiento de las plagas de arroz y frijol, publicado en los inicios de la revista "Agricultura Tropical" (Otoyá, 1946).

Adalberto Figueroa mostró ya, desde estudiante, su interés por el estudio de los insectos y de otros artrópodos y realizó su tesis, con una de las plagas de tomate más importantes de su época: la polilla *Gnorimoschema lycopersicella* (Busck, 1928) (Lepidoptera: Gelechiidae). En compañía del I.A. Guillermo Ramírez fundó la revista Acta Agronómica; inició los estudios de las cochinillas del Valle del Cauca (Hemiptera: Coccoidea) (Figueroa Potes, 1946) y publicó, posteriormente, el "Catálogo de los artrópodos de las clases Arachnida e Insecta, encontrados en el hombre, animales y en las plantas de la República de Colombia" (Figueroa P., 1952); su obra maestra es el libro "Insectos y acarinos de Colombia" (Figueroa Potes, 1977). Además, como docente de la facultad de Agronomía, formó entomólogos, entre los cuales, se tienen que mencionar a Lázaro Posada, César Cardona, Adolfo Tróchez y Fulvia García.

Aquí cabe una breve reseña parcial de la obra de César Cardona Mejía, quien inició su trayectoria también en el ICA, para terminarla, exitosamente, en el CIAT. Sus investigaciones más relevantes versaron sobre moscas blancas, específicamente, la mosca blanca de los invernaderos *Trialeurodes vaporariorum* (Cardona *et al.* 1993; Cardona, 1995; Cardona *et al.* 2001).

Otro distinguido colega fue el I.A. Carlos H. Marín, dedicado a la investigación en control químico y colaborador de varias multinacionales. Trabajó en compañía del I.A. Hernán Alcaráz Viecco, quien inició su trayectoria en el Instituto de

Fomento Algodonero, IFA, siempre dedicado al manejo de las plagas de este cultivo industrial. En 1962, el IFA, en el Boletín Técnico No. 2, editó el tratado "Principales plagas del algodón en Colombia", texto también publicado, como "Problemas Entomológicos del Algodón en Colombia (Alcaráz V., 1962). Luego, pasó a la Federación de Algodoneros, donde criticó el abuso de los insecticidas, advirtiendo el desarrollo de resistencia de los insectos a ellos y recomendando otros controles, como los mecánicos y, especialmente, las liberaciones de parasitoides de huevos del género *Trichogramma*.

Socio fundador de la Sociedad Colombiana de Entomología SOCOLEN, fue su primer presidente y logró la personería jurídica, en 1973. Su pronta e inesperada desaparición, truncó sus investigaciones, pero cada año, durante la clausura del Congreso de Socolen, se entrega en su honor, el Premio Nacional de Entomología "Hernán Alcaráz Viecco".

Los extranjeros Edward A. Chapin, jefe, en aquel entonces, de la Sección de Entomología del Museo Nacional de Washington y colaborador de Luis Ma. Murillo, en la identificación de un sinnúmero de especies insectiles colombianas, depositadas en la CTN "Luis Ma. Murillo", en Tibaitatá; Charles Herbert Bellou, apoyó la colección de insectos y su determinación; René Paul Robá, entomólogo belga, asesor de los cafeteros, quien, entre otros aspectos, estudió hormigas y sus simbioses en los cafetos y en cuyo honor, Horacio Donisthorpe describió a la hormiga carey, *Acropyga (Rhizomyrma) robae*, colectados en raíces de cafetos en La Esperanza (Colombia), asociada con un pequeño cóccido (Donisthorpe, 1936); Robert F. Ruppel, entomólogo del programa de asistencia técnica de la Fundación Rockefeller, quien, entre sus actividades investigativas, se dedicó a la búsqueda de parasitoides de *Cicadulina pastusae* Ruppel and Delong, 1956 (Hemiptera: Cicadellidae), vector del enanismo de la cebada y otros granos en Nariño y norte de Ecuador.

Pocos colegas saben que Nicolás Seiler fue el nombre de pila del Hermano Lasallista Apolinar María, quien llegó al país en 1904 e inició múltiples estudios en ciencias naturales. Logró reunir una colección de mariposas y de otros órdenes (Salazar, 1999), lamentablemente, destruidas por incendios durante los desórdenes del 10 de abril de 1948. Entre sus obras, se deben mencionar el "Catálogo explicativo de las mariposas Rhopalocera del Instituto la Salle", las descripciones de especies de Dermaptera y Orthoptera (Apolinar, 1924) y de mántidos (Apolinar, 1937). Igualmente, se destacan sus tratados denominados "Vocabulario de Términos Vulgares en Historia Natural Colombiana", publicados en la Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, en 1944 y 1945.

En 1935, después de haber pasado por Venezuela y por Brasil, llegó el alemán Leopold Richter. Vinculado al Instituto de

Ciencias Naturales de la Universidad Nacional en Bogotá, siguió con sus estudios de los membrácidos (Hemiptera: Membracidae). También es reconocido por sus cuadros costumbristas y de sus dibujos ilustrativos de los membrácidos. Su obra maestra fue el “Catálogo de los Membracidae de Colombia”, publicado en tres entregas (Richter 1940, 1941, 1955). Fue su discípulo el biólogo entomólogo Rubén Restrepo, quien se dedicó también a este grupo de insectos (Restrepo Mejía, 1980; 1985).

Reconociendo la necesidad de fomentar el cultivo del algodón, el gobierno crea, en 1947, el Instituto de Fomento Algodonero, IFA, con sede original, extrañamente en Medellín, pero luego sí en zonas algodonerías, tales como Buga, en el Valle del Cauca, con la estación experimental “Balboa” y la estación “Armero”, situada en el municipio del mismo nombre, en el departamento del Tolima. En Balboa iniciaron su trayectoria los Ingenieros Agrónomos José Alonso Álvarez Rodríguez, alumno de Francisco Luis Gallego y Fulvia García Roa, alumna de Adalberto Figueroa, quienes, al desaparecer, el instituto, a fines de los años 60, pasaron al Programa de Entomología del ICA. El IFA contó, durante 1963 y 1964, con la colaboración técnica del Dr. Robert C. Hunter, quien dejó publicaciones vigentes, hasta el día de hoy, base para otras publicaciones en otros cultivos y listas de insectos reconocidos, dañinos y benéficos, de otros autores (Hunter, 1964; Álvarez, 1971; 1999; García, 1976; Posada, 1976a; Posada & García, 1976b; García & Zenner de Polanía, 1979).

Con anterioridad, Luis Ma. Murillo había estudiado y publicado en su libro “Sentido de una Lucha Biológica», la biología del gusano rosado colombiano, *Sacadodes pyralis* Dyar, 1912 (Lepidoptera: Noctuidae), plaga de importancia económica del algodón, en todas las regiones cultivadoras. Basado en este insecto y su parasitoide *Apanteles thurberiae* Muesebeck, 1921 (Hymenoptera; Braconidae), Murillo presentó sus ideas sobre la represión biológica y el impacto de los insecticidas en el equilibrio de la naturaleza, lo cual, también le proveyó el nombre de “Padre del control biológico”, en el país (Sanabria de Arévalo, 1977). Igualmente, el IFA introdujo al Valle del Cauca, desde Perú, el depredador de áfidos *Hippodamia convergens* Guérin-Ménéville, 1842 (Coleoptera: Coccinellidae).

Por la misma época, se inició la primera cría masiva y liberación en la zona algodonería del norte del Tolima del parasitoide *Trichogramma* sp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae), basado en la técnica empleada en Perú y con la asesoría del entomólogo peruano Juan Herrera Aranguena, bajo el auspicio de la Federación Nacional de Algodoneros (Valenzuela-Vera, 1973).

En 1946, la empresa Colinagro, importa el DDT para el control químico de una langosta, que estaba invadiendo el país,

desde Ecuador (Macías-Alvira, 1978). Antes, se habían empleado productos, tales como los arsenicales, el azufre y el caldo bordelés, en cantidades mínimas, sin causar problemas ecológicos reales. El IFA, en 1950, publica las opiniones sobre el control de plagas en el algodón, esgrimidos por Luis Ma. Murillo, Francisco Luis Gallego y Carlos H. Marín; los dos últimos, destacaron lo favorable de los factores bióticos, pero defienden también la bondad de los insecticidas arsenicales; los tres rechazaron el uso de los insecticidas clorinados, como el DDT y el BHC. La entrada al país del DDT, como componente del control de plagas, no solamente en el algodón, se considera el inicio de la era de los usos y abusos de los insecticidas de síntesis.

En el desarrollo de la entomología en el país, tuvo también mucho que ver la creación del Departamento de Investigaciones Agropecuarias DIA, mediante el decreto 962 de 1955, con sede, entre otras, en la estación experimental “Tibaitatá”, municipio de Mosquera, Cundinamarca. En esta Dirección, se coordinaron los trabajos que se venían ejecutando con la colaboración de la Fundación Rockefeller (Macías-Alvira, 1978). El primer investigador del programa de entomología, quien actuó como asistente técnico de la fundación fue Robert F. Ruppel, de la Universidad de Michigan, colaboró en las investigaciones de las plagas de papa, cereales menores y maíz, entre otras especies vegetales. Con él trabajaron, entre otros, Miguel Revelo Pepinosa, Lázaro Posada Ochoa e Isabel Sanabria de Arévalo, esta última, se especializó como taxónoma de la familia Agromyzidae (Diptera), ante todo, de los minadores de importancia económica (Sanabria de Arévalo, 1993 a y b; 1994; Sanabria de Arévalo & Zenner de Polanía, 1994). Miguel Revelo, en 1963, se hizo acreedor del premio Alejandro Ángel Escobar, con el primer trabajo en nuestro medio sobre el efecto de la bacteria *Bacillus thuringiensis* sobre larvas de algunas plagas lepidópteras.

Sobre la acarología agrícola conviene revisar el recuento detallado realizado por Mesa (1999), del desarrollo de los estudios de los ácaros en el país, mencionando que se iniciaron, formalmente, con José Iván Zuluaga y Eduardo Urueta, con estudios de las familias fitófagas Tetranychidae y Eriophyiidae y con la familia de depredadores de ácaros Phytoseiidae. Esta última familia de benéficos mereció, con anterioridad, especial atención, también de investigadores extranjeros (Denmark & Muma, 1972), quienes describieron al Phytoseiidae *Iphiseiodes zuluagai*, en honor del Dr. Zuluaga. El primer resultado de la recopilación de datos sobre las especies de ácaros en el país, se plasmó en una lista preliminar (Zuluaga, 1971). Una de las primeras investigaciones que publicó la recién creada “Revista Colombiana de Entomología” fue de Eduardo Urueta, titulada “*Floracarus cyphomandrae* Keifer, 1974 (Acarina: Eriophyiidae) nueva plaga del tomate de árbol *Cyphomandra betacea* y estudio preliminar sobre su control” (Urueta, 1975).

En el contexto del pasado, se justifica mencionar la publicación “El control biológico y la Sociedad Colombiana de Entomología, 1977-2007” (Sarmiento, 2011), que recopila la historia de los estudios de control biológico presentados en los congresos de la Sociedad y, aparentemente, representa la única revisión sistemática de un aspecto básico de la entomología colombiana. La figura 1 muestra, no solamente, las investigaciones presentadas dentro del contexto del control biológico, sino también del número total de trabajos expuestos en los congresos analizados.

La entomología médica ha sido bastante dejada a un lado, tanto por entomólogos como por médicos. La asignatura entomología médica no forma parte del currículo de los futuros galenos, ni siquiera como electiva. Y eso, a pesar que en el trópico y subtrópico abundan los insectos vectores de muchas enfermedades mortales y endémicas.

**Una breve mención del presente:** El número de profesionales que se dedican a la Entomología, en el amplio sentido de la palabra, ha aumentado considerablemente en los años recientes, lo mismo que los artículos publicados, no solamente, en la Revista Colombiana de Entomología, como se observa en la tabla 1.

Como era de esperarse, la revista (Tabla 1) que actualmente publica el mayor número de artículos de autores nacionales, relacionados con las sub-disciplinas de entomología, es la publicación seriada de SOCOLEN, al compararla con las otras revistas no especializadas, incluidas en esta tabla. Se destaca, que el 39,7% de los artículos son reconocimientos

de insectos plagas y benéficos, seguido por, solamente, un 23,8%, de textos afines al control biológico. Estudios biológicos sobrepasan en un 50% a “otros controles”, entre los que se incluyeron, extractos vegetales, genéticos y OGM, mientras el menor número de artículos versa sobre el control químico, lo que contrasta con lo publicado en el siglo pasado (Zenner de Polanía & Saldarriaga, 1981). Las investigaciones relacionadas con la polinización de determinadas especies vegetales han aumentado en los últimos años, no solo con *Apis mellifera*, sino también con *Bombus* sp.

La misma tabla 1 muestra la importancia que ha tomado el “Boletín Científico. Centro de Museos, Museo de Historia Natural”, de la Universidad de Caldas; se observa, que ya un 14% de los artículos versa sobre el control biológico. CALDASIA, la publicación oficial del Instituto de Ciencias Naturales, Facultad de Ciencias - Universidad Nacional de Colombia, que se dedica, ante todo, a la divulgación de estudios botánicos, ha incurrido, recientemente, en la publicación de artículos sobre polinizadores.

De la revisión de las revistas “Acta Agronómica y Agronomía Colombiana”, se esperaba encontrar un número apreciable de artículos relacionados con algún tipo de control de insectos, pero, a menudo, por fascículo, se halló un solo texto que versaba sobre este tema. Teniendo en cuenta la tendencia en los actuales programas de Agronomía de las diversas sedes de la Universidad Nacional en hacer énfasis en el manejo integrado de plagas insectiles, es lamentable el bajo número de artículos que discurren sobre este aspecto de la Entomología Económica. Temas variados de la Entomología Eco-

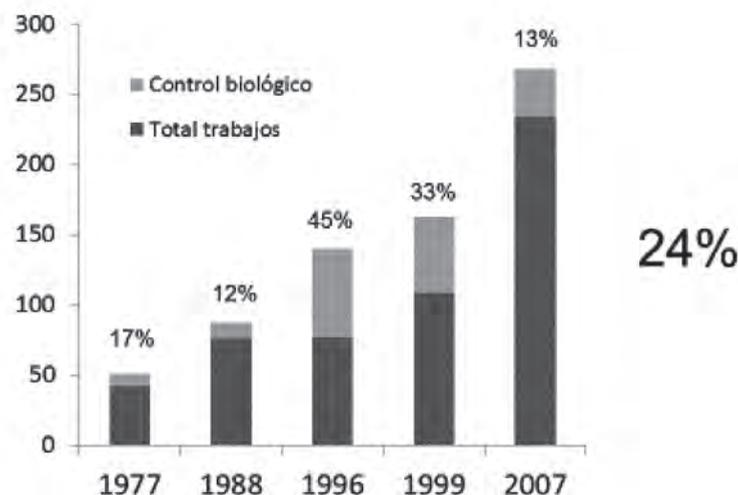


Figura 1. Tendencia de presentación de trabajos en cinco Congresos de la Sociedad Colombiana de Entomología, con énfasis en el tema de Control Biológico. Tomada con el permiso del autor, de la presentación del Doctor Carlos E. Sarmiento, en el 38° Congreso de la Sociedad.

Tabla 1. Publicaciones relacionadas con Entomología Económica en revistas colombianas indexadas y disponibles en SciELO, del año de inclusión hasta junio de 2016.

REVISTA	Año accept. Scielo	Biología	Reconocimientos	Control Biológico	Control Químico	Otros Controles	Polinizadores	TOTAL Artículos
Rev. Col. Entomol.	2003	14	36	42	6	14	7	118
Caldasía	2005	9	18	-	-	-	3	30
Acta Agronómica	2007	3	3	2	-	3	2	13
Agronomía Colombiana	2005	2	5	7	1	2	-	17
Acta Biológica Colombiana	2005	7	11	2	-	1	4	25
Actualidades Biológicas	2007	-	6	1	1	-	1	9
Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.	2008	10	3	5	-	4	1	23
Universitas Scientiarum	2008	-	1	3	-	1	-	5
Bol. Cient. Centro Museos. Museo Historia Nat.	2007	7	29	6	-	-	-	42
TOTAL		52	112	67	8	25	18	282

nómica, en proporciones similares publican, actualmente, "Acta Biológica Colombiana" y la "Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica". Entre los artículos publicados en "Acta Biológica Colombiana", resaltan los reconocimientos de plagas y de benéficos; además, se observa la tendencia de realizar investigaciones con polinizadores.

Los datos expuestos muestran un panorama general de las publicaciones entomológicas actuales del país y de algunas revistas, que reciben para su divulgación, temas de la subdisciplina entomología económica. Estudiantes y profesionales deben tener en cuenta las múltiples oportunidades de publicar los resultados de las investigaciones, por ellos realizados, durante sus estudios de pre y postgrado. Nunca se debe olvidar que resultados no publicados simplemente no existen para el público y el esfuerzo realizado, se pierde.

Un panorama, relativamente desalentador se muestra en la tabla 2, dedicada a exponer el número de artículos en revistas médicas indexadas en SciELO, desde el 2006 y el análisis de las publicaciones relacionadas con vectores de enferme-

dades, a menudo letales y de mucha importancia de salud social en el país.

Se asumía encontrar, en las publicaciones seriadas de las ciencias de la salud, un alto número de artículos que presentan soluciones a los problemas que causan los insectos vectores en el país. ¿Será que los proyectos de entomología médica no son de interés para los financiadores de las investigaciones o los médicos no se interesan en este tema? Con excepción de publicaciones adelantadas en Biomédica, del Instituto Nacional de Salud y en la revista de SOCOLEN, es difícil encontrar, en revistas médicas, artículos relacionados con los vectores de dengue y fiebre amarilla, ambas enfermedades endémicas, en diversas partes de Colombia (*Aedes* spp.), malaria (*Anopheles* spp.), Leishmaniasis (*Lutzomyia*) y Chagas (*Rhodnius*, *Triatoma*) (Tabla 2).

Los autores de la gran mayoría de los artículos revisados en las revistas, mencionadas en las tablas 1 y 2, son jóvenes que recién han culminado su pre o pos-grado, es decir, son la nueva generación de entomólogos de Colombia. Se confía

que, por lo menos, unos pocos de ellos, sigan el camino de la investigación, produciendo resultados básicos y aplicados, para mejorar la sostenibilidad del campo agropecuario del país. Las universidades que ofrecen programas, básicamente, Ingeniería Agronómica y Biología, en cuyo plan de estudio se incluyen asignaturas, como Entomología General,

Morfología y Taxonomía de Insectos, Entomología Agrícola, Zoología de Artrópodos, Invertebrados, Manejo Integrado de Plagas, Entomología Económica y otras afines con la disciplina entomología, necesitan relevos con profesionales, quienes no solamente se dedican a la docencia, sino también a la investigación.

Tabla 2. Artículos publicados en revistas nacionales sobre temas básicos de Entomología Médica.

REVISTA	<i>Triatoma</i>	<i>Lutzomyia</i>	<i>Rhodnius</i>	<i>Culex</i>	<i>Anopheles</i>	<i>Aedes</i>	TOTAL
Rev. Col.* Entomol.	-	11	-	3	6	12	32
Rev. Ciencias de la Salud	-	-	-	-	-	1	1
Rev. Fac. Me- dicina U.N.	-	-	-	1	-	2	3
Rev. Salud Pública	1	2	1	1	-	6	11
Rev. Fac. Nal. De Salud Pública	-	-	-	-	-	2	2
Rev. Salud Uninorte	-	2	-	-	1	2	5
Latreia	-	-	-	-	-	1	1
Colombia Médica	-	1	-	-	1	-	2
CES Me- dicina	1	-	1	-	-	1	3
Biomédica	9	21	14	5	11	18	78
TOTAL	11	37	16	10	19	45	138

\* Incluye desde 2009 una sección especial de entomología médica.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Recordar la historia, basada en los hechos y acontecimientos que llevaron una disciplina de la agronomía a éxitos, expresados en el conocimiento y manejo de muchos insectos plaga, en la existencia in-interrumpida de una revista de reconocimiento internacional y, en la docencia, de asignaturas pertenecientes en las instituciones de educación superior, debe ser el propósito de las generaciones actuales, para evitar que el olvido se apodere de ellos.

Las entidades financiadoras de investigación deben preferir la inversión en proyectos de control biológico aplicado, basado en los conocimientos, ya disponibles, adquiridos en los reconocimientos y los estudios biológicos. Estos proyectos tienen que conducir a la cría masiva y eficiente liberación en el campo de enemigos naturales, como componente esencial de un manejo integrado de plagas.

La creación de una revista dedicada a la entomología médica, la implementación de cursos de entomología médica en las facultades de Medicina de las Universidades, debe estar entre los propósitos, para lograr la solución de los problemas de la entomología médica.

Este escrito, por obvias razones, no es completo; por lo cual, finalmente, pido disculpas a aquellos entomólogos que no he nombrado o destacado en esta breve reseña histórica. Otros autores completarán el listado de los investigadores mencionados, muchos, de los cuales, ya no nos acompañan y a quienes se dedica este trabajo. Igualmente, se espera que alguien realice otra revisión, que abarque la disciplina de entomología, en la actualidad.

**Agradecimiento:** Al Doctor Carlos E. Sarmiento Monroy, del Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, por facilitar y permitir el uso de la

ponencia "El control biológico y la Sociedad Colombiana de Entomología SOCOLEN, 1877-2007", presentada en el 38° Congreso de SOCOLEN y por su desinteresada revisión de la versión original del manuscrito.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALCARÁZ V., H. 1962. Problemas Entomológicos del Algodón en Colombia. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina, p.173-179.
- ÁLVAREZ R., J.A. 1971. Fluctuation of the *Heliothis* spp. Population in cotton. Brownsville, Texas Research Coordination. 3p.
- ÁLVAREZ R., J.A. 1999. Efecto de las fechas de siembra y de la remoción de estructuras en la producción del algodón. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 2(2):32-36.
- APOLINAR, M.H. 1924. Especies nuevas y observaciones sobre Dermápteros y Orthópteros colombianos. Bol. Soc. Col. de Ciencias Naturales. 75:45-50.
- APOLINAR, M.H. 1937. Especies nuevas y observaciones diversas sobre Dermápteros y Ortopteros colombianos. Familia de los Mantidos. Rev. Ac. Col. Cienc. Ex. Fis. y Nat. 1(3):226-227.
- BARRIOS FERRER, R. 1945. Informe 1944-1945 del Departamento Nacional de Agricultura, Instituto de Biología Vegetal, Ministerio de Economía (Colombia). p.177-239.
- CARDONA, C.; RODRÍGUEZ, A.; PRADA, P.C. 1993. Umbral de acción para el control de la mosca blanca de los invernaderos *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera: Aleyrodidae), en habichuela. Rev. Colomb. Entomol. 19(1):27-33.
- CARDONA, C. 1995. Manejo de *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) en frijol en la zona Andina: Aspectos técnicos, actitudes del agricultor y transferencia de tecnología. Memoria IV Taller Latinoamericano Sobre Moscas Blancas y Geminivirus, 16 – 18 octubre, Zamorano, HN. CEIBA 36(1): 53-64.
- CARDONA, C.; RENDÓN, F.; GARCÍA, J.; LÓPEZ-ÁVILA, A.; BUENO, J.; RAMÍREZ, D. 2001. Resistencia a insecticidas en *Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) en Colombia y Ecuador. Rev. Colomb. Entomol. 27(1-2):33-38.
- CHAPIN, E.E. 1941. Two new species of coccinellid beetles from Costa Rica and Colombia. J. Washington Acad. Acad. Science. 31(3):107-109.
- DENMARK, H.; MUJICA, M. 1972. Some Phytoseiidae of Colombia (Acarina: Phytoseiidae). The Florida Entomologist. 55(1):19-30.
- DONISTHORPE, H. 1936. *Acropyga (Rhizomyrma) robae* sp. nov. (Hym: Formicidae), a new S. American ant, with remarks on the genus, etc. The Entomologist (London). 69:108-111.
- FIGUEROA POTES, A. 1946. Catalogación inicial de las cochinillas del Valle del Cauca (Homoptera: Coccoidea). Rev. Fac. Agronomía, Montevideo Universidad. 6:196-139.
- FIGUEROA P., A. 1952. Catálogo de los Artrópodos de las clases Arachnida e Insecta encontrados en el hombre, los animales y las plantas de la Republica de Colombia. 1. Acta Agr. 2(3):127-139.
- FIGUEROA POTES, A. 1977. Insectos y acarinos de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional. Palmira, Colombia. 685p.
- GARCÍA R., F. 1976. El complejo *Heliothis* sus huéspedes y sus hábitos. Rev. Col. Entomol. 2(3):75-92.
- GARCÍA, F.; ZENNER DE POLANÍA, I. 1979. Manejo de plagas en los cultivos de soya y frijol en Colombia. ICA. 36p.
- HUNTER, R.C. 1964. Resultados obtenidos en el programa del control de las plagas del algodón en la zona de Palmira (Valle del Cauca) campaña algodonera 1964. Boletín Noticias (IFA). Bogotá, IV. 9p.
- HOWARD, L.O. 1930. A history of Applied Entomology. Smithsonian Miscellaneous Collections. 84:442-443.
- MACÍAS-ALVIRA, D. 1978. 50 años de Agronomía en Colombia. Ed. Duplólito, Bogotá, D.E. 186p.
- MADRID, C. 1944. Anexos al informe del Ministerio de la economía Nacional presentados al congreso e Agricultura-Ganadería-Tierras. Tomo III, Departamento Nacional de Agricultura. Disponible desde Internet en: <http://201.234.78.28:8080/dspace/bitstream/123456789/2015/5/0022.pdf> [con acceso 02/04/11].

22. MESA, N.C. 1999. Ácaros de importancia agrícola en Colombia. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 52(1):321-363.
23. MORALES-ALARCÓN, A.; OSORNO-MESA, E.; DE OSORNO, F. 1969. Phlebotominae de Colombia (Diptera, Psychodidae): II. - Sobre algunos *Phlebotomus* de los Llanos Orientales. Caldasia. 10(48): 377-382.
24. MURILLO, L.M. 1934. Qué son las plagas y cómo se combaten. Imprenta Nacional. Bogotá. Colombia. 47p.
25. MURILLO, L.M. 1938. Sentido de una lucha biológica. Segunda edición. Imprenta Nacional Bogotá. 48p.
26. OSORNO-MESA, E.; MUÑOZ-SARMIENTO, F. 1948. Una nueva variedad de *Anopheles pseudopunctipennis*. Caldasia. 5(21):105-413.
27. OSORNO-MESA, E.; MORALES-ALARCÓN, A.; DE OSORNO, F. 1967. Phlebotominae de Colombia (Diptera, Psychodidae): I. distribución geográfica de especies de *Phlebotomus* registradas con algunas anotaciones biológicas y descripción de una nueva. Caldasia. 10(46):27-38.
28. OTOYA, F.J. 1945. Anotaciones sobre el género *Ancognatha* y descripción de una nueva especie (Scarabaeidae). Caldasia. 3:273-282.
29. OTOYA A., F.J. 1946. Plagas de arroz y frijol en Colombia. Agricultura Tropical 2(7):61-62.
30. POSADA O., L. 1976a. Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia. 3ª ed. Min. Agr. ICA, Div. Agronomía, Programa de Entomología. Bol. Técnico No. 43. 484p.
31. POSADA, L.; GARCÍA F. 1976b. Lista de predadores, parásitos y patógenos de insectos registrados en Colombia. ICA; Boletín Técnico No. 41. 90p.
32. RESTREPO MEJÍA, R. 1980. Membracidos de Colombia. 1. Revisión parcial de las especies del género *Alchisme* Kirkaldy (Homoptera: Membracidae: Hoplophorioninae). Caldasia. 13(61):103-164.
33. RESTREPO-MEJÍA, R. 1985. LEOPOLDO RICHTER (1896 - 1984). Caldasia, 14(67):181-183.
34. RICHTER, L. 1940. Catálogo de los Membracidae de Colombia. Rev. Academia Colombiana. 3:463-463.
35. RICHTER, L. 1941. Catálogo de los Membracidae de Colombia. Revista Academia Colombiana. 4:405-409.
36. RICHTER, L. 1955. Entomología. Membracidae Colombianae. Caldasia. 6:269-380.
37. SALAZAR, J.A. 1999. Notas Bibliográficas a una historia de la Lepidopterología en Colombia durante el siglo XX. Bol. Científico del Centro de Museos U. de Caldas. 3:71-102.
38. SILDARRIAGA V., A.; POSADA F., F.J. 1994. Plantas huéspedes de la mosca blanca de los invernaderos *Trialeurodes vaporariorum* y del patógeno causante del amarillamiento de venas de la papa en Colombia. Agricultura Tropical. 31(1):61-72.
39. SANABRIA DE ARÉVALO, I. 1977. "LUIS MARIA MURILLO". Caldasia. 11(55):4-4.
40. SANABRIA DE ARÉVALO, I. 1993a. Nuevas especies del género *Liriomyza* Mik (Diptera: Agromyzidae) en el Altiplano de Bogotá (Cundinamarca, Colombia). Caldasia. 17(2):265-281.
41. SANABRIA DE ARÉVALO, I. 1993b. Dos especies nuevas del género *Ophiomyia* Braschnikov (Diptera: Agromyzidae) de Santafé de Bogotá (Cundinamarca, Colombia). Caldasia. 17(2):283-289.
42. SANABRIA DE AREVALO, I. 1994. Insectos minadores, Diptera: Agromyzidae, de la Sabana de Bogotá, Cundinamarca, Colombia. U.N. de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales. 40p.
43. SANABRIA DE ARÉVALO, I.; ZENNER DE POLANIA, I. 1994. Una nueva especie de *Melanagromyza* Hendei (Diptera: Agromyzidae), plaga del botón floral del tomate en Colombia. Rev. Col. Entomol. 20(4):229-233.
44. SARMIENTO M., C.E. 2011. El control biológico y la Sociedad Colombiana de Entomología SOCOLEN, 1977-2007. En: Resúmenes 38º Congreso Sociedad Colombiana de Entomología. Manizales, Julio 27, 28 y 29 de 2011.
45. SARMIENTO L.M. s.f. Luis María Murillo Quinche, Fundador de la Sanidad Vegetal en Colombia. Revista Manejo Integrado de Plagas. No. 56. Disponible desde Internet en: <http://web.catie.ac.cr/informacion/RMIP/rmip56/biblio-a.htm> [con acceso 12/04/11].

46. URUETA, E. 1975. *Floracarus cyphomandrae* Keifer (Acarina: Eriophyidae) nueva plaga del tomate de árbol *Cyphomandra betacea* y estudio preliminar sobre su control. Rev. Col. Entomol. 1:1-4.
47. VALENZUELA VERA, G.O. 1973. Reseña histórica de la entomología económica en Colombia. En: Memorias I Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología. Bogotá. p.8-35.
48. VÉLEZ ÁNGEL, R. 1989. Catálogo del Museo de Entomología: Francisco Luis Gallego. Ed. Universidad Nacional de Colombia (Medellín). 261p.
49. VÉLEZ ÁNGEL, R. 1997. Plagas agrícolas de impacto económico en Colombia: bionomía y manejo integrado. Ed. Universidad de Antioquia, Medellín, 482p.
50. ZENNER DE POLANÍA, I.; SALDARRIAGA V., A. 1981. Guía para el control de plagas. 3ª rev. ICA, Subgerencia e Investigación, División de Agronomía, Programa de Entomología. Produccmedios. ICA, 279p.
51. ZENNER DE POLANÍA, I.; LÓPEZ, A. 1977. Hábitos de alimentación del muque de la papa *Copitarsia consuetata* en la Sabana de Bogotá. En: Resúmenes IV Congreso SOCOLEN. Bogotá Junio 22-24. p.22.
52. ZULUAGA, J.I. 1971. Lista Preliminar de ácaros de Importancia en Colombia. Acta Agronómica. 21(3):119-132.

Recibido: Noviembre 1 de 2016

Aceptado: Abril 25 de 2017

#### Cómo citar:

Zenner de Polanía, I. 2017. Reseña de la entomología económica y médica del siglo pasado en Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 163-173.



# IMPLEMENTACIÓN DEL MAPA DE GEOPEDOLOGÍA COMO BASE PARA LA DELIMITACIÓN DE UNIDADES DE ECOSISTEMAS A NIVEL NACIONAL EN COLOMBIA

## IMPLEMENTATION OF THE MAP OF GEOPEDOLOGY AS A BASIS FOR DELIMITING ECOSYSTEM UNITS A NATIONAL LEVEL IN COLOMBIA

Carlos Enrique Castro Méndez<sup>1</sup>, Yolima del Carmen Agualimpia Dualiby<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Agrólogo, Geógrafo, Especialista en Cuencas Hidrográficas, Magíster Geografía. Investigador Progas, Calle 127 bis 88-07 interior 7 casa 26, Bogotá, Colombia, e-mail: cecastro77@gmail.com; <sup>2</sup> Ingeniera Civil, Magíster Ingeniería Civil, Doctora Ciencias Técnicas, Docente. Universidad Distrital Francisco José de Caldas e Investigador Progas, Calle 127 bis 88-07 interior 7 casa 26, Bogotá, Colombia, e-mail: yagualimpiadualiby@gmail.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 175-185, Enero-Junio, 2017

### RESUMEN

Geopedología corresponde a la integración entre geomorfología y pedología; es el concepto que se aplica en Colombia, para interpretar la información de los suelos y, a través de ella, generar cartografía temática, que pueda ser representada en diferentes escalas. Una aplicación reciente de la geopedología es la definición del medio pedológico como sustrato, que soporta ecosistemas terrestres y que hace parte del ambiente, debido a que cumple la función de permitir los flujos de energía entre coberturas vegetales y seres vivos. En este artículo, se realiza una reflexión sobre el papel que, históricamente, ha tenido la información de los suelos en el contexto colombiano y su aporte a las ciencias del ambiente; se muestra un desarrollo histórico, que permite analizar cómo se ha integrado la información de suelos realizada en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), por más de setenta años y cómo el mejoramiento continuo ha permitido el acercamiento teórico a la delimitación de ecosistemas para dos escalas: la nacional y la general. La ciencia del suelo ha tenido poco reconocimiento en la elaboración de informes recientes relacionados con el ambiente, por ello, es importante que se muestren conceptos y trabajos realizados por expertos en suelos y se divulgue la labor de quienes la desarrollan, así como los resultados obtenidos en la investigación realizada por Progas, relacionado con el tema de escalas y de representación de variables, que permiten mostrar la realidad ambiental y avance en los procesos que, actualmente, se llevan a cabo en Colombia.

Palabras clave: Geomorfología, pedología, ecosistemas y génesis del suelo.

### SUMMARY

Geopedology corresponds to the integration between geomorphology and soil science and this concept is applied in Colombia to interpret the information of soil for generating thematic maps that can be displayed on different scales; a recent application of the geopedology is the definition of pedological zone as the substrate that supports terrestrial ecosystems and is part of the environment because it serves to allow the energy flows between mulches and living things. This article presents a reflection on the role that historically has had the soils information in the Colombian context and its contribution to environmental science; a historical development is done about soil information to analyze its integration in the Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) for over seventy years and how the continuous improvement has allowed the theoretical approach and the delimitation of ecosystems are close to each other to two scales: national and overall. Soil science has had little recognition in the development of recent reports related to the environment, so it is important that concepts and work done by experts in soils are shown; it is equally important that result obtained in the investigation performed by the research group Progas, related to the topic of scales and representation of variables which allow display environmental reality and the processes that are advancing in Colombia.

Key words: Geomorphology, pedology, ecosystem and soil genesis.

## INTRODUCCIÓN

Conocer los recursos naturales con que cuenta Colombia requiere de un análisis integral de elementos, que han servido para la identificación y la delimitación del sistema ambiental. El enfoque ambiental, basado en ecosistemas, como se concibe en la actualidad, no tiene en cuenta en sus informes técnicos al suelo, como generador de servicios. La normatividad utilizada en el manejo del suelo aplica el enfoque productivo y por tal motivo, esta información no es visible en los informes que se han realizado del ambiente. En la Política para la Gestión Integral Ambiental del Suelo generada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2013), se afirma que ante la ausencia de una definición unificada no es posible aplicar una reglamentación ajustada a los propósitos del gobierno, debido a que varias organizaciones gubernamentales administran territorio. Las normas que producen estas entidades están desarticuladas y esto dificulta la gestión ambiental del suelo; no obstante, la información de suelos ha sido un elemento utilizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2001), en los informes de estado de los recursos naturales y en la delimitación de los ecosistemas terrestres; por ello, es necesario conocer los aportes de la ciencia del suelo y los primeros enfoques ambientales desarrollados, a partir de esa información en Colombia.

La ciencia del suelo es reciente. El primer registro de estudio agrológico aparece en México, en el sistema nacional de riego Coahuila (Rico, 1931). En 1940, se abre la oficina de Catastro Rural en el Instituto Geográfico Militar de Colombia y se realizan estudios de caracterización de suelos, para cumplir con las necesidades de información cartográfica (IGAC, 2016). En los años cincuenta, se ejecutan trabajos para adecuar tierras con drenaje natural pobre, caso de valle del Sibundoy (IGAC, 1955) e instalar el distrito de riego en el río Coello, en el departamento de Tolima (IGAC, 1955), así como en zonas del altiplano Tunja- Sogamoso (IGM, 1957).

Los estudios de suelos realizados en los años cincuenta correspondían a zonas planas, que cumplían con el requerimiento de ser arables; los suelos alóctonos o formados por materiales transportados, se caracterizaban con texturas y colores. Posteriormente, los estudios se extendieron a zonas con relieve, en los cuales, se incluyó la pendiente y otras variables, derivadas de procesos que suceden en relieves fuertes, tales como la pedregosidad, el afloramiento de rocas y la erosión. Los primeros estudios incluían la distribución de variables de suelos que se aplicaban al catastro rural, mediante el índice de productividad de las tierras (Cortés, 1974).

En los años sesenta, el auge de levantamiento de suelos en regiones planas y con fines agrícolas, continuaría en el valle del río Zulia, en Norte de Santander (IGAC, 1964) y estudios,

con fines catastrales, en los municipios de San Zenón y San Sebastián, en Magdalena (IGAC, 1968).

Los estudios de suelos han sido realizados durante sesenta años para definir el uso y manejo, orientado a la productividad agrícola. Con la promoción de agrólogos preparados para orientar el uso de suelos agrícolas, comienza la investigación aplicada en la sabana de Bogotá (Malagón, 1966; 1968; 1969); se abordaron temas de mineralogía (Malagón, 1975) y física de suelos (Montenegro y Malagón, 1990), importantes en el desarrollo de la ciencia del suelo en Colombia. Entre los años sesenta y setenta, se oficializa el uso de la taxonomía de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y se estructura la correspondiente leyenda.

Los primeros estudios de suelos realizados en Colombia fueron un claro desempeño de profesionales en química, quienes alternaban sus evaluaciones con aportes de agrónomos que, en condiciones de invernadero, analizaban la respuesta de los cultivos a aplicaciones de nitrógeno, fósforo y potasio; estos trabajos dieron origen a la tabla de fertilidad, que se utiliza en la actualidad (IGAC, 2007).

La pedología avanzó en el estudio de las propiedades del suelo, dando elementos para determinar el uso y el manejo agrícola. Las propiedades ándicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas, se estudiaron, incluso, antes de que se incluyera el orden taxonómico en la clave (IGAC, 1981), se adoptó el esquema jerárquico de geomorfológica propuesto por Zinck (1987) y se estudió la relación suelo paisaje, en la que se contemplaban características fisicoquímicas (IGAC, 1995).

Entre los años ochenta y los noventa, se introdujeron las clases agrológicas con ajustes al medio colombiano, para pasar de estudios de suelos de tipo descriptivo a los aplicados al uso agrícola y la conservación o recuperación (IGAC, 1986), independizando el proceso catastral, del cual, se definía el valor potencial del suelo para áreas homogéneas de tierra, para el catastro (IGAC, 1981).

Desde los años noventa hasta el 2015, los esfuerzos del IGAC se centraron en la integración de estudios sectoriales hasta el nivel departamental. La información, a nivel nacional, se presentó en tres versiones: Mapa de Suelos de Colombia escala 1:1.500.000 (IGAC, 1982a), Mapa de Suelos de Colombia escala 1:500.000 y Mapa de Suelos de Colombia escala 1:100.000 (IGAC, 2015). Durante seis décadas, se realizaron levantamientos de suelos en muchos sectores del territorio colombiano. La consulta e integración de alrededor de quinientas memorias técnicas junto con la estructuración de esta información, bajo la mirada nacional, permitieron generar datos del suelo, que sirvieron para mostrar el estado de este recurso en Colombia (IGAC, 2016).

Los primeros trabajos realizados hacia un enfoque ambiental, se dieron a través del mapa de geopedología, considerado un producto de transición, aplicado a caracterizar el sustrato de los ecosistemas. El concepto ecosistema, acuñado por los botánicos Clapham y Tansley, en 1930, tiene su aplicación a diferentes escalas (Raffaelli, 2010); cada país representa, de manera diferente, la interacción entre organismos vivos (biocenosis) y el medio físico (biotopo), el cual, es denominado hábitat. Al interior de los ecosistemas, se consideran flujos internos de materia y energía y en sus límites; Clements (1905) lo denominó ecotono.

El ciclo de la vida dentro del hábitat fue identificado por Darwin (2011), quien demostró que el mantillo del suelo es producto de nacimiento y muerte de las lombrices. El flujo de energía en la formación de los suelos fue estudiado también por Volobuev (1964), quien utilizó el clima ambiental como variable derivada del balance de radicación neta de la superficie terrestre, determinada a partir de siete termosecuencias y once hidrosecuencias; además, en el suelo, se realizan cuatro procesos ecológicos que dinamizan el sistema: 1) el agua (White, 2006); 2) los nutrientes (Bohlen & House, 2009); 3) los flujos energéticos (Begon *et al.* 1996) y 4) la dinámica de las comunidades o sucesiones vegetales (Sarmiento, 1982). Los suelos, se cargan de energía mediante el ciclado de nutrientes, los aportes de sedimentos o la acumulación de humus y consumen energía durante la evolución, al pasar por estados de mineralización, de liberación y de transferencia de nutrientes (Zapata, 2006). Las coberturas vegetales participan en la evolución del suelos, así lo entendieron los ecólogos Aber & Melillo (2001), quienes relacionaron los órdenes taxonómicos de suelos con los biomas.

De acuerdo con los anteriores desarrollos conceptuales, el suelo se considera elemento determinante en la delimitación de ecosistemas terrestres; a través del suelo, se puede representar el registro de ecosistemas originales y los procesos que han sucedido en el medio ambiente. El suelo almacena carbono orgánico, como proceso de combustión y el uso inadecuado del mismo puede generar cambios en el clima y en el hábitat de especies; así fue interpretado en la cartografía de ecosistemas a la escala 1:100.000 (MINAMBIENTE *et al.* 2015).

La razón de la presente investigación es resaltar la integración de suelos realizada en Colombia y la importancia de estos en los temas ambientales. Se parte del supuesto de que el suelo es sustrato de los sistemas ambientales y, a partir del conocimiento de éste, es posible delimitar los ecosistemas terrestres.

## MATERIALES Y MÉTODOS

- Estudios de suelos y planchas temáticas
- Manuales de procedimiento aplicados en el levantamiento de suelos
- Literatura sobre temas ambientales
- Mapas y memorias técnicas de geopedología a escala 1:500.000 y 1:100.000
- Shapefile de sectores de la altillanura y depresión intramontana

El estudio consistió en revisar documentos para conocer el proceso aplicado en la integración de información de suelos y las bases científicas de expertos, para responder las necesidades de información con enfoque ambiental, a dos escalas de representación.

Se hizo un análisis retrospectivo de la cartografía de suelos, a través de entrevistas a expertos, quienes trabajaron la temática en Colombia; se complementó la información con registros bibliográficos y manuales utilizados en la elaboración, análisis y diseño de los mapas de suelos de Colombia. El método consistió en analizar los procedimientos aplicados por científicos del suelo e identificar los desarrollos conceptuales aplicados a cada escala. Los pasos generales fueron: 1) Revisión de informes técnicos de suelos, investigaciones y manuales de procedimiento de levantamientos de suelos, en el contexto nacional; 2) Análisis y contraste entre informes y cartografía temática en otros países; 3) Identificación de conceptos y de variables aplicadas en Colombia, a cada escala en el tema de geopedología y 4) análisis del proceso utilizado en la integración de información de suelos y esco-gencia de las variables aplicadas en Colombia, durante la generación del mapa de geopedología.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La primera versión del mapa de suelos de Colombia la realizó el IGAC, a escala 1:1.500.000 (IGAC, 1982a). Para la conformación de este producto, se utilizó el mapa de zonas de vida, publicado a escala 1:500.000, por la misma institución, en 1977, los estudios generales y regionales de la época, y las cartas geológicas del Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS), de 1976.

En el mapa de suelos, versión de 1982, se aplicó un enfoque pedológico, en el cual, el material parental era transformado por el clima y cuyo efecto se interpretaba en el tipo de cobertura vegetal. Las unidades cartográficas agrupadas por paisajes geomorfológicos representa la morfogénesis dominante, asociada al origen del suelo.

El proceso utilizado para generar y estructurar 1.041 hojas cartográficas de suelos y plasmar la distribución de los suelos en 26 planchas 1:500.000, en el 2003, requirió de dos elementos base, para homogenizar los criterios de conformación de unidades: la zonificación climática y la definición de materiales parentales, provenientes de los mapas de suelos y de geología.

Para definir las unidades climáticas, se digitalizó el mapa de zonas de vida de Colombia y se hizo la reclasificación a pisos térmicos y condiciones de humedad; esta información, se cruzó con el nuevo mapa geomorfológico y se agregó el correspondiente suelo dominante. El mapa de suelos de Colombia escala 1:500.000 de contaba con 197 unidades cartográficas.

La construcción de la información de suelos a escala 1:100.000, en el 2015, requirió la integración de nuevos estudios departamentales, por el grupo de expertos. La cartografía temática fue estructurada mediante consulta de 182 documentos técnicos, producidos durante los 70 años de historia del IGAC. También, se utilizaron datos reportados en 109 estudios agrológicos especiales, que incluían los temas de cobertura vegetal, investigaciones aplicadas a suelos y temas afines. El mapa de suelos contiene 1.475 unidades cartográficas, cuyo contenido pedológico se agrupa en 11 órdenes de suelos y 59 subórdenes taxonómicos en la cartografía temática, sin incluir los gelisoles (IGAC, 2015).

Para la configuración de las 1475 unidades cartográficas, se utilizaron 3.238 perfiles, provenientes de los estudios generales de suelos. La mayoría de las descripciones de suelos se situaban en los departamentos de la región andina y caribe.

El mapa de geopedología, realizado por el IGAC, en el 2007, para el proyecto ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia fue definido, de acuerdo con dos componentes básicos: la cartografía de suelos armonizada a escala 1:500.000 y el paisaje geomorfológico integrado; estos productos fueron mejorados en el nivel superior e inferior. La zonificación climática fue la capa de información más general; le siguió el ambiente morfogenético que, según Zinck (1988), corresponde a acciones que originaron los relieves actuales, enmarcados en paisajes geomorfológicos y, finalmente, en la modelación del relieve. Esta delimitación fue trabajada bajo bases conceptuales, que permitieron la integración de tipos de relieve, según el proceso general, determinado en la formación de estos.

**Confrontación con otras experiencias en el mundo.** Birke-land (1999) concluyó que si se evaluaba la evolución del relieve al igual que la edad y la estabilidad de los procesos junto con el clima del pasado, se tenían elementos adecuados

para delimitar los suelos. Gerrard (1992) propuso evaluar las relaciones genéticas del relieve para identificar los suelos. El enfoque geopedológico aplicado por Zinck (1988) incluyó cuatro aspectos complementarios: morfometría, morfogénesis, morfochronología y morfodinámica.

La integración de información de suelos y geomorfología propuesta por Gerrard (1981) y Zinck (1988) contribuyó a mejorar los levantamientos de suelos; le siguió el análisis fisiográfico, como enfoque práctico de la geomorfología climática, desarrollada, años atrás, por Peltier (1950), Stoddart (1968) y Tricart (1977). El avance de esta metodología y el concepto que relaciona el suelo con el paisaje, se presentan en el libro de Geopedology, de Zinck (2013), en el cual, trató la escala de representación de las geoformas y suelos (Zinck, 1987); el tema adquirió mayor relevancia y actualidad en la publicación *Geopedology An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies* (Zinck *et al.* 2016).

La geopedología aplicada por Wild (1993), a temas ambientales, consideraba al suelo como sustrato de los ecosistemas terrestres. En Brasil, se realizaron varias versiones del mapa integrado de geopedología, entre 1981 y 1993, donde las representaciones cartográficas se modificaron, de acuerdo con los nuevos criterios y atributos aportados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés USDA (1992) y la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura, por sus siglas en inglés FAO (1993a, 1993b); los temas ambientales se representaron en Brasil, a la escala 1:5.000.000, debido a lo extenso del territorio (Teixeira & Baptista, 2000).

La geomorfología y la pedología fueron consideradas por Fitzpatrick (1971), Hugget (2003), Anderson & Anderson (2010) y Gutierrez (2013), como ciencias físicas independientes; sin embargo, las investigaciones realizadas por Zinck (1970; 1974; 1977; 1980) permitieron integrar la relación suelo-paisaje para su aplicación en temas, como la biodiversidad (Ibáñez y Pérez, 2015), relación entre suelos y formas eólicas y fluviales (Abdelfattah, 2013) y permitió la generación de nuevos enfoques al delimitar geoformas, según la escala requerida (Abdelfattah & Pain, 2012). Con relación a la escala de representación, en Colombia se avanzó en el tema de uso potencial de la tierra, según el nivel de exactitud de la escala: a nivel general, los usos principales y, a nivel detallado, los usos específicos (IGAC, 2007).

Toomanian (2013) estudió la distribución de formas del relieve y suelos en diferentes regiones de Irán y encontró patrones similares, en cuanto a la biodiversidad; sugirió la regularidad entre funciones que relacionan estructuras ecológicas, biológicas y bióticas, por tanto, argumentaron la

utilidad del enfoque pedológico, en la delimitación de los ecosistemas.

La leyenda del mapa de geopedología de Colombia muestra avances conceptuales en la integración de conocimientos, basados en la relación suelo-paisaje. En primera instancia, la escala de trabajo y la escala final permitieron definir la representatividad de las variables. En el mapa de suelos (IGAC, 1982a) fue necesario readecuar la información cartográfica temática, de escala 1:500.000 a 1:1.500.000, para justificar el grado de incertidumbre; debido a la escasa información que se tenía en la década de los ochenta, se agruparon paisajes y se asignaron cualidades que representaban el origen de los suelos, según sea el proceso fluvial, erosional o estructural, entre otros. Las características de los suelos fueron asociadas a relieves, según categorías de pendiente, e drenaje natural y de clima atmosférico.

La leyenda del mapa de geopedología escala 1:500.000, se estructuró con base en la información del paisaje, ambiente morfo-genético, pendiente, drenaje y órdenes de suelos; el símbolo representaba siete paisajes: montaña, piedemonte, lomerío, altiplanicie, superficies de aplanamiento, planicie y valle; los ambientes morfo-genéticos, definidos a esta escala nacional, fueron siete: estructural-erosional, glaciárico, fluvio-gravitacional, coluvio-aluvial, aluvial, residual y eólica. Las pendientes asociadas a las formas del relieve fueron siete: menores o mayores del 7%, menores o mayores al 50%; menores o mayores al 25% y una categoría indeterminada; los drenajes, se agruparon en dos clases: imperfecto a excesivo y pobre a muy pobre. Cada ambiente morfo-genético fue relacionado con los once órdenes taxonómicos dominantes, reportados en estudios anteriores al 2002. Al final, se obtuvieron 30 unidades geopedológicas a escala 1:500.000, que serían la base de los ecosistemas definidos, según el clima, las coberturas vegetales, los tipos de suelos y el relieve.

La estructuración del mapa de geopedología de Colombia a escala 1:100.000, se realizó a partir del correspondiente mapa de suelos (IGAC, 2015). Al ser un estudio de mayor resolución que el del 2003, se obtuvo un análisis detallado de las unidades cartográficas, bajo el criterio del marco evolutivo del suelo, según el paisaje, clima, tipo de relieve, material de origen y drenaje.

Mientras en el primer mapa de geopedología (escala 1:500.000), se aplicó un método deductivo, basado en suelos comunes, en una geoforma; en la nueva versión (escala 1:100.000), se utilizó un método inductivo, en el cual, se le dio mayor relevancia a los procesos pedogénéticos que representan los suelos, identificados en una geoforma específica.

Durante el análisis de la relación suelo-paisaje, los expertos adoptaron, como criterio, la condición básica para el ambiente de formación; aplicaron, como marco general, el ambiente morfo-genético del paisaje y luego el análisis de suelo, como resultado de la condición regional, que incide en la pedogénesis, determinada por el clima edáfico y el material de origen del mismo. La vegetación, en este sentido, no fue considerada como factor determinante en la formación, sino como indicador de la condición actual, ya que en algunas ocasiones la morfología del suelo no reflejaba el clima edáfico y, en su defecto, sí las condiciones climáticas pasadas.

La cantidad de unidades cartográficas de suelos del mapa nacional de suelos (IGAC, 2015) no fue impedimento para la delimitación de ecosistemas terrestres. Los pedólogos crearon categorías homogéneas de paisaje y suelo, que les permitió generar el mapa de geopedología, a partir de la relación entre la geomorfología y los suelos. Los expertos analizaron el grado y la intensidad de los procesos pedogénéticos, de acuerdo con el nivel taxonómico de mayor jerarquía que el orden y escogieron el subgrupo.

A escalas de mayor detalle, se pueden distinguir los procesos químicos que tienen lugar en los suelos y, especialmente, se pueden identificar los flujos energéticos, mediante el análisis del tipo de humus y cuantificación de los elementos liberados durante los procesos pedogénéticos (Sarmiento, 1982). Con base en lo anterior, los especialistas de suelos colombianos examinaron 1.475 unidades cartográficas de suelos, de acuerdo con una o más características combinadas del paisaje, agrupadas por tipos de relieve y confrontadas con los procesos de formación de suelos. En total generaron 254 unidades cartográficas de geopedología, para todo el país.

Para mostrar la aplicación de conceptos en la representación de la geopedología, se tomaron, como estudio de caso, dos regiones de interés actual, una muestra de la altillanura y una zona productiva de paisaje valle. El procedimiento consistió en identificar las condiciones, bajo las cuales, se formaron y agruparon los suelos, según la intensidad y la característica del paisaje. Se utilizó información secundaria en escalas 1:25.000 (IGAC, 1989) y 1:100.000 (IGAC, 1982b), ajustada con fotointerpretación de paisajes y relieves para representar los conceptos, de acuerdo con la distribución espacial a la escala general (1:100.000), contrastada con la escala nacional (1:500.000).

El elemento formador cartografiado en el tema de geopedología escala 1:100.000 (IGAC, 2013), representa el estado genético del suelo interpretado por expertos, para la escala general; consistió en agrupar suelos de diferentes órdenes taxonómicos, cuya característica común fue el régimen de

humedad, los procesos de humificación, lixiviado de nutrientes, características relacionadas con el tipo de arcilla, acumulación de arenas provenientes de procesos de deposición aluvial o suelos residuales, salinidad, sodicidad, procesos de andolización, oxidación, intemperización y aridez, entre otras.

Al comparar el mapa de geopedología realizado mediante los procedimientos a las zonas de altillanura y depresión intramontana con el mapa de ecosistemas, producido por el MINAMBIENTE *et al.* (2015) escala 1:100.000, se encontró que hay alta correspondencia (Tabla 1).

Tabla 1. Correspondencia entre unidad geopedológica y ecosistemas.

Unidad geopedológica	Zona geográfica	Características	Ecosistema
1	Depresión intramontana	Relieve plano-cóncavo y drenaje natural restringido	Bosque de galería basal húmedo
2	Altillanura	Relieve plano y cóncavo con acumulación con alto %M.O	Bosques de galería inundable basal
3	Altillanura	Relieve plano-convexo con depósitos de arenas	Sabanas inundables
6	Altillanura	Paisajes residuales sometidos a lavados de nutrientes	Sabanas estacionales
7	Altillanura	Geoformas antiguas con materiales muy meteorizados	Agroecosistema ganadero
9	Depresión intramontana	Paisajes relativamente altos o levantados por procesos orogénicos, con materiales permeables	Agroecosistemas mosaico de cultivo y pastos
13	Depresión intramontana	Geoformas por sedimentación reciente y pedogénesis moderada	Río de aguas claras

Esto demuestra, el aporte de la información de suelos y la implementación del mapa de geopedología en la delimitación de los ecosistemas, a la escala 1:100.000.

La figura 1 - parte A, ilustra la distribución de unidades geopedológicas en la altillanura colombiana, en el sector de los ríos Tillava e Iteviare, en Puerto, Gaitán (Meta). Al aplicar el procedimiento definido para reinterpretar la información de suelos, se distinguieron cuatro unidades geopedológicas, así: la unidad 2, definida por acumulación de materia orgánica, con bajo proceso de humificación; la unidad 3, definida por acumulación de arenas eólicas y depósitos aluviales, con suelos de poco desarrollo; la unidad 6, constituida por paisajes de altillanura, con materiales residuales y suelos en estado avanzado de pedogénesis y la unidad 7, definida por paisajes residuales de altillanura, con meteorización muy alta.

La figura 1 - parte B, muestra la distribución de unidades geopedológicas halladas por aplicación del procedimiento a un estudio reciente, en un pequeño sector de los municipios de Puerto Santander y Cúcuta (Norte de Santander), entre

los ríos Zulia y Pamplonita. En la zona predomina la unidad 1, correspondiente al paisaje de valle y cuya condición es álica y con proceso mínimo de oxidación; la unidad 9, que contiene paisajes deposicionales, localmente altos, que generan condición de oxidación con lavado de bases y alta permeabilidad, mientras la unidad 13, del paisaje valle, contiene sedimentos recientes y cuyos suelos tienen pedogénesis moderada y mayores posibilidades de uso agrícola.

La representación de la geopedología a escala nacional 1:500.000 (Figura 1A), corresponde a dos unidades geopedológicas nacionales: la altillanura estructural, agrupación de los códigos 6 y 7 y el lomerío estructural erosional, producto de la agrupación de códigos 2 y 3. En la figura 1B, se distingue una unidad geopedológica nacional, la cual, corresponde a la agrupación de los códigos 1, 3 y 9, del paisaje de valle intramontano deposicional, esto permite demostrar que hay un orden de representación de la geopedología y un avance conceptual aplicado a dos escalas diferentes, en el cual, se incluyen variables representativas del suelo, durante la delimitación de los ecosistemas terrestres, a escalas grandes y a escalas pequeñas variables de paisaje.

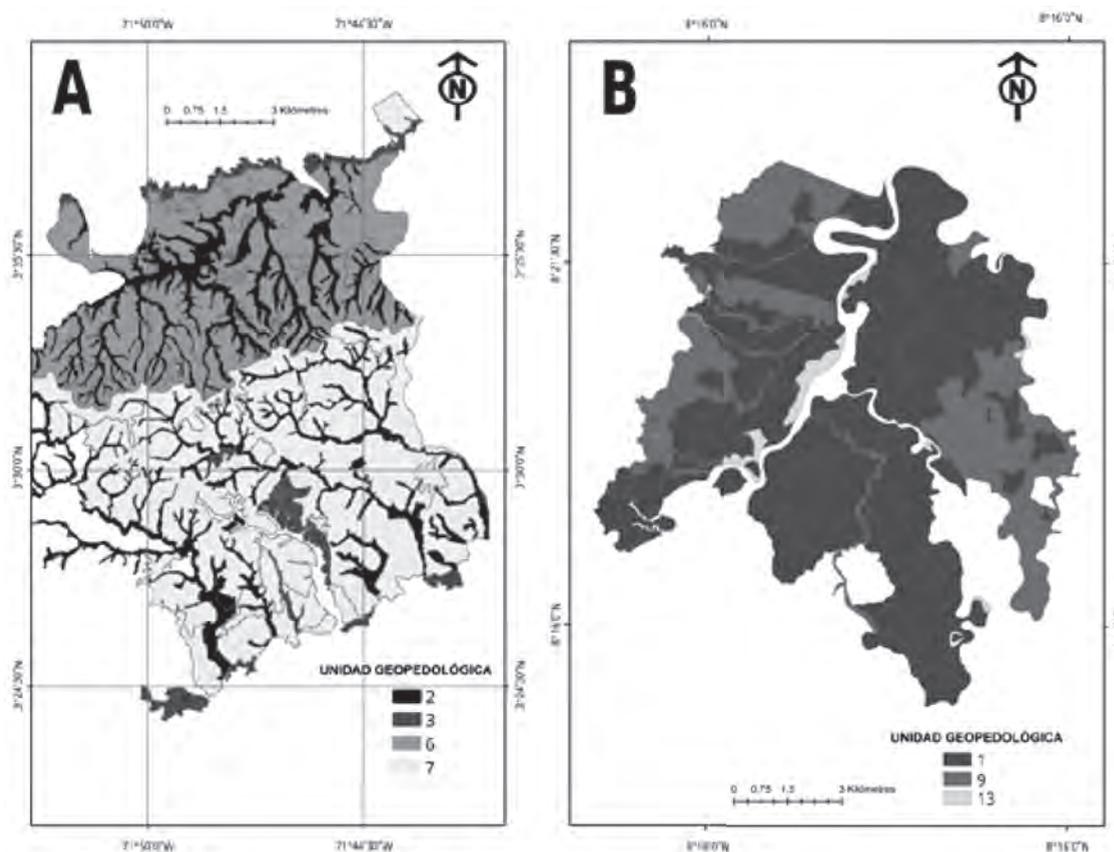


Figura 1. Distribución de unidades geopedológicas en sector de la altillanura, Parte A y en valle intramontano, Parte B.

## CONCLUSIONES

La realización de estudios de suelos, a escalas de mayor detalle, permite mejorar el conocimiento del recurso con la aplicación de nuevas herramientas, actualización de manuales de reconocimiento y conceptualización; permite, además, identificar procesos pedológicos ocultos a la escala nacional y mejorar la comprensión, para delimitar los ecosistemas, en un país de alta biodiversidad de especies.

Los especialistas de suelos aplicaron aspectos relacionados con los procesos de configuración de paisajes y ambientes de formación de los suelos, al conformar la cartografía de geopedología, a dos escalas diferentes. Del análisis del paisaje derivaron la interpretación de relieves, cuya representación espacial tridimensional fue identificada, según las características externas y a través del análisis de su origen. La pedología correspondió al análisis de la génesis de suelos, en la cual, intervienen factores y procesos que pueden ser analizados, a través de la morfología y los inventarios taxonómicos. Los 3.238 perfiles de suelos analizados en la escala general 1:100.000 fueron un componente importante, en la

identificación y en la delimitación de los ecosistemas colombianos actuales.

La información de unidades geopedológicas permitió definir un marco general con variantes, de acuerdo con la presencia de coberturas vegetales y el análisis de la biodiversidad. La similitud entre las delineaciones de geopedología y de ecosistemas muestra el aporte de la información de suelos en la delimitación de los ecosistemas terrestres, a las dos escalas representadas en Colombia.

En la cartografía de suelos, se contó con la descripción de las características orientadas al uso y manejo. En la representación de la geopedología, se identificaron los ambientes que configuran relieves, cuyo sustrato permitió la delimitación de ecosistemas, en el contexto nacional, a través del análisis del paisaje. En la delimitación de ecosistemas a la escala general, se analizó el marco evolutivo del suelo, por medio de los procesos de formación, como producto de la acción de las coberturas vegetales y los organismos, cuya intervención produjo sustratos diferentes.

Los conceptos utilizados para generar el mapa de geopedología, se realizaron por agrupación de ambientes morfogenéticos, identificados en el nivel geomorfológico, como punto de encuentro, para el caso de la escala 1:500.000 y, a la escala 1:100.000, se analizaron los ambientes, en los cuales, se formaron los suelos y, para ello, se utilizó la base de datos de suelos del mapa integrado de suelos de Colombia.

A diferencia del enfoque productivo, el ambiental no tomó como elementos determinantes las fases cartográficas, que definen el manejo, salvo la erosión, para caracterizar los ecosistemas transformados. La geopedología, a escala 1:500.000, se concentra en los orígenes geomorfológicos o ambiente de formación de las geoformas y, a escala 1:100.000, la geopedología se inclinó a interpretar los ambientes de formación de suelos, utilizando como elementos cartografiables derivados de características fisicoquímicas de los perfiles de suelos. La sostenibilidad transita entre el enfoque productivo y el ambiental; la geopedología, como sustrato de ecosistemas, permitiría hacer buen uso del territorio.

Financiación. La investigación que originó este artículo fue financiada por los autores y el Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses que arriesguen la validez de lo expresado en este artículo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ABDELFAH, M.A.; PAIN, C. 2012. Unifying regional soil maps at different scales to generate a national soil map for the United Arab Emirates applying digital soil mapping techniques. *J. Maps.* 8(4):392-405. Disponible desde Internet en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17445647.2012.746744> (con acceso 18/05/2016).
2. ABDELFAH, M.A. 2013. Pedogenesis, land management and soil classification in hyper-arid environments: results and implications from a case study in the United Arab Emirates. *Soil Use and Managem.* 29(2):279-294. Disponible desde Internet en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/sum.12031/abstract> (con acceso 18/05/2016).
3. ABER, J.; MELILLO, J. 2001. *Terrestrial ecosystem.* Harcourt Academic Press. Cengage Learning. (Estados Unidos). 556p.
4. ANDERSON, R.; ANDERSON, S. 2010. *Geomorphology: The Mechanics and Chemistry of Landscapes.* Cambridge, University Press. (Estados Unidos). 637p.
5. BEGON, M.; TOWNSEND, C.; HARPER, J. 1996. *Ecology from individual ecosystems.* 4<sup>ed</sup> - Blackwell Publishing. (Australia). 738p.
6. BIRKELAND, P. 1999. *Soils and Geomorphology.* Oxford University Press. (Estados Unidos). 430p.
7. BOHLEN, P.; HOUSE, G. 2009. *Sustainable agroecosystem management. Integrating ecology, economics, and society.* CRC PRESS. Taylor y Francis Group. Boca Raton, (Estados Unidos). 296p.
8. CLEMENTS, F.E. 1905. *Research Methods in Ecology.* University of Nebraska. Univ. Publ. Co., (Estados Unidos). 334p.
9. CORTÉS, A. 1974. Índice de productividad de los suelos para valoración catastral. Reunión Panamericana sobre los levantamientos integrados y el desarrollo de los países. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. México. p.263-278.
10. DARWIN, CH. 2011. *La formación del mantillo vegetal por la acción de las lombrices con observación de sus hábitos.* Fecha del libro 1881. Biblioteca Darwiniana. CSIC. (España). 229p.
11. FAO. 1993a. *El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Las políticas de recursos hídricos y la agricultura.* Colección FAO: Agricultura. (Italia). 26:8-18.
12. FAO. 1993b. *Guidelines for land-use planning.* FAO Development Serie 1. (Italia). 96p.
13. FITZPATRICK, E. 1971. *Pedology: A Systematic Approach to Soil Science.* Oliver y Boyd. (Estados Unidos). 306p.
14. GERRARD, A.J. 1981. *Soils and landforms, an integration of geomorphology and pedology.* Ed. George Allen & Unwin (publishers) Ltd. (Inglaterra). 219p.
15. GERRARD, A.J. 1992. *Soils geomorphology and pedology. An integration of Pedology and Geomorphology.* Ed. Melbourne : Chapman & Hall. (Inglaterra). 269p.
16. GUTIERREZ, M. 2013. *Geomorphology.* CRC PRESS. Taylor y Francis Group. Boca Raton, London and New York. (Estados Unidos). 1001p.

17. HUGGET, R. 2003. *Fundamentals of Geomorphology*. CRC PRESS. Taylor y Francis Group. Boca Raton, London and New York. (Estados Unidos). 458p.
18. IBÁÑEZ, J.; PÉREZ, R. 2015. Diversity of Soil-Landscape Relationships: State of the Art and Future Challenges. En: Zinck, J.A.; Metternicht, G.; Bocco, G.; Del Valle, H. (eds). *Geopedology. An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies*. Springer. (Suiza). p.183-191.
19. IDEAM. 2001. *El medio ambiente en Colombia. Los suelos: estabilidad. Productividad y degradación*. (Colombia). p.228-277.
20. IDEAM, IGAC, IAVH, INVEMAR, SINCHI e IIAP. 2007. *Ecosistemas continentales, costeros y marinos*, Bogotá, D.C.: Imprenta Nacional de Colombia. + 1 CD-ROOM, 37 planchas.
21. IGAC. 1955. *Estudio de Suelos Valle del Sibundoy. Mapa de suelos (material cartográfico) / INCORA, Bogotá, D. E. un mapa escala 1:20.000*.
22. IGAC. 1964. *Estudio detallado de los suelos del Valle Aluvial de río Zulia. Norte de Santander*. (Colombia). 104p.
23. IGAC. 1968. *Estudio semidetallado de suelos para catastro municipios San Zenón y San Sebastián Magdalena / Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Sociedad Agrológica Colombiana*. (Colombia). 228p.
24. IGAC. 1981. *Pedología de la serie Tibaitatá y competidoras. Gloria de Benavides. Fraccionamiento y mineralización de nitrógeno en suelos volcánicos de la sabana de Bogotá. Esperanza Vargas de Roza*. (Colombia). 53p
25. IGAC. 1981. *Metodología para la delimitación de áreas homogéneas de tierras. Centro Interamericano de Fotointerpretación (CIAF)*. (Colombia). 61p.
26. IGAC. 1982a. *Mapa de suelos de Colombia escala 1:1.500.000. Memoria explicativa. Subdirección de agrología*. Ed. IGAC. (Colombia). 86p.
27. IGAC. 1982b. *Estudio general de suelos del municipio de Puerto Gaitán-Meta. 14 planchas Escala 1:100.000. Subdirección de agrología*. Ed. IGAC. (Colombia). 214p.
28. IGAC. 1986. *Mapa de clasificación de tierras por su capacidad de uso de la intendencia de Arauca. Bogotá, D.C. dos plancha cartográficas escala 1:250.000*.
29. IGAC. 1989. *Estudio detallado y semidetallado de suelos de los valles de los ríos Zulia y Pamplonita, Norte de Santander. 12 planchas Escala 1:25.000. Subdirección de agrología*. Ed. IGAC. (Colombia). 216p.
30. IGAC. 1995. *Conceptos básicos comunes a la pedología y geomorfología. Curso Intensivo de Geomorfología. Leonidas Mejía. Centro de Investigaciones en Percepción Remota (CIAF)*. (Colombia). 188p.
31. IGAC. 2007. *Definición de Usos Alternativos y Sostenibles Para la Ocupación de las Tierras a Nivel Nacional. Subdirección de agrología*. Ed. IGAC. (Colombia). 183 p.32-42 y 86-91.
32. IGAC. 2013. *Unidades geopedológicas del territorio colombiano. Subdirección de agrología*. Ed. IGAC. (Colombia). 74p.
33. IGAC. 2015. *Mapa digital de suelos de Colombia, escala 1:100.000. formato shapefile, versión en proceso de revisión*. (Colombia).
34. IGAC. 2016. *Suelos y Tierras de Colombia. Subdirección de Agrología. Bogotá, D.C. Tomo 1. 545 p. Tomo 2. 854 p.*
35. INGEOMINAS. 1976. *Mapa Geológico de Colombia. Escala 1:1´500.000. Disponible desde Internet en: <http://www2.sgc.gov.co/Geologia/Mapas-historicos.aspx> (con acceso 2/02/2016)*.
36. INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR –IGM-. 1957. *Estudio general de suelos del altiplano de Tunja - Sogamoso*. (Colombia). 215p.
37. MALAGÓN, D. 1966. *Apuntes pedológicos sobre un perfil de la serie Tibaitatá. Corporación Autónoma Regional de la Sabana de Bogotá y de los Valles de Ubaté y Chiquinquirá*. (Colombia).
38. MALAGÓN, D. 1968. *Algunos aspectos químicos y físicos de suelos en tres series se La Sabana de Bogotá. Corporación Autónoma Regional de la Sabana de Bogotá y de los Valles de Ubaté y Chiquinquirá*. (Colombia).
39. MALAGÓN, D. 1969. *Fraccionamiento del humus en las series más importantes de la Sabana de Bogotá y del*

- Valle de Ubaté y Chiquinquirá. *Agricultura Tropical*. 15 (12).
40. MALAGÓN C., D. 1975. Mineralogía de suelos, sus relaciones con la génesis, fertilidad y clasificación de suelos. Subdirección Agrológica. Bogotá: IGAC. 689p.
  41. MINAMBIENTE, IDEAM, INSTITUTO HUMBOLDT, INSTITUTO AMAZONICO SINCHI, INVEMAR, IAP, PARQUES NACIONALES E IGAC. 2015. Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos. (Colombia).
  42. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. 2013. Política para la gestión integral ambiental del suelo (GIAS). (Colombia). 138p.
  43. MONTENEGRO, H.; MALAGÓN, D. 1990. Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección Agrológica. (Colombia). 813p.
  44. PELTIER, L. 1950. The geographic cycle in periglacial regions as it is related to climatic geomorphology. *Ann. Assoc. Am. Geographers*. (Estados Unidos). 40(3):214-236.
  45. RAFFAELLI, D. 2010. *Ecosystem Ecology: A New Synthesis*. Cambridge University press. Cambridge; New York, Cambridge. University Press. (Estados Unidos). 172p.
  46. RICO, A. 1931. Estudio agrológico del sistema nacional de riego número 6 San Carlos, Coahuila. Sec. Recur. Hidr. Depto. Agrol. (Méjico). Un mapa.
  47. SARMIENTO, G. 1982. *Los ecosistemas y la ecosfera*. Editorial Blume, S.A. (España). 268p.
  48. STODDART, D.R. 1968. Climatic geomorphology: Review and reassessment. *Progress in Geography - Vol. I*. (Londres). p.160-222.
  49. TEIXEIRA, A.; BAPTISTA, S. 2000. *Geomorfologia y Meio Ambiente*. Ed. BCD. UNIAO DE EDITORES. S.A. (Brasil). 379p.
  50. TOOMANIAN, N. 2013. Pedodiversity and Landforms. En: Ibáñez, J, and Bockehim, J. (eds). Ed. CRC Press Tylor and Francis Group. (Estados Unidos). p.133-152.
  51. TRICART, J. 1977. *Ecodinámica*. Ed. Supren. (Brasil). 97p.
  52. USDA. 1992. Soil Survey Staff. *Keys to Soil Taxonomy*. United States Department of Agriculture. Soil Conservation Service, Fifth Edition. SMSS Technical monograph. (19):139-176. Disponible desde Internet en: [http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_052453.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_052453.pdf) (con acceso 17/05/2016).
  53. VOLOBUEV, V. 1964. *Ecology of Soils*. Editorial: Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem. (Israel). 260p.
  54. WHITE, R. 2006. *Principles and practice of soil science*. Blackwell publishing. Fourth edition. (Australia). 363p.
  55. WILD, A. 1993. *Soils and environment. An introduction*. Ed. Cambridge University press. (Cambridge-Inglaterra). 289p.
  56. ZAPATA, R. 2006. *Química de los procesos pedogenéticos*. Facultad de ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. (Colombia). 358p.
  57. ZINCK, J.A. 1970. *Aplicación de la geomorfología al levantamiento de suelos en zonas aluviales*. Barcelona, Venezuela: Ministerio de Obras Públicas. Ed. MOP. (Venezuela). 79p.
  58. ZINCK, J.A. 1974. *Definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos*. Cagua, Venezuela: Ministerio de Obras Públicas (MOP). Ed. MOP. (Venezuela). 114p.
  59. ZINCK, J.A. 1977. *Ensayo sistémico de organización del levantamiento de suelos*. Maracay, Venezuela: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Ed. MARNR. (Venezuela). 189p.
  60. ZINCK, J.A. 1980. *Valles de Venezuela. El hombre y su ambiente*. Petróleos de Caracas-Venezuela SA. Ed. Cuadernos Lagoven. (Venezuela). 150p.
  61. ZINCK, J.A. 1987. *Aplicación de la geomorfología de levantamientos de suelos en zonas aluviales y definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos*. Subdirección de Agrológica. Ed. IGAC. (Colombia). 178p.
  62. ZINCK, J.A. 1988. *Physiography and soils*. Ed. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences - ITC. (Enschede, The Netherlands). 156p.

63. ZINCK, J.A. 2013. Geopedology: Elements of geomorphology for soil and geohazard studies. Ed. ITC-Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation. (Enschede, The Netherlands). 127p.      Recibido: Abril 20 de 2016  
Aceptado: Diciembre 16 de 2016
64. ZINCK, J.A.; METTERNICHT, G.; BOCCO, G.; DEL VALLE, H.F. 2016. Geopedology An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies. Ed. Springer International Publishing. (Suiza). 548p.

Cómo citar:

Castro Méndez, C.E.; Agualimpia Dualiby, Y. del C. 2017. Implementación del mapa de geopedología como base para la delimitación de unidades de ecosistemas a nivel nacional en Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 201(1): 175-185.



# MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN UNA COMUNIDAD INDÍGENA DEL NORTE DE COLOMBIA

## MEASURES OF ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE IN AN INDIGENOUS COMMUNITY IN NORTHERN COLOMBIA

Andrés Galindo Montero<sup>1</sup>, Jhonny Pérez Montiel<sup>2</sup>, Roberto Rojano Alvarado<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doctor en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Grupo GISA. Universidad de La Guajira, Km 5 vía a Maicao, Riohacha - La Guajira, Colombia, e-mail: agalindo@uniguajira.edu.co; <sup>2</sup> Doctor en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Grupo GISA. Universidad de La Guajira, Km 5 vía a Maicao, Riohacha - La Guajira, Colombia, e-mail: jpemon@uniguajira.edu.co; <sup>3</sup> M.Sc. en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Grupo GISA. Universidad de La Guajira, Km 5 vía a Maicao, Riohacha - La Guajira, Colombia, e-mail: rrojano@uniguajira.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 187-197, Enero- Junio, 2017

### RESUMEN

La alta escasez hídrica que afecta las poblaciones indígenas del departamento de La Guajira, al norte de Colombia, las hace vulnerables al cambio climático y amenaza su subsistencia. En esta investigación, se implementó un modelo de adaptación al cambio climático en una comunidad indígena, integrada por 23 familias y 120 niños, de una institución educativa. Se desarrolló la metodología de Adaptación basada en Comunidades (AbC) y la evaluación rural participativa en factores claves, como hábitos higiénicos, uso y aprovechamiento del agua y subsistencia alimentaria, donde se evaluó una parcela demostrativa, con distintos sistemas de riego. Se evaluó la calidad del agua en los sistemas de suministro y de distribución, mediante el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA). Se instaló un sistema fotovoltaico híbrido de bombeo solar y molino de viento. Los resultados mostraron que un 88% de la comunidad consume menos de 50 L/persona\*día, cantidad menor a la recomendada por la OMS (50 a 100 L/persona\*día), para satisfacer las necesidades vitales. El IRCA registró valores de 0,0, excepto en una muestra tomada en el sitio de acopio, con valor de 7,21, debido a la presencia de coliformes totales. El sistema de riego por goteo solar fue más eficiente, permitiendo el ahorro de agua y el sistema fotovoltaico fue viable para el abastecimiento del recurso hídrico. La comunidad, se apropió de la tecnología, conscientes de la incidencia del cambio climático y la necesidad de adoptar medidas para su mitigación y adaptación.

Palabras clave: Cambio climático, comunidad indígena, calidad de agua, sistema fotovoltaico.

### SUMMARY

The high water scarcity affecting the indigenous populations of the department of La Guajira, in northern Colombia, makes them vulnerable to climate change and threatens their livelihoods. Through this research, a climate change adaptation model was implemented in an indigenous community composed of 23 families and 120 children from an educational institution. The methodology of community-based adaptation (AbC) and participatory rural assessment were developed on key factors such as hygienic habits, water use and exploitation, and food subsistence, where a demonstration plot was evaluated with different irrigation systems. Water quality was evaluated in the supply and distribution systems through the Risk Index of Water for Human Consumption (IRCA). A solar photovoltaic system was installed for solar pumping and windmill. The results showed that 88% of the community consumes less than 50 L/person\*day, a lower amount than that recommended by the WHO (50 to 100 L/person\*day), to meet the vital needs. The IRCA recorded values of 0.0, except in a sample taken at the collection site with a value of 7.21 due to the presence of total coliforms. The solar-powered drip irrigation system was more efficient allowing water saving and the photovoltaic system was viable for the water supply. The community appropriated this technology aware of the impact of climate change and the need to take action for its mitigation and adaptation.

Key words: Climate change, indigenous community, water quality, photovoltaic system.

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático (CC) es un fenómeno, en el cual, se altera el estado medio del clima o su variabilidad natural, durante un periodo prolongado de tiempo y sus efectos potenciales impactan, principalmente, los sectores social, económico, ambiental y de la salud (Camare & Lane, 2015; IPCC, 2014; Verner, 2010). A nivel mundial, los impactos del CC afectan grandes territorios, viéndose afectadas, básicamente, las zonas rurales y sus habitantes (Feldt, 2011; Ulloa *et al.* 2008), al igual que las regiones de latitudes bajas, en particular, las zonas costeras (Petzold & Beate, 2015).

En la actualidad, se observa con mucha preocupación el impacto de la variabilidad climática sobre los recursos hídricos y los ecosistemas de agua dulce (Zhao *et al.* 2016; Melkonyan, 2015). El CC genera innumerables consecuencias, que van desde inundaciones localizadas, aumento de la temperatura y deterioro de la calidad del aire y agua (Sarzynski, 2015). En América Latina y el Caribe, se experimentan efectos negativos que pueden ser atribuidos a la variabilidad del clima, que incide sobre las clases sociales menos favorecidas y vulnerables, en particular, los pueblos indígenas, que constituyen, aproximadamente, el 6,5% de la población latinoamericana (Solís & Salvatierra, 2013; Kronik & Verner, 2010; Hall & Patrinos, 2010).

En Colombia, la mayor parte de la población reside en las zonas urbanas (76,3%). La población presenta gran diversidad étnica: el 3,4% pertenece a 87 etnias indígenas que, para el Departamento de La Guajira, fue estimada en 417.965 habitantes, que corresponde al 44,94% de la población, de los cuales, aproximadamente 190.000, viven en zona rural (Gobernación de La Guajira, 2016). La etnia Wayuu constituye el 90% de la población indígena, ubicada en las subregiones de la Media y Alta Guajira, donde la precipitación anual no supera los 500mm/año, la evapotranspiración es muy alta, superando los 1500 mm/año y se registran bajas condiciones de humedad. Todas estas variables, se conjugan para generar escasez hídrica, principal problemática que padecen las comunidades indígenas residentes en estos territorios (CORPOGUAJIRA, 2009).

Ante la situación anterior, se vienen sumando esfuerzos desde hace varias décadas para hacer frente a la vulnerabilidad del clima en La Guajira, pero se ha mantenido la tradición ancestral de abastecimiento de agua en casimbas y jagüeyes, mediante la construcción de obras y el desarrollo de programas de suministro de agua con albercas, con molinos de viento, con suministro de agua con carros cisterna; sin embargo, la problemática de desabastecimiento persiste, debido a la ubicación dispersa de la población Wayuu y la falta de enfoques sostenibles, que garanticen que la infra-

estructura construida se mantenga en el tiempo, con participación de las comunidades beneficiarias (MAVDT, 2010).

Investigaciones recientes han evaluado los efectos del CC en comunidades indígenas, cuya subsistencia depende directamente del uso de los recursos naturales que escasean por los cambios ya ocurridos o previsibles (Feldt, 2011). Los resultados de estos estudios han involucrado estrategias de adaptabilidad, las cuales, se enfocan en la implementación de acciones de orden técnico, para optimizar el aprovechamiento del recurso hídrico (Echeverri, 2009; Kronik & Verner, 2010; Pérez *et al.* 2010; Forero *et al.* 2014).

La comunidad beneficiada tiene por nombre Etkojo, ubicada en el departamento de La Guajira y pertenece al corregimiento La Gloria, del Municipio de Manaure, al norte de Colombia, integrada por 23 familias Wayuu y una institución educativa, que alberga a 120 niños. La investigación tuvo como objetivo implementar un modelo alternativo, como medida de adaptación al CC, para mitigar la sequía, garantizando la continuidad y la calidad del recurso hídrico, capacitaciones para mejorar los hábitos higiénicos, un mejor uso y aprovechamiento del agua y el establecimiento de cultivos como medida de adaptación de la agricultura frente a la variabilidad climática, por el manejo eficiente del agua.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La comunidad indígena Etkojo está ubicada a 16 km del Distrito de Riohacha y pertenece al corregimiento La Gloria, del Municipio de Manaure, al norte de Colombia. La metodología desarrollada en esta investigación, se denomina: Adaptación basada en Comunidades AbC (MADS, 2013). La AbC es una estrategia de adaptación en que las comunidades son las protagonistas definitorias en los procesos para disminuir su vulnerabilidad y aumentar su capacidad adaptativa frente a los impactos reales o esperados del cambio climático. La metodología consiste en la capacitación en temas de cambio climático y la sensibilización sobre su importancia, la identificación y el diseño de medidas de adaptación, como se muestra en la figura 1.

Como lo plantea la guía AbC, muchos de los resultados de los talleres desarrollados en el marco de este estudio fueron relacionados con temáticas que no son efectos directos del cambio climático, sino asuntos del desarrollo en general; sin embargo, es imposible lograr una adaptación eficaz y sostenible sin tomar en cuenta estos factores y es parte del trabajo con las comunidades apoyar todos los temas identificados (MADS, 2013), por lo tanto, se incluyeron. El análisis situacional y medidas de adaptación al CC, se realizó en fases:

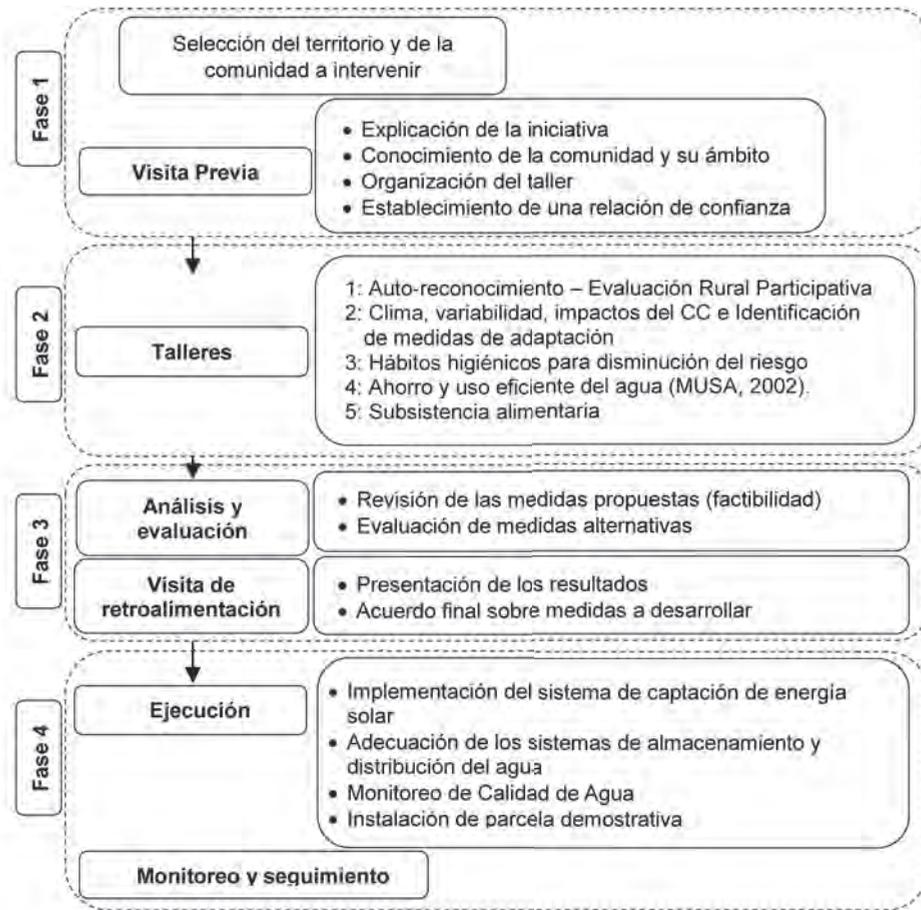


Figura 1. Diagrama metodológico, adaptado de MADS (2013).

**Fase 1 –Diagnóstico preliminar-**: Se realizaron citaciones y visitas a los miembros de la comunidad, a la autoridad tradicional y al líder comunitario de la etnia, para llevar a cabo un proceso de consulta y de solicitud de permisos, para la valoración del estado de la comunidad, frente a los impactos del CC en la zona.

**Fase 2 –Caracterización socioambiental-**: Este estudio, se basó en la metodología de Evaluación rural participativa (ERP), que comprende las actividades de caracterización, de planificación, de recolección de información y de evaluación diagnóstica (Chambers, 1994; Aubel, 2000). Mediante esta metodología, se logró observar, indagar y analizar las diferentes dinámicas sociales, culturales y económicas de los habitantes de la comunidad, en relación a CC, hábitos higiénicos, ahorro y uso eficiente del agua y subsistencia alimentaria, mediante técnicas e instrumentos de recolección de información.

**En la Fase 3:** Se instaló el sistema de captación de energía solar, que consistió en la adaptación de un sistema híbrido,

integrado por un molino de viento ya existente y la incorporación de un sistema de bombeo fotovoltaico; para la instalación de la bomba, se realizó un video sondeo, con un equipo de grabación sumergible, para verificar las condiciones físicas de las tuberías del pozo subterráneo y establecer la ubicación de la bomba.

**La Fase 4:** Consistió en la adecuación de los sistemas de almacenamiento y de distribución de agua, se realizaron cuatro muestreos de calidad del agua en diferentes puntos del sistema: salida del pozo, depósito de almacenamiento y una vivienda receptora del recurso. Los muestreos, se ejecutaron antes y después de las obras de adecuación, determinando los parámetros fisicoquímicos: Temperatura, pH, oxígeno disuelto, salinidad, conductividad, saturación de oxígeno disuelto, dureza total, turbiedad, color aparente, alcalinidad total, sólidos disueltos totales, nitrógeno amoniacal, ortofosfatos, sulfatos, cloruros, nitritos, nitratos, hierro, zinc, manganeso, calcio, coliformes fecales y coliformes totales, utilizando la metodología establecida en el Método estándar para el análisis de agua y líquidos residuales (APHA *et al.*

2005). Los resultados, se compararon con la norma colombiana vigente en calidad del agua para consumo humano (MPS y MAVDT, 2007) y se realizó un análisis mediante el Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA).

Las medidas alternativas, se instalaron en el Centro Etnoeducativo La Gloria, el sistema de captación de energía solar y una parcela demostrativa de 18m de ancho por 11m de largo (198m<sup>2</sup>), donde se evaluaron diferentes técnicas de riego: riego por goteo, usando manguera perforadas de 3mm de diámetro, riego por olla porosa o de barro, regadera manual

y riego por goteo solar, conocido como Kondenskompressor (Figura 2), se consideraron factores como adaptación de los cultivos, demanda y control de agua (FAO, 2008). La selección del tipo de cultivo, se efectuó de acuerdo a la capacidad de adaptación a las condiciones ambientales del lugar: clima, tipo de suelo, tipos de riego, disponibilidad de agua, nutrientes y prácticas de cultivo artesanales, que se han desarrollado en la zona, seleccionando el tomate (*Lycopersicon esculentum*), el ají pimentón (*Capsicum annuum*), el frijol tinto (*Phaseolus vulgaris*) y el cilantro (*Coriandrum sativum*).



Figura 2. Evaluación de los sistemas de riego.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Evaluación rural participativa:** La comunidad indígena Etkojo>ole fue fundada en 1971 y, actualmente, está habitada por 111 indígenas de la etnia Wayuu. En la comunidad queda ubicado el Centro Etnoeducativo La Gloria, lugar donde se concentra la mayor parte de la población infantil, perteneciente a las comunidades Etkojo>ole, Karraisira y Paranachimana, estas dos últimas aledañas a la zona de estudio, con una población de 120 niños. Los aspectos determinados mediante la ERP, se presentan la tabla 1.

La comunidad Etkojo>ole hace parte del grupo de las llamadas rancherías, pertenecientes a la zona rural dispersa del municipio de Manaure, que cuenta con 7.743 puntos poblados en dicha zona, con un promedio poblacional de más de 100 habitantes (Gobernación de La Guajira, 2016). El número promedio de personas por hogar en Manaure es de 7 y la comunidad pertenece al 49% hogares que tiene 4 o menos personas, según las cifras presentadas por el DANE (2005).

Tabla 1. Resultados de la Evaluación Rural Participativa.

ASPECTO		EVALUACIÓN				
Población	Niños	0-12 años		28%		
	Jóvenes	13-17 años		25%		
	Mujeres	18-50 años		22%		
	Hombres	18-50 años		19%		
	Adultos Mayores	>50 años		6%		
	# Integrantes grupo Familiar Promedio			4 Personas		
Servicios Públicos	Agua Acueducto y Alcantarillado Gas Energía Recolección de Residuos Sólidos	Sistema de extracción de Agua Subterránea Micro acueducto - Pozos sépticos No – Uso de leña Si No –Quema a Cielo Abierto				
Hábitos higiénicos		<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>ALGUNAS VECES</b>		
	Lavado de manos antes de comer	12%	70%	18%		
	Lavado de manos después del baño	29%	65%	6%		
	Lavado de alimentos antes de consumo	24%	0%	76%		
	Hervido de agua	0%	100%	0%		
	Tapado de tanques de almacenamiento de Agua	0%	100%	0%		
	Almacenamiento de agua para consumo	Tanque Plástico 88%	Recipiente de Aluminio 6%	Otros Recipientes Plásticos 6%		
		<b>1/SEMANA</b>	<b>1/MES</b>	<b>NO SE LAVA</b>		
	Frecuencia de lavado de recipientes	18%	6%	76%		
	Frecuencia de lavado de baños	0%	0%	100%		
	Frecuencia de Aseo hogar	100%	0%	0%		
Frecuencia de lavado del depósito de almacenamiento colectivo	1/MES 12%	1/AÑO 53%	2/AÑO 35%			
Usos del Agua	Control del Agua	Autoridades 70%	No Sabe 18%	Nadie 12%		
	Usos de Agua	Doméstico	Abrevadero de Animales	Riego		
	Consumo de Agua/Persona	5-15L día 6%	20-30L/día 35%	35-50L/día 47%	>50L /día 12%	
Cambio Climático	Percepción	Incremento de Temperatura	Cambios en Periodo de lluvias	Disminución de la Precipitación	Disminución Humedad de Suelo	Perdida de paisaje
/ : Vez o Veces Por						

Dado que el agua se puede contaminar en la fuente de suministro por el ingreso de contaminantes durante la distribución del agua y dentro de la vivienda, por el uso de recipientes mal protegidos o por la manipulación insalubre del agua (RIPDA, 2003), la evaluación detectó uso inadecuado del agua, por parte de la comunidad. Además, el 88% de la población de la comunidad consume entre 5 y 50L/persona\*día, lo cual, está por debajo del rango recomendado por la OMS *et al.* (2010), para satisfacer las necesidades vitales de higiene personal, fijado entre 50 y 100L/persona\*día.

Los procesos de participación social permitieron que la comunidad, como cultura tradicional, describiera sus propias percepciones e interpretaciones sobre los cambios ambientales y climáticos de la región, hechos que se han reflejado principalmente en la disminución o ausencia del recurso hídrico, disponible para actividades domésticas, cultivos y pastoreo de ganado caprino, incrementos de la temperatura, cambios de los periodos de lluvia y sequía, por la disminución de la precipitación, reduciendo la periodicidad de las prácticas agrícolas. La pérdida de paisaje y la migración de especies biológicas, para la caza y alimentación; en térmi-

nos generales, van en contra de su forma de vida tradicional, generando un desequilibrio en la organización social y aumentando los niveles de pobreza.

**Sistema fotovoltaico y bomba solar de succión:** La instalación del sistema fotovoltaico para la extracción del agua del pozo procedió con el montaje de 9 paneles, con 60 celdas fotovoltaicas cada uno, que generan 240 vatios de energía, para un total de 2.160 vatios/hora pico, controlados por un regulador, que gradúa la potencia de los paneles a la bomba sumergible. El video sondeo realizado en el pozo permitió ubicar la bomba, a una profundidad de 22m, lugar donde el contenido de sólidos fue más bajo. La bomba y la tubería del molino fueron conectadas a la tubería, que conduce el agua al tanque elevado, a través de una manguera de una 1" de diámetro; la tecnología fotovoltaica solo trabajó cuando el molino no fue suficiente para el abastecimiento o no fue posible su funcionamiento. En esta investigación, se activó el funcionamiento de un tanque elevado, que recibía el agua de pozo y alimentaba la alberca a nivel del suelo. El sistema instalado generó un caudal de 0,71L/s. La figura 3 muestra el sistema fotovoltaico.



Figura 3. Instalación del sistema fotovoltaico en la comunidad Indígena Etkojo >ole.

**Monitoreo de calidad de agua:** Los datos promedio de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos medidos en los puntos seleccionados de la comunidad, se presentan en la tabla 2. Los valores obtenidos para cada parámetro en la totalidad de las muestras están dentro de los límites máximos permisibles, establecidos en la resolución 2115

de 2007 (MPS & MAVDT, 2007). Se encontraron diferencias significativas en algunas variables fisicoquímicas respecto al punto de muestreo, que fueron: oxígeno disuelto ( $p=0,015$ ), dureza total ( $p=0,012$ ), sólidos disueltos totales ( $p=0,033$ ), turbiedad ( $p=0,025$ ) y cloruro ( $p=0,025$ ). Las variaciones de oxígeno disuelto fueron menores en el pozo, registrando, en

promedio, concentraciones de  $3,27 \pm 0,22$ mg/L, aumentando a través del recorrido, lo que indica, que el agua sufría modificaciones en su calidad, a través de su recorrido, desde la captación hasta las viviendas

Los niveles de dureza no presentan sabores indeseables ni requieren tratamientos adicionales para remover excesos de dureza. Los SDT resultaron dentro de los rangos normales en la totalidad de los muestreos; la Agencia de Protección Ambiental (USEPA) sugiere un máximo de 500mg/L en agua potable y su variabilidad podría estar influenciada por la dureza (RIPDA, 2003).

Tabla 2. Resultados de las variables fisicoquímicas y microbiológicas, medidas en tres estaciones de la comunidad indígena Wayuu de Etkojo, durante el periodo de muestreo.

PARÁMETROS	UNIDAD	n	PUNTOS DE MONITOREO*			MÁXIMO PERMISIBLE
			P	A	C	Res 2115/2007
TEMPERATURA	°C	4	28,7±0,5	30,18±1,10	27,63±0,1	N.R
pH	Ad	4	7,83±0,11	8,23±0,17	8,23±0,29	6,5 – 9
OXÍGENO DISUELTTO	mg/L	4	3,27±0,22	6,09±0,64	6,89±0,49	N.R
SALINIDAD	‰	4	0,10±0	0,10±0	0,10±0	N.R
CONDUCTIVIDAD	µs/cm	4	734,5±14,3	763,25±29,2	749,75±16,8	1000µs/cm
SATURACION DE OD	%	4	46,83±3,07	77,18±3,19	81,23±3,60	N.R
DUREZA TOTAL	mg/L CaCO <sub>3</sub>	4	169±10,16	185,5±13,71	124,4±17,45	300mg/L
TURBIEDAD	UNT	4	0,77±0,15	1,37±0,44	1,01±0,17	2 UNT
COLOR APARENTE	UPC	4	5±0	7,5±5	5±0	15 UPC
ALCALINIDAD TOTAL	mg/L	4	164,4±32,3	143,67±5,91	174,35±8,85	200mg/L
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	4	53,75±2,9	76,5±14,64	61,25±7,41	N.R
AMONIO	mg/L	4	0,05±0	0,07±0	0,06±0,02	N.R
FOSFATO	mg/L	4	0,13±0	0,14±0	0,15±0,06	0,5mg/L
SULFATO	mg/L	4	210,9±10,5	199,2±29,42	212,8±15,10	250mg/L
CLORURO	mg/L	4	92,78±2,0	49,57±2,67	53,33±9,71	250mg/L
NITRITO	mg/L	4	0	0	0,04±0,01	0,1mg/L
NITRATO	mg/L	4	2,94±0,55	2,60±0,42	2,77±0,57	10mg/L
HIERRO	mg/L	4	0,16±0	0,22±0	0,17±0,04	0,3mg/L
ZINC	mg/L	4	1,05±0,25	0,99±0,25	0,99±0,25	3mg/L
MANGANESO	mg/L	4	0	0	0,04±0,02	0,1mg/L
CALCIO	mg/L	4	40±4,1	33,75±4,79	42,50±2,89	60mg/L
COLIFORMES FECALES	UFC	4	0	0	0	N.R
COLIFORMES TOTALES	UFC	4	0	7,50±15	0	0 UFC
IRCA	-----	-	0	7,21±14,42	0	-----

n: Numero de Muestras \*Puntos de Monitoreo; P: Pozo; A: Alberca-Depósito de Almacenamiento; C: Casa. N.R. No existen rangos en la de referencia.

El análisis de calidad del agua de consumo, mediante el IRCA, calificó el nivel de riesgo, con un valor de cero (0), excepto en el depósito de almacenamiento colectivo durante el primer monitoreo, con un valor de 7,21, que significa nivel de riesgo bajo, originado por la presencia de coliformes totales, debido a los días transcurridos desde la última limpieza y, muchas veces, falta cuidado para mantener el depósito cerrado; sin embargo, no se encontraron coliformes fecales.

La calidad del agua no se vio afectada, desde el punto de vista fisicoquímico, por contaminación biológica con coliformes fecales (excepto lo antes mencionado), se puede afirmar que el agua es aceptada para consumo. Los niveles de turbidez fueron muy bajos (menores a 2 UNT), lo cual, es favorable para la calidad del agua, debido a que los altos niveles de turbiedad pueden estar asociados con presencia de microorganismos (APHA *et al.* 2005). INESAG (2013) registró para la comunidad Etkojo>ole concentraciones promedio de 447,4 UFC/100mL, de coliformes totales, determinadas en el depósito de almacenamiento colectivo, condicionadas por el periodo de lluvia durante los muestreos; la disposición de excretas, próximos a la fuente de agua y malos hábitos de higiene, en contraposición a los datos registrados, los cuales, fueron escasos, debido a las condiciones de sequía durante el periodo de muestreo y las mejoras en hábitos de higiene.

#### **Formación de la comunidad en los campos de acción:**

Se registró una asistencia promedio de 17 mujeres, 9 hombres y 4 adultos mayores, pertenecientes a las 22 familias de la comunidad indígena y 120 niños integrantes del Centro Etnoeducativo, para un total de 150 personas, capacitadas en las temáticas antes descritas. La participación, la apropiación y la interacción de la comunidad, propició los compromisos en manejo y control de hábitos higiénicos, ahorro y uso eficiente del agua, subsistencia alimentaria e inspección y mantenimiento del sistema fotovoltaico. Un adecuado aprovechamiento del agua, así como la incorporación o mejoras de los hábitos de higiene en la comunidad, mediante las capacitaciones, han producido cambios en el rol doméstico y han ocasionado la disminución de los contaminantes biológicos del agua. Toda esta panorámica refleja que el conocimiento, es decir, la forma como los seres humanos perciben, entienden y organizan sus respuestas al entorno, está condicionado por la cultura (Rodríguez, 2008).

**Subsistencia alimentaria:** Se reportaron diferentes resultados por cada método de riego empleado, teniendo en cuenta las condiciones de las plantas respecto a su crecimiento y desarrollo, lo cual, depende de la eficiencia de conducción y de distribución del agua en la parcela demostrativa, como se presenta en la tabla 3. Los resultados indicaron que la técni-

ca de riego viable, para ser utilizada en esta zona, es el riego por goteo solar Kondenskompressor; el sistema fue efectivo en lo que respecta al control y a la demanda del agua. Con este sistema, los cultivos obtuvieron productividad promedio del 60% del total sembrado.

Los métodos de riego operaron bajo el uso del sistema fotovoltaico para la extracción del agua del pozo y el riego por goteo solar representó una alternativa para el ahorro de agua, siendo eficiente para enfrentar, adaptarse y mitigar los efectos del cambio climático. Para los objetivos de mitigación y adaptación, los sistemas de goteo artesanales generan mejores resultados (Zou *et al.* 2013).

El uso de herramientas participativas permite involucrar a las comunidades en la toma de decisiones, generando procesos organizacionales y de control, con conocimientos proporcionados, para llevar a cabo las actividades acordes a su entorno. El sistema fotovoltaico y la adecuación de los sistemas de distribución y de almacenamiento de agua, garantizaron la disponibilidad del recurso, como una medida de adaptación al cambio climático, lo cual, sirvió de incentivo para que la comunidad se apropiara rápidamente de la tecnología.

Los valores promedio de los parámetros medidos para la determinación de la calidad de agua para consumo humano, se encuentran dentro del rango permisible para los estándares nacionales e internacionales; sin embargo, el riesgo inminente de contaminación está latente si no se consideran o conservan los hábitos de higiene y de manipulación del recurso.

Los métodos de riego revelaron la rentabilidad del ahorro de agua para enfrentar, adaptarse y mitigar el cambio climático y tiene beneficios para el desarrollo económico sostenible. Además, el estudio sugiere que el riego por goteo solar es el que mejor funciona en pro de alcanzar los objetivos de mitigación y adaptación, acompañado del bombeo fotovoltaico, como un elemento vital para mejorar la producción rural y la seguridad alimentaria.

**Agradecimientos:** Al centro de investigaciones y el Instituto de aprovechamiento de Agua de la Universidad de La Guajira. **Conflictos de interés:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de interés que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Este estudio fue financiado por Colciencias, a través del proyecto ideas para el cambio-soluciones en agua y pobreza.

Tabla 3. Evaluación de los sistemas de Riego para los cultivos implementados en la parcela demostrativa.

Tipos de cultivo	Tiempo de evaluación Días	Criterios de Evaluación	Sistema de Riego			
			Regadera manual	Riego por olla porosa	Riego por goteo con manguera	Riego por goteo solar Kondenskompressor
<i>Lycopersicon esculentum</i> Nombre Común: Tomate	60	AC	E	E	E	E
		DA	10%	25%	90%	90%
		COA	A	B	M	B
		CA	E	E	E	E
		CP	9%	22%	31%	44%
<i>Capsicum annum</i> Nombre Común: Pimentón	60	AC	E	E	E	E
		DA	10%	25%	90%	90%
		COA	A	B	M	B
		CA	E	E	E	E
		CP	15%	34%	39%	52%
<i>Phaseolus vulgaris</i> Nombre Común: Frijol Tinto o cabecita negra	90	AC	ME	ME	ME	ME
		DA	10%	25%	90%	95%
		COA	A	B	M	B
		CA	E	E	E	E
		CP	20%	52%	51%	80%
<i>Coriandrum sativum</i> Nombre Común: Cilantro	60	AC	E	E	E	E
		DA	10%	25%	90%	90%
		COA	A	B	M	B
		CA	E	E	E	E
		CP	10%	45%	50%	64%

AC: Adaptación a los cultivos, DA: Demanda de agua, COA: Consumo de agua, CA: Control de agua, CP: Crecimiento de la planta, Valoración ME: Muy Eficiente, E: Eficiente, D: Deficiente, Consumo de agua, A: Alto, M: Medio, B: Bajo, Rango de Eficiencia, Riego Tradicional 10 – 30% Riego por Goteo 90-95% (FAO, 2008).

## BIBLIOGRAFÍA

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (USA). 21<sup>st</sup> edition. 1368p.
- ACIBEL, J. 2000. Manual de evaluación participativa del programa. Catholic Relief Services-Child Survival Technical Support-USAID. (USA). 104p.
- CAMARE, H.; LANE, D. 2015. Adaptation analysis for environmental change in coastal communities, Socio-Economic Planning Sciences. (United Kingdom). 51:34-45.
- CHAMBERS, R. 1994. The origins and practice of Participatory Rural Appraisal, World Development. (United Kingdom). 22(7):953-969.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LA GUAJIRA –CORPOGUAJIRA-. 2009. Plan de Gestión Ambiental Regional PGAR 2009-2019. Riohacha. (Colombia). 226p.
- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA –DANE-. 2005. Censo General 2005 Nivel Nacional. Disponible desde Internet en: [www.dane.gov.co/files/libroCenso2005nacional.pdf](http://www.dane.gov.co/files/libroCenso2005nacional.pdf) (con acceso el 03/03/2015).

7. ECHEVERRI, J. 2009. Pueblos indígenas y cambio climático: el caso de la Amazonía colombiana. Bol. Inst. Francés Estudios Andinos. (Francia). 38(1):13-28.
8. FAO. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LAS ALIMENTACIÓN. OFICINA REGIONAL PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. 2008. El desarrollo del microriego en América Central. Oportunidades, Limitaciones y Desafíos. (Chile). 88p.
9. FELDT, H. 2011. Pueblos indígenas y cambio climático. Relación entre cambio climático y pueblos indígenas y sus posiciones en el contexto de las negociaciones en la Convención Marco sobre el Cambio Climático. Programa "Fortalecimiento de Organizaciones Indígenas en América Latina, PROINDIGENA". Ed. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. (Chile) 18p.
10. FORERO, E.; HERNÁNDEZ, Y.; ZAFRA, C. 2014. Percepción latinoamericana de cambio climático: Metodologías, herramientas y estrategias de adaptación en comunidades locales. Una revisión. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia). 17(1):73-85.
11. GOBERNACIÓN DE LA GUAJIRA. 2016. Plan de desarrollo del Departamento de La Guajira 2016 - 2019 Oportunidad para Todos y Propósito de País. Disponible desde Internet en: <http://www.laguajira.gov.co> (con acceso el 05/01/2016).
12. HALL, G.; PATRINOS, H. 2010. Indigenous Peoples, Poverty and Development. Ed. World Bank. (USA). 339p.
13. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE –IPCC-. 2014. Climate Change. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ed. Cambridge University Press. (USA). 1150p.
14. INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y APROVECHAMIENTO DE AGUA –INESAG-. 2013. Evaluación de la calidad del agua para consumo humano y doméstico en la zona rural del municipio de Manaure, La Guajira. (Colombia). 180p.
15. KRONIK, J.; VERNER, D. 2010. Indigenous Peoples and Climate Change in Latin America and the Caribbean. The International Bank for Reconstruction and Development. Ed. World Bank. (USA). 121p.
16. MELKONYAN, A. 2015. Climate change impact on water resources and crop production in Armenia. Agr. Water Managem. (Netherlands). 161:86-101.
17. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA –MADS-. 2013. Adaptación basada en Comunidades – AbC. 64p.
18. MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL –MAVDT-. 2010. Plan Departamental para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento La Guajira. República de Colombia, Viceministerio de Agua y Saneamiento. 112p.
19. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL –MPS-; MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL –MAVDT-. 2007. Resolución 2115 de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. 23p.
20. MUSA. PROYECTO PARA MODELOS URBANOS Y RURALES EN SALUD AMBIENTAL. 2002. Educación sanitaria: Marco General y Metodología para el Diagnóstico de Prácticas de Higiene Actuales Relacionados con Agua y Saneamiento. Módulo de Capacitación. (Argentina). 21p.
21. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD –OMS-; OFICINA DEL ALTO COMISIONADO DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LOS DERECHOS HUMANOS –ACNUDH-; PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS – ONU-. 2010. The Right to Water, Fact Sheet No. 35. 2010. Disponible desde Internet en: [www.ohchr.org/Documents/Publications/FactSheet35en.pdf](http://www.ohchr.org/Documents/Publications/FactSheet35en.pdf) (con acceso el 05/11/2015).
22. PÉREZ, C.; NICKLIN, C.; DANGLES, O.; VANEK, S.; HALLOY, S.; GARRETT, K.; FORBES, G. 2010. Climate change in the high Andes: Implications and adaptation strategies for small-scale farmers. Int. J. Environ. Cult. Econ. Soc. Sustain. (Australia). 6(5):71-88.
23. PETZOLD, J.; BEATE, R. 2015. Climate change adaptation under a social capital approach e an analytical framework for small islands. Ocean & Coastal Management. (Northern Ireland). 112:36-43.

24. RED IBEROAMERICANA DE POTABILIZACIÓN Y DEPURACIÓN DEL AGUA –RIPDA-. 2003. Agua potable para comunidades rurales, reúso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. (Argentina). 269p.
25. RODRÍGUEZ, L. 2008. Factores Sociales y Culturales Determinantes en Salud: La Cultura como una Fuerza para Incidir en Cambios en Políticas de Salud Sexual y Reproductiva. (Argentina). 21p.
26. SARZYNSKI, A. 2015. Public participation, civic capacity, and climate change adaptation in cities, *Urban Climate*. Disponible desde Internet en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2015.08.002> (con acceso el 01/11/2015).
27. SOLÍS, R.; SALVATIERRA, B. 2013. Percepción social del cambio climático en Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación en comunidades indígenas de Oaxaca y Chiapas. *Temas Antropológicos. Rev. Cient. Inv. Reg. (México)* 35(1):29-53.
28. ULLOA, A.; ESCOBAR, E.; DONATO, L.; ESCOBAR, P. 2008. Mujeres indígenas y cambio climático. *Perspectivas latinoamericanas*. Ed. UNAL-Fundación Natura-UNODC. (Colombia). 234p.
29. VERNER, D. 2010. Reducing Poverty, Protecting Livelihoods and Building Assets in a Changing Climate: Social Implications of Climate Change in Latin America and the Caribbean. Ed. World Bank. Washington D.C. (USA). 460p.
30. ZHAO, A.; ZHU, X.; LIU, X.; PAN, Y.; ZUO, D. 2016. Impacts of land use change and climate variability on green and blue water resources in the Weihe River Basin of northwest China. *Catena*. (Netherlands). 137:318-327.
31. ZOU, X.; LI, Y.; CREMADES, R.; GAO, Q.; WAN, Y.; QIN, X. 2013. Cost-effectiveness analysis of water-saving irrigation technologies based on climate change response: A case study of China. *Agr. WaterManagem.* (Netherlands). 129:9-20.

Recibido: Junio 8 de 2016

Aceptado: Febrero 9 de 2017

#### Cómo citar:

Galindo Montero, A.; Pérez Montiel, J.; Rojano Alvarado, R. 2017. Medidas de adaptación al cambio climático en una comunidad indígena del norte de Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(1): 187-197.



# CARACTERIZACIÓN SOCIO-ECONÓMICA Y AMBIENTAL EN PEQUEÑOS Y MEDIANOS PREDIOS GANADEROS EN LA REGIÓN DEL SUMAPAZ, COLOMBIA

## CHARACTERIZATION OF SOCIO-ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL FEATURES IN SMALL AND MEDIUM LIVESTOCK FARMERS IN THE COLOMBIAN SUMAPAZ REGION

Charles E. Bermúdez<sup>1\*</sup>, Nelson E. Arenas<sup>2</sup>, Vilma Moreno Melo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Lic. en Educación Básica con énfasis en Ciencias Sociales, cM.Sc. Geografía, Asesor, Dirección de Investigación. Universidad de Cundinamarca, Dg 18 No. 20-29, Fusagasugá-Cundinamarca, Colombia, e-mail: cebermudezg@unal.edu.co; <sup>2</sup>Lic. en Biología y Educación Ambiental, Ph.D. en Bioquímica y Biología Molecular, Docente programa de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Cundinamarca, Dg 18 No. 20-29, Fusagasugá-Cundinamarca, Colombia, e-mail: nearenass@unal.edu.co; <sup>3</sup>Zootecnista, Ph.D. en Biotecnología, Decana, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Cundinamarca, Dg 18 No. 20-29, Fusagasugá-Cundinamarca, Colombia, e-mail: vilma@mail.unicundi.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 199-208, Enero-Junio, 2017

### RESUMEN

Las comunidades ganaderas, a pequeña y mediana escala, en la provincia del Sumapaz, se encuentran en un periodo de transición hacia la tecnificación en la producción. Así, el objetivo de este estudio fue describir algunos aspectos que actúan como barreras en la tecnificación y limitan la implementación de buenas prácticas ganaderas. Se realizó un diagnóstico participativo en pequeños y medianos ganaderos del Sumapaz, mediante encuesta aleatoria, en nueve municipios de la provincia. Los resultados evidencian que existen diferentes barreras socio-económicas, que obstaculizan el acceso a tecnologías para el mejoramiento de la producción, como el bajo nivel de ingresos económicos, acceso a la educación superior y falta de registros contables y de sanidad en la producción; sin embargo, se observaron indicadores positivos, asociados al manejo ambiental de los recursos naturales, como parte de su legado cultural.

Palabras clave: Desarrollo de la comunidad, trabajadores rurales, economía rural, aislamiento social.

### SUMMARY

Livestock community from the Sumapaz region are in a transition period towards to technical production. Thus, our aim was to assess the mean requirements which delay implementation of good farming practices. This study, involved small and medium livestock farmers from the Sumapaz

region through a random test applied in nine municipalities from the province. Results showed socioeconomic barriers which limited the technology transfer for improvement in production such as low income, restricted access to university education and lack of productive and sanitary records. However, we observed positive outcomes with regard to environmental management which is characteristic as their cultural heritage.

Key words: Community development, rural workers, rural economy, social isolation.

### INTRODUCCIÓN

Las pequeñas comunidades rurales de la región de Sumapaz se han dedicado, tradicionalmente, a la agricultura y a la ganadería, que constituye la economía campesina, a pequeña escala, altamente vinculada al mercado de alimentos de la región, como la principal forma de producción. Estas unidades de producción son, al mismo tiempo, nichos de consumo, ya que buscan garantizar el autoabastecimiento y la reproducción social de la familia (Álvarez, 2003; Giraldo, 2008; Santacoloma-Varón, 2015).

Como proceso de adaptación e inserción del campesinado al modo de producción capitalista, las fincas ganaderas se han visto en la necesidad de mejorar sus sistemas productivos, para la obtención de carne y de leche, a través de la tecnificación del proceso, en busca de mayor eficiencia en

la producción, rentabilidad económica y como respuesta a los mecanismos de control sanitario e inocuidad, que establecen las entidades reguladoras de inocuidad en alimentos (Fafchamps *et al.* 1998; Ogunmefun & Achike, 2015). Lo anterior, exige reconvertir la ganadería en un sistema más competitivo, lo cual, implica no solo la adopción de la reglamentación impuesta por los entes estatales reguladores, sino también, un cambio en la forma de producción, respecto a manejo de suelos, pasturas, cuidado ambiental, bienestar animal y, sobre todo, lo referente al estatus sanitario y productivo de los animales (Lapar *et al.* 2003; Godfray & Garnett, 2014).

Se reconoce que Colombia ha presentado una ganaderización del sector rural, entendido como una expansión permanente de la ganadería bovina en la frontera agropecuaria y un uso extensivo del suelo, en esta actividad (Betancur *et al.* 2016; Piniero, 2016). Para el 2011, en el departamento de Cundinamarca, el porcentaje de cabezas de ganado fue de 5,17% respecto al total nacional, con un inventario bovino de 1.267.554 cabezas, para los 116 municipios. Dicha cifra porcentual ha permanecido relativamente constante en los últimos años, con una población bovina registrada de 1.256.535 animales (PNUD, 2011; ICA, 2016).

En términos socio-económicos, los pequeños productores de las unidades de producción ganadera (UPG) de la región del Sumapaz buscan suplir sus necesidades básicas y producir excedentes para la comercialización y la consolidación de mercados locales (Santacoloma-Varón, 2015). El sector es muy heterogéneo, con diferencias marcadas en el nivel de vida de los ganaderos y competitividad en el mercado. En la actualidad, se reconoce la importancia de promover el vínculo entre los pequeños y medianos productores de las UPG con el mercado nacional y global, como estrategia encaminada al desarrollo y al incremento de ingresos, ante el alto índice de pobreza que existe entre los pobladores rurales, que alcanza una tasa de incidencia de, aproximadamente, el 49% (PNUD, 2011).

Además, se debe tener en cuenta la ventaja competitiva que puede ofrecer este sector en la producción, con demanda creciente, que representa una estrategia para estimular un mejor manejo de los recursos naturales, por parte del productor rural (Ostertag-Gálvez, 1999). Con base en dicho contexto, se describen algunas características socio-económicas de los pequeños y medianos productores ganaderos del Sumapaz, que contribuyen a conocer la dinámica de desarrollo de esta población rural. Así, es importante conocer la eficiencia en los sistemas de producción pecuaria, para diseñar estrategias, encaminadas a aumentar los beneficios económicos y la rentabilidad. Aunque, si bien el Estado intenta promover la transición del productor campesino ha-

cia el pequeño empresario, no es consecuente en la política social y el modelo económico que tienden a marginalizarlo como grupo social (Rodríguez- Espinosa *et al.* 2016).

El propósito de este estudio, se centró en la reflexión sobre las características socio-económicas de pequeños y medianos productores, quienes podrían representar barreras para la transferencia de tecnologías y capacitación en buenas prácticas ganaderas (BPG). Teniendo en cuenta que es necesario ser eficiente y generar producción bovina de calidad e inocuidad para poder acceder a los exigentes mercados nacionales e internacionales, se hace necesaria la comprensión y la aplicación del concepto integral de salud animal, prevención, bienestar y manejo animal, que se estructuran en el marco de las BPG (Uribe *et al.* 2011). Conocer técnicamente las BPG y descubrir la importancia de implementarlas en las UPG de la región constituye, en la actualidad, una gran oportunidad, ya que permite continuar una transformación importante y decidida en los sistemas de producción pecuario, con la aplicación de criterios logísticos y administrativos, que permitan un uso racional y eficiente de los recursos físicos, humanos y económicos existentes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Zona de estudio.** La provincia del Sumapaz tiene múltiples extensiones, según la perspectiva geográfica que la define: páramo, cuenca, provincia, región y localidad son algunas de sus denominaciones. Para este estudio, se eligió como unidad de observación la provincia del Sumapaz, ubicada al sur del departamento Cundinamarca, conformada por diez municipios: Granada, Silvania, Tibacuy, Fusagasugá, Pasca, Arbeláez, San Bernardo, Pandi, Venecia y Cabrera. Todos los municipios forman parte de la cuenca hidrográfica del río Sumapaz, que nace en el Páramo del mismo nombre. La provincia tiene una extensión territorial de 1.808km<sup>2</sup>, representando el 8% del área total de Cundinamarca, lo que le permite posicionarse como la sexta, en cuanto a tamaño, a nivel departamental.

En los últimos años, se reconoce un carácter multifuncional del territorio del Sumapaz cundinamarqués, haciendo referencia a las múltiples actividades económicas generadas, a partir de una mayor interrelación urbano/regional y campo/ciudad. Esta interrelación, se manifiesta en la proliferación de actividades comerciales y de servicios, acompañada de una mayor urbanización del campo, ampliación de la oferta turística y de bienes ambientales. Otra característica asociada a la multifuncionalidad del territorio es la pluriactividad de las familias campesinas, entendida como la combinación de actividades ocupacionales, como estrategia de subsistencia, ante las condiciones precarias que caracteriza la producción agropecuaria en Colombia (Piñeros, 2014).

Para el área de desarrollo de la provincia del Sumapaz, Bogotá es el centro económico de mayor importancia, debido al fácil acceso que tienen los municipios con la capital del país. En la región del Sumapaz predominan las tierras de pastizales, que ocupan una extensión 52.523 ha, que cubren el 28,6% de la provincia. De igual forma, se destacan extensiones de bosque secundario, que ocupan el 21,5%; vegetación de páramo, el 14,8%; rastrojo, el 8,3%; pasto con rastrojo, el 5,3% y bosque natural, el 4,4%. En el Sumapaz, tan sólo el 9,3% de sus suelos está destinado a la agricultura (Giraldo, 2008).

**Caracterización socio-económica y ambiental en pequeños y medianos predios ganaderos.** Se realizó, a través de diagnóstico participativo entre 2014 y 2015, tomando como muestra 29 UPG, incluyendo 19 UPG pequeñas (con menos de 10 cabezas de ganado) y 10 UPG medianas (entre 11 y hasta 50 cabezas de ganado), localizadas en los municipios de Granada, Sylvania, Tibacuy, Fusagasugá, Pasca, Arbeláez, San Bernardo, Pandi, Venecia y Cabrera. Se analizó la estructura de estas unidades, utilizando un sistema de indicadores de sostenibilidad, aplicado a espacios rurales colombianos, con énfasis en los componentes social, económico y ambiental, conforme a estudios previos (Winograd, 1995; Fawaz-Yissi & Vallejos-Cartes, 2011). De este muestreo, se obtuvieron los siguientes indicadores: servicios básicos, como agua potable y electricidad; nivel educativo; nivel de ingresos de los hogares; uso de registros contables; tenencia de la tierra y manejo del medio ambiente.

El estudio, se ejecutó en dos fases. Inicialmente, para la obtención de la información, se realizaron visitas de campo a las UPG incluidas, a través de una encuesta semi-estructurada, observación directa, perfil de actividades cotidianas, registro de actividades y recolección de datos sociodemográficos. Posteriormente, se diseñó y se desarrolló un taller de retroalimentación con los productores, en el cual, se socializó la información recolectada y analizada. También, se elaboró un plan de trabajo para cada sistema de producción, basado en la información recolectada, que fue almacenada en una base de datos, en formato Excel (Microsoft Office), para su posterior análisis. Los resultados, se describieron y se presentaron en figuras y frecuencias numéricas, en promedios y porcentajes.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Caracterización de los predios.** Las 29 UPG muestreadas, se caracterizaron por la homogeneidad en los parámetros ambientales, socio-económicos y culturales, sin representar, globalmente, la comunidad rural, de su respectivo origen geográfico. El 17% de los predios, se encontraban habitados por campesinos, sin ningún vínculo familiar y en las UPG, ad-

ministradas a nivel familiar. El 42,2% de las UPG, se encontraban constituidas por cuatro integrantes como núcleo familiar, seguido por 20,5%, compuesta por cinco miembros; el 12%, por 3 integrantes y hasta siete integrantes, en el resto de las UPG. A pesar del abandono técnico de las instituciones gubernamentales para el desarrollo rural, el 62% de las UPG estaban inscritas en el ICA.

En la primera fase, la observación más común en todos los predios fueron las prácticas empíricas en el manejo animal y ambiental, incluyendo quemas de residuos sólidos, vertimientos puntuales a fuentes hídricas, deforestación para la extensión de la frontera agrícola, degradación de suelos y, en consecuencia, una baja viabilidad para la fauna y flora. Asimismo, se identificaron debilidades en el manejo administrativo de sus predios, debido a una deficiente autogestión y carencia de conocimientos de saneamiento básico. También, en todas las UPG incluidas, predominó la producción avícola y piscícola, junto con las actividades ganaderas, conforme a estudios previos (Giraldo, 2008). Así, las UPG abarcadas, se clasificaron de acuerdo al tipo de producción: 15 fincas, con propósito lechero y 14, doble propósito. Los productores presentaron baja capacidad de inversión económica en infraestructura y mano de obra para las UPG, dificultades para integrarse a las cadenas de mercantilización y escasa agremiación campesina. También, desconocimiento de BPG y percepciones empíricas, respecto a las prácticas pecuarias.

**Servicios básicos en las fincas.** En los territorios rurales latinoamericanos, el acceso a los servicios públicos puede ser limitado, por la infraestructura en los sistemas de distribución y la competencia por el acceso al recurso natural, en fuentes naturales (Cáceres & Rodríguez-Bilella, 2014). Respecto a los servicios básicos, se observó que en las UPG incluidas, un 72,4% cuenta con servicio de luz (electricidad) y agua potable (Figura 1). Estos resultados indican que la disponibilidad de los servicios públicos continúa siendo una brecha para las comunidades rurales, la cual, se estima en un 17%, para energía eléctrica y en un 45%, para agua, conforme a la encuesta de calidad de vida en Colombia, de 2003 y estudios posteriores (Forero-Álvarez & Ezpeleta-Merchán, 2007; Rodríguez-Espinosa *et al.* 2016; Ramírez *et al.* 2016). Además, se observó la implementación de pozo séptico (93,1%) y la disponibilidad del servicio de baño, en la mayoría de los predios (96,5%) (Figura 1). En otros contextos rurales, similares a Colombia, la carencia de servicios públicos adecuados, se podría convertir en un factor que promueve la migración hacia centros urbanos, por el deterioro de las condiciones de reproducción social campesinas (Cáceres & Rodríguez-Bilella, 2014; Kale & Attar, 2016; Piniero, 2016). Asimismo, la disponibilidad de servicios básicos, como luz y agua potable, podrían ser un factor limitante en la implementación de BPG o en la tecnificación de la producción de los predios.

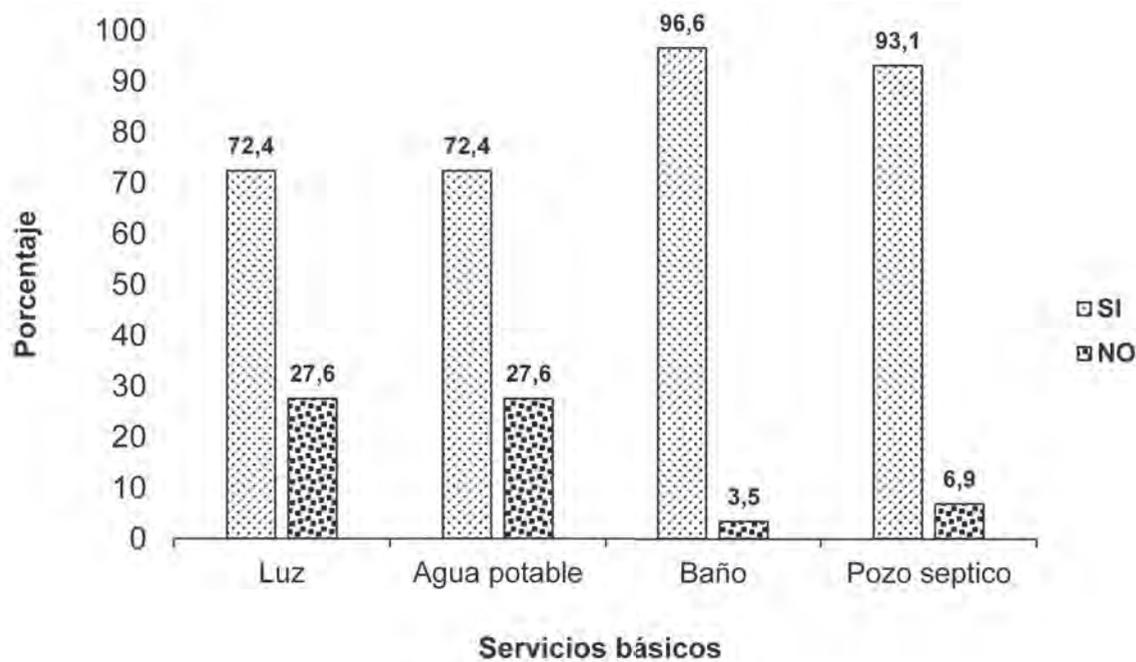


Figura 1. Disponibilidad de servicios básicos en UPG rurales del Sumapaz, incluidas en este estudio.

**Nivel educativo de las comunidades campesinas.** Para el análisis de este campo, se tomaron como indicadores: el acceso a la educación y el nivel educativo de productores, con lo cual, se describió la estructura educativa para las familias. Del total de familias encuestadas, el 96,5% señaló que tienen acceso al sistema educativo de educación primaria, básica secundaria y media, es decir, todos los municipios cuentan con infraestructura para atender a la población, en edad escolarizada. Si bien se destaca que la extensión de matrícula en educación ha sido continua, se evidencia la existencia de barreras socio-económicas, que limitan el acceso a la educación superior y que persisten hacia la desigualdad campo/ciudad, en temas de calidad y de cobertura; la segmentación escolar público/privada, así como restricciones a nivel de género, respecto al acceso y a la moratoria educativa (Fawaz-Yissi & Vallejos-Cartes, 2011; Ramírez *et al.* 2016).

Es así, que se marca una diferenciación en el nivel educativo entre propietarios y encargados o responsables de las fincas. Para el caso de los primeros, predomina un nivel educativo profesional, con un 44,8% (Figura 2a), mientras que para los segundos, el nivel educativo que sobresale es la educación básica primaria, con un 41% (Figura 2b). Esta desigualdad, se podría relacionar con la capacidad de movilidad, de tiempo y de recursos económicos con los que disponen los productores para acceder a la educación superior, así como a la oferta educativa, que se centra, en su mayoría, en los cen-

tros urbanos, lo que constituye una barrera socio-espacial (Schady *et al.* 2015). La existencia de estas barreras limita la implementación, por parte de productores, de modelos más eficientes y planificados en el desarrollo de sus actividades diarias, ya que muchos productores carecen de la formación técnica y profesional para implementar tecnologías en sus predios, para llevar registros contables y evaluaciones periódicas y tener un manejo sanitario óptimo de sus prácticas y productos (López-Arellano & Montoya-Grajales, 2016).

**Nivel de ingresos, tenencia de la tierra y registros contables.** Típicamente, las familias campesinas se adaptan a las formas de reproducción social y económica, establecidas por las condiciones estructurales del mercado y el modelo económico (Llambí & Pérez, 2007). Las actividades agropecuarias de los pequeños y medianos productores incluidos, las realizan en parcelas, con un promedio de 5ha, como extensión típica del minifundio. Allí, se desarrollan diferentes actividades socio-económicas, que definen una economía familiar, caracterizada por la pluriactividad, donde, además de los ingresos propios de la explotación agropecuaria, se obtienen otros, denominados extraprediales, como la venta de mano de obra fuera de la finca, el arriendo de los predios, servicios turísticos, empleos rurales no agrícolas y empleos tercerizados (Méndez-Sastoque, 2015). Esta realidad contrasta con la imagen típica que se tiene del campesino confinado en los espacios rurales, pues no solo son evidentes

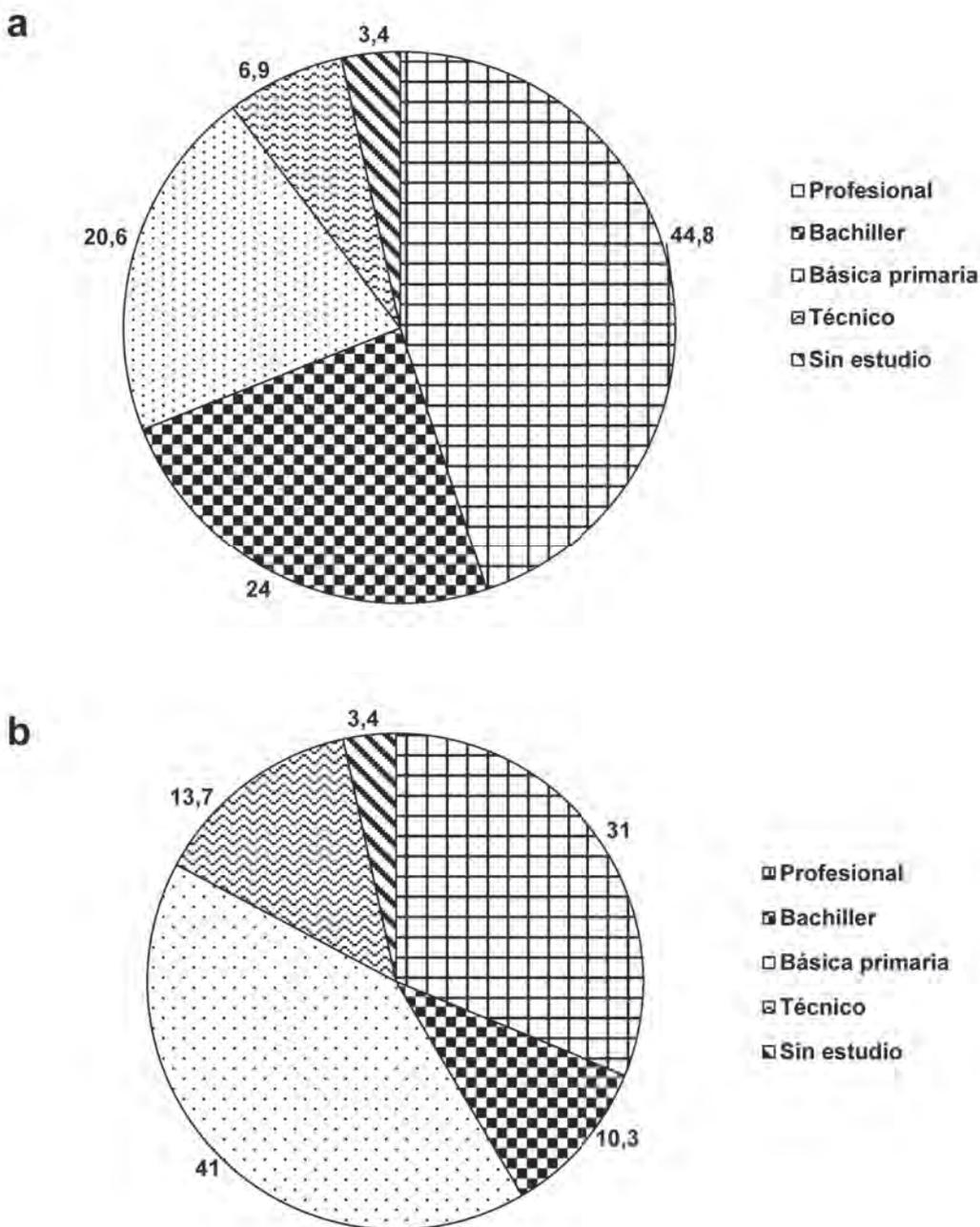


Figura 2. a. Nivel educativo de los propietarios de las fincas (expresados en porcentajes) y b. Nivel educativo de los arrendatarios de las fincas.

las transformaciones productivas de las economías campesinas, sino que también sobresalen los cambios socio-culturales, producto de un mayor intercambio cultural y mercantil con la economía de mercado y las ciudades (Forero-Álvarez, 2002).

En cuanto al nivel de ingresos económicos, se tiene que el 55,2% de los productores encuestados obtienen ingresos mensuales entre 1 y 2 salarios mínimos legales vigentes (SMLV); para el 24,1%, su nivel de ingresos mensuales es de menos de 1 SMLV y solo para el 20,7%, está entre 3 y 4 SMLV (Figura 3). El mayor ingreso económico proviene de la

venta de leche, con el 67%; asimismo, el 61% de los productores realizan la comercialización de ganado y de leche en la finca y mercado local. Además, se identificó que aún no existe la organización empresarial o a nivel de cooperativas y que no han implementado ninguna tecnología para mejorar los procesos de comercialización. Respecto a la posesión de predios, se registró en la zona que el 90% de los productores ganaderos son dueños de la tierra y solo un 10% son arrendatarios. En estudios previos en la región del Sumapaz, se reportó una tendencia similar respecto a la propiedad de los predios (Giraldo, 2008), sin embargo, los análisis respecto al uso y tenencia de la tierra demuestran que no solo la propiedad sobre los predios aumenta las posibilidades de inserción al mercado y al desarrollo productivo, sino que también lo son el poder acceder al capital, a créditos y a servicios básicos de calidad, los cuales, se convierten en elementos imprescindibles para aliviar la pobreza rural y promover la tecnificación de la producción (PNUD, 2011).

En cuanto al manejo de registros productivos, se evidenció que los productores no llevan controles periódicos sobre las actividades pecuarias y existe un desconocimiento generalizado de prácticas contables. Aunque el 58,6% de los predios encuestados sí implementan algún tipo de registro de producción, tan solo el 22,1% efectúa registro de gastos y el 27,6% de ventas, con lo cual, es difícil calcular los costos totales de inversión y el rendimiento de utilidades de la producción (Figura 4). Las facilidades crediticias para la financiación de la producción no son factibles para los pequeños productores y, al contrario, pueden afectar a la propiedad

raíz. Dichas limitaciones han sido descritas en productores agropecuarios, en otros contextos socio-económicos (Khattak & Hussain, 2008; Rivera & Monroy, 2015).

**Ambiente y manejo de recursos naturales.** La herramienta de diagnóstico utilizada fue una lista de chequeo, que evaluó, porcentualmente, la calidad de las prácticas desarrolladas en el marco del impacto ambiental de la actividad productiva. Para evaluar el nivel de desarrollo de las UPG, se elaboró una escala (Tabla 1), que mide el impacto ambiental y actividades armoniosas con el ambiente, aplicada al contexto rural colombiano (Winograd, 1995; Fawaz-Yissi & Vallejos-Cartes, 2011). El diagnóstico permitió establecer que un 63,8% de las UPG realiza prácticas adecuadas en relación con la sostenibilidad ambiental; se destaca la implementación de cercas vivas -como corredores ecológicos-, tratamiento de aguas residuales domésticas, creación de sistemas de bioabonos o compostaje, manejo integral de residuos sólidos y peligrosos, rotación de pradera continua y protección de fauna y flora. Las prácticas negativas, en un 36,2%, se relacionaron con quemas de residuos sólidos, vertimientos domésticos, deforestación para potreros, contaminación de rondas hídricas, compactaciones de suelo y lodazales. Algunas de las mencionadas prácticas contribuyen a la extensión de la frontera agrícola o ganadera e intensificación de esta actividad económica (Piniero, 2016). Dichas prácticas han sido descritas en otras comunidades rurales de diferentes áreas geográficas y contextos, asociados con menor disponibilidad de recursos ecosistémicos (Hartel *et al.* 2014; Goulart *et al.* 2016).

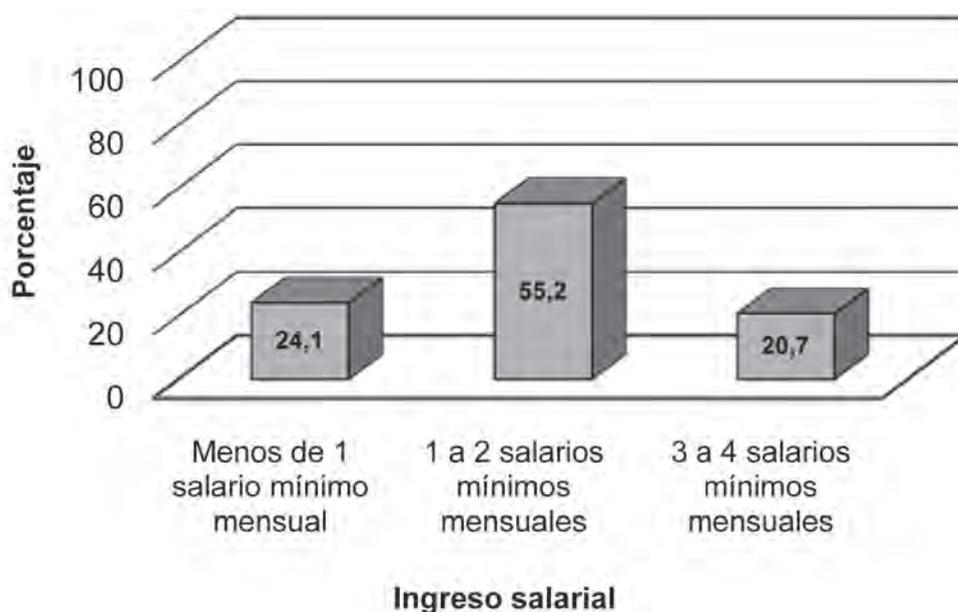


Figura 3. Nivel de ingresos de pequeños y medianos productores campesinos de 29 UPG, en la región del Sumapaz.

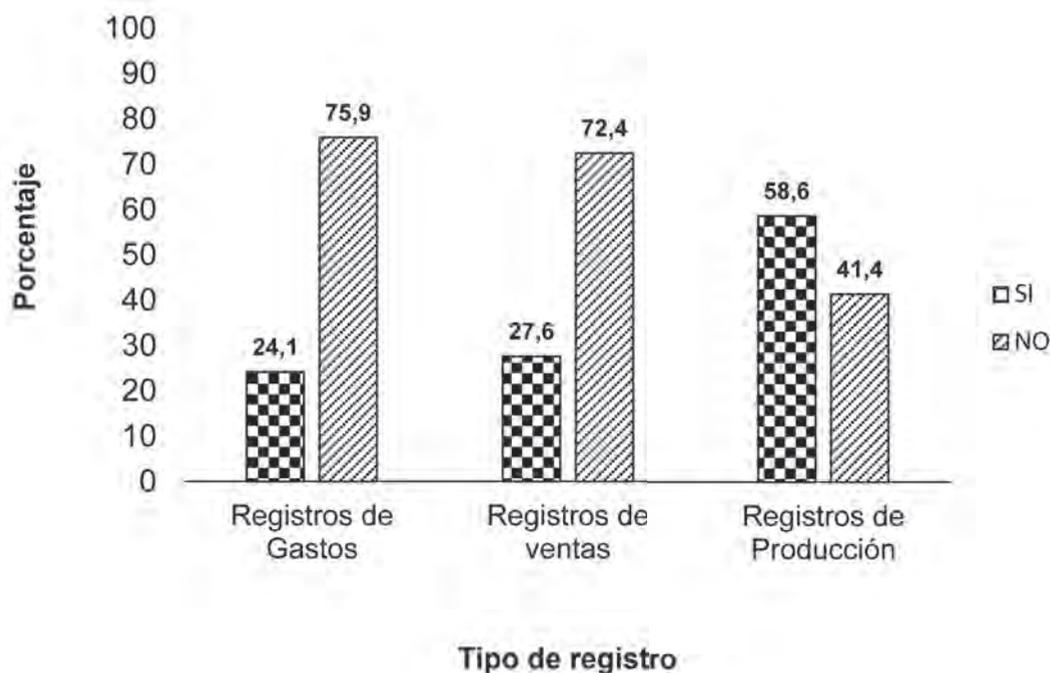


Figura 4. Implementación de registros contables por parte de productores campesinos del Sumapaz.

Tabla 1. Escala de calificación ambiental. Calificación en vía del desarrollo sostenible.

Calificación	Procentaje de calificación en la matriz	Parámetro +/- 10% de mejora continua ambiental
Excelencia ambiental (sostenible)	86-99	-10%
Consistente ambiental	66-85	-10%
Media ambiental	46-65	0
Sobresaliente ambientalmente	26-45	10%
Deficiencia ambiental	5-25	10%

En cuanto al manejo de los suelos, solo en el 20,7% de las UPG han realizado, recientemente, análisis del suelo y únicamente el 13,8% registraron análisis de agua. Este indicador sugiere un desconocimiento generalizado de los productores frente al uso de técnicas, para asegurar la inocuidad en la producción y evitar plagas y enfermedades, causadas por patógenos ambientales. La anterior explicación concuerda, a su vez con el manejo integrado de plagas, que solamente es realizado en el 17,2% de las UPG. El conocimiento del ambiente y optimización de los recursos naturales puede ser un parámetro clave para aumentar la producción, especialmente, aquella basada en monocultivo y disminuir el impacto antrópico sobre el ecosistema (Villa-Méndez *et al.* 2008).

La transferencia efectiva de tecnologías y de capacitación en buenas practicas ganaderas exige que las unidades de producción cumplan con condiciones sanitarias mínimas, así como la disponibilidad de recursos y de equipos, para acondicionar las fincas en unidades económicas más rentables (Ayalew *et al.* 2013). Como se ha visto, existen limitaciones financieras, como el bajo nivel de ingresos de los productores que podrían explicar la escasa inversión en asistencia técnica y el predominio de prácticas pecuarias tradicionales (Schady *et al.* 2015). Este escenario plantea la necesidad de una mayor intervención y apoyo técnico y social de las instituciones públicas, pues hasta ahora, la preocupación solo ha sido tecnificar los procesos sin considerar las condiciones sociales, propias de la población rural (López-Arellano

& Montoya-Grajales, 2016). Esta situación va acompañada de un alto nivel de descapitalización entre los productores, quienes, también, se muestran indiferentes o temerosos a la utilización del crédito bancario. Además, las limitaciones respecto a los niveles de producción y deficiencias en la respectiva calidad, podrían explicar su escaso poder de negociación en el mercado, como se ha descrito en comunidades rurales, con contextos socio-culturales similares (Somda *et al.* 2005).

Es necesario destacar que una de las características de las familias rurales del Sumapaz es su arraigo con la economía campesina (Giraldo, 2008). Esto supone, que si bien es necesario la implementación de sistemas productivos que garanticen una mayor inserción y competencia en el mercado, ésta no debe desconocer características, como la soberanía alimentaria, el vínculo con la tierra y la ética del trabajo campesino, aspectos que reafirman la identidad tradicional de este grupo social y que se constituyen como ventajas ante las formas de invisibilización y marginación, por parte de la institucionalidad (Santacoloma-Varón, 2015). Son importantes los indicadores de acceso a servicios públicos y educación, pues se consideran factores determinantes al momento de evaluar la calidad de vida de los productores y sus familias. Asimismo, es sobresaliente el indicador de buenas prácticas ambientales, acorde con la tradición campesina de preservación y buen manejo de los recursos naturales.

La implementación de BPG en la provincia de Sumapaz, se constituye en una labor que beneficia a toda la comunidad participante en las UPG; para su adopción o implementación, se requirió, primero, estudiar las características socio-demográficas de la población y caracterizar los predios, para realizar una intervención efectiva, en términos de transferencia tecnológica y de capacitación, en la segunda fase del estudio. Los fundamentos sobre los cuales se logró implementar exitosamente las BPG en 24 UPG (82,7%), se basaron en la importancia del manejo del suelo vivo y su balance, pastoreo, nutrición animal, agua en los sistemas, manejo genético, sanidad/medicación, equipos adecuados, correcta interacción con el medio ecológico y social, además de agregar valor y optimizar las cadenas de comercialización (Grote, 2014; Godfray & Garnett, 2014). Es posible que los resultados observados en este estudio apliquen no solo a las prácticas ganaderas, sino también adapten a otras prácticas pecuarias, como la porcícola, avícola y piscícola, que se desarrollan en el Sumapaz, por pequeños y medianos productores. Igualmente, el desarrollo socio-económico de las comunidades del Sumapaz se podría potenciar, a través de las alianzas con otros sectores, como academia, empresas privadas y sector productivo.

**Agradecimientos:** Los autores expresan sus agradecimientos a Diego Abril y Paola Valencia, por su colaboración en

la recolección de la información. También, a toda la comunidad rural de las fincas que participaron en el estudio. **Conflictos de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Este estudio fue financiado por el Comité de ganaderos de la provincia del Sumapaz (COMIGAN), la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia (ACAC) y la Universidad de Cundinamarca, en el marco de la segunda fase del proyecto de transferencia efectiva de tecnologías a pequeños productores agropecuarios en la provincia de Sumapaz (Cundinamarca, Colombia).

## BIBLIOGRAFÍA

1. ÁLVAREZ, J.F. 2003. Economía campesina y sistema alimentario en Colombia: Aportes para la discusión sobre seguridad alimentaria. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Ed. Universidad Javeriana (Bogotá, Colombia). 44p.
2. AYALEW, T.; DUGUMA, B.; TOLEMARIAM, T. 2013. Socioeconomic and farm characteristics of smallholder cattle producers in Ilu Aba zone of Oromia regional state, South Western Ethiopia. *Global Vet.* (Dubai). 10(5):607-613.
3. BETANCUR, F.R.; ESPINOSA, H.R.; SIERRA, M.M. 2016. Dinámica de la superficie agrícola cultivada en Colombia, 1960-2010. *IGCiencia.* (Colombia). 22(1):85-98.
4. CÁCERES, D.M.; RODRÍGUEZ-BILELLA, P. 2014. Acceso y apropiación del agua en comunidades rurales pobres de Argentina central: Transformaciones y conflictos. *EST.* (Mexico). 14(45):359-395.
5. FAFCHAMPS, M.; UDRY, C.; CZUKAS, K. 1998. Drought and saving in West Africa: are livestock a buffer stock?. *J. Dev. Econ.* (Netherlands). 55(2):273-305.
6. FAWAZ-YISSI, J.; VALLEJOS-CARTES, R. 2011. Calidad de vida, ocupación, participación y roles de género: un sistema de indicadores sociales de sostenibilidad rural (Chile). *Cuad. Desarro. Rural.* (Colombia). 8(67):45-68.
7. FORERO-ÁLVAREZ, J. 2002. La economía campesina colombiana 1990-2001. Cuadernos tierra y justicia No. 2. Instituto Latinoamericano para una Sociedad y un Derecho Alternativos-ILSA (Bogotá, Colombia). 32p.

8. FORERO- ÁLVAREZ, J.; EZPELETA-MERCHÁN, S. 2007. Las brechas entre el campo y la ciudad en Colombia 1990-2003, y propuestas para reducirlas. Ed. Naciones Unidas, CEPAL, serie Estudios y Perspectivas 17. (New York, USA). 79p.
9. GIRALDO, O.F. 2008. Seguridad alimentaria y producción pecuaria campesina: el caso de la localidad rural de Sumapaz. Luna Azul. (Colombia) 27:49-59.
10. GODFRAY, H.C.J.; GARNETT, T. 2014. Food security and sustainable intensification. Phil. Trans. R. Soc. B. (UK). 369:20120273.
11. GOULART, F.F.; CARVALHO-RIBEIRO, S.; SOARES-FILHO, B. 2016. Farming-biodiversity segregation or integration? revisiting land sparing versus land sharing debate. J. Environ. Prot. (USA). 7:1016-1032.
12. GROTE, U. 2014. Can we improve global food security? A socio-economic and political perspective. Food Security. (Netherlands). 6(2):187-200.
13. HARTEL, T.; FISCHER, J.; CÂMPEANU, C.; MILCU, A.I.; HANSPACH, J.; FAZEY, I. 2014. The importance of ecosystem services for rural inhabitants in a changing cultural landscape in Romania. Ecol. Soc. (Canada). 19(2):42-51.
14. ICA. 2016. Censo Pecuario Nacional. Bogota, Colombia. Disponible desde Internet en: <http://www.ica.gov.co/getdoc/8232c0e5-be97-42bd-b07b-9cdbfb07fcac/Censos-2008.aspx> (con acceso 12/04/2016).
15. KALE, M.T.S.; ATTAR, A.C. 2016. Socio-Economic Survey of Gotkhindi Village. IJIR. (Dubai) 2(9):148-151.
16. KHATTAK, N.U.R.K.; HUSSAIN, A. 2008. An analysis of socioeconomic profile of rice farmers in rural economy of District Swat. Sarhad J. Agric. (Pakistan) 24(2):377-382.
17. LAPAR, M.L.; BINH, V.T.; EHUI, S. 2003. Identifying barriers to entry to livestock input and output markets in Southeast Asia. Livestock sector report Vietnam. Livestock Information, Sector Analysis and Policy Branch (AGAL). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Ed. FAO Asia-Pacific (Vietnam). 46p. Disponible desde Internet en: [http://www.fao.org/ag/againfo/resources/en/publications/sector\\_reports/lsr\\_VNM.pdf](http://www.fao.org/ag/againfo/resources/en/publications/sector_reports/lsr_VNM.pdf) (con acceso 18/09/2016).
18. LLAMBÍ, I.L.; PÉREZ, C.E. 2007. Nuevas ruralidades y viejos campesinismos. Agenda para una nueva sociología rural latinoamericana. Cuad. Desarro. Rural. (Colombia). 4(59):37-61.
19. LÓPEZ-ARELLANO, H.; MONTOYA-GRAJALES, W.D. 2016. Análisis de la política de transformación productiva colombiana, basada en la incorporación de la ciencia, la tecnología y la innovación, para el mejoramiento de la competitividad de Colombia entre los años 2010 y 2014. Rev. Electr. Educare. (Costa Rica). 20(3):98-119.
20. MÉNDEZ-SASTOQUE, M.J. 2015. Ocupación rural no agrícola y desarrollo rural local: reflexiones y aportes para una articulación efectiva. Interações (Campo Grande). (Brazil). 16(2):315-325.
21. OGUNMEFUN, S.O.; ACHIKE, A.I. 2015. Profitability analysis of selecting informal insurance measures for selected enterprises by rural farmers in odogbolu local government area. RJOAS. (Rusia). 39(3):25-36.
22. OSTERTAG GÁLVEZ, C.F. 1999. Identificación y evaluación de oportunidades de mercado para pequeños productores rurales: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. v. (Instrumentos metodológicos para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales 7). 180p. Disponible desde internet en: [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos\\_ciat/agroempresas/instrumentos\\_metodologicos.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_ciat/agroempresas/instrumentos_metodologicos.pdf) (con acceso 18/09/2016).
23. PINIERO, M.C. 2016. Globalization and industrialization of agriculture: impacts on rural Chocontá, Colombia. Luna Azul. 43:468-496.
24. PIÑEROS, R. 2014. Economías campesinas y juventudes en la provincia del Sumapaz Cundinamarqués: Trayectorias sociales y relatos de vida. Ed. Universidad de Cundinamarca (Fusagasuga, Cundinamarca). p.9-35.
25. PNÚD. 2011. Colombia rural. Razones para la esperanza. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Bogota, Colombia. 42p. Disponible desde Internet en: [http://escuelapnud.org/biblioteca/documentos/abiertos/06\\_indh2011co.pdf](http://escuelapnud.org/biblioteca/documentos/abiertos/06_indh2011co.pdf) (con acceso 20/05/2016).
26. RAMÍREZ, J.; CARLOS, J.; PARDO, R.; ACOSTA, O.L.; URIBE, L.J. 2016. Bienes y servicios públicos

- sociales en la zona rural de Colombia: brechas y políticas públicas. ONU, CEPAL y DNP: Serie estudios y perspectivas. Bogotá, Colombia. 76p. Disponible desde Internet en: <http://200.9.3.98/handle/11362/38948> (con acceso 20/12/2016).
27. RIVERA, J.J.M.; MONROY, H.C. 2015. Diversificación de ingresos en el sector rural y su impacto en la eficiencia: evidencia para México. Cuad. Desarro. Rural. (Colombia). 12(76):57-81.
28. RODRÍGUEZ-ESPINOSA, H.; RAMÍREZ GÓMEZ, C.J.; RESTREPO-BETANCUR, L.F. 2016. Análisis comparativo de la dinámica de desarrollo agrícola en suramérica en el período 1980-2010. Luna Azul. 42:15-29.
29. SANTACOLOMA-VARÓN, L.E. 2015. Importancia de la economía campesina en los contextos contemporáneos: una mirada al caso colombiano. Entramado. (Colombia) 11(2):38-50.
30. SCHADY, N.; BEHRMAN, J.; ARAUJO, M.C.; AZUERO, R.; BERNAL, R.; BRAVO, D.; LOPEZ-BOO, F.; MACOURS, K.; MARSHALL, D.; PAXSON, C.; VAKIS, R. 2015. Wealth gradients in early childhood cognitive development in five Latin American countries. J Hum Resour. (USA) 50(2):446-463.
31. SOMDA, J.; KAMUANGA, M.; TOLLENS, E. 2005. Characteristics and economic viability of milk production in the smallholder farming systems in The Gambia. Agric. Syst. (UK). 85(1):42-58.
32. URIBE, F.; ZULUAGA, A.F.; VALENCIA, L.; MURQUEITIO, E.; OCHOA, L. 2011. Buenas prácticas ganaderas. Manual 3, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGAN, CIPAV, FONDO ACCION, TNC. (Bogotá, Colombia). 82p. Disponible desde Internet en: <http://www.cipav.org.co/pdf/3.Buenas.Practicas.Ganaderas.pdf> (con acceso 01/06/2016).
33. VILLA-MÉNDEZ, C.; TENA, M.; TZINTZUN, R.; VAL, D. 2008. Caracterización de los sistemas ganaderos en dos comunidades del municipio de Tuzantla de la región de Tierra Caliente, Michoacán. A.I.A. (Mexico). 12(2):45-58.
34. WINOGRAD, M. 1995. Indicadores ambientales para Latinoamérica y el Caribe: hacia la sustentabilidad en el uso de tierras. Proyecto IICA/GTZ, OEA, WRI. Instituto de Recursos Naturales. (San José, Costa Rica). 84p.

Recibido: Agosto 9 de 2016

Aceptado: Abril 10 de 2017

#### Cómo citar:

Bermúdez, Ch.E.; Arenas, N.F.; Moreno Melo, V. 2017. Caracterización socio-económica y ambiental en pequeños y medianos predios ganaderos en la región del Sumapaz. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 199-208.

# MATUTE CREEK, CARTAGENA, COLOMBIA: DETERIORATION OF WATER QUALITY BY HUMAN IMPACT

## ARROYO MATUTE, CARTAGENA, COLOMBIA: DETERIORO DE LA CALIDAD DEL AGUA POR IMPACTO HUMANO

Alonso Marrugo-González <sup>1</sup>, Roberto Fernández-Maestre <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Químico, Magister y Doctor en Química, Programa de Química. Universidad de Cartagena, Campus de San Pablo, Cartagena - Bolívar, Colombia, e-mail: amarrugog1@unicartagena.edu.co; <sup>2</sup> Licenciado en Química, Magister en Química y Doctor en Química Analítica, Programa de Química. Universidad de Cartagena, Campus de San Pablo, Cartagena - Bolívar, Colombia, e-mail: rfernandezm@unicartagena.edu.co (Corresponding autor)

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 209-214, Enero-Junio, 2017

### INTRODUCTION

Matute Creek, Arroyo Matute, rises in Loma de Piedra, northwest of Turbaco City, Bolivar, Colombia, and flows northwest. The river basin has 1594ha, a length of 9.7km and ends through the Chupundún and Calicanto channels in the Ciénaga de la Virgen, Cartagena (Calderón & Suarez, 2006). Arroyo Matute was the first aqueduct that supplied Cartagena (Colombia) and worked from 1907-1940; currently, the upper part of the river is an important source of water used in swimming pools and agricultural activities.

The creek has been under anthropogenic pressure. Turbaco lacks an adequate sewerage, and sewage is mainly done through non-waterproofed septic tanks polluting the ground waters that supplies this stream. Moreover, the low coverage of the aqueduct, has prompted people to groundwater reservoirs built without technical criteria that, being abandoned, are used to eliminate waste of all kinds, which also pollute the creek. The high riverbed is a source of water for farming and touristic pools but its flow rate has been reduced by agricultural activities that concentrate contaminants. From its middle part, Matute is used as household waste and garbage receiver in Cartagena (Figure 1) and floods several substandard neighborhoods of this city in the rainy season (Figure 1) where the river spreads diseases transmitted by insects and rodents. In this research, the waters of Arroyo Matute were evaluated by physicochemical and organoleptic analyses. This Report is important because establishes a baseline to compare with future studies in this creek, to monitor its deterioration and to alert the environmental authorities.

### MATERIALS AND METHODS

Sampling Five sampling stations were established:

- Station A, Los Lagos, the river source 10°20'58"N; 75°25'49"O (Reference Station) where the water is expected to be less contaminated.
- Station B, Hacienda Matute, 10° 20'58"N; 75°25'57"O, middle reach.
- Station C, Hacienda el Cortijo, 10°22'00"N; 75°27'00"O, middle reach.
- Station D, San Buenaventura University, 10°23'16"N; 75°27'56"O, low reach.
- Station E, Las Palmeras neighborhood, 10°24'05"N; 75°28'25"O, low reach.

Stations D and E were in the urban area of Cartagena, where most pollution was expected. Physical and chemical indicators of contamination were used: pH; concentration of NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, and biochemical oxygen demand (BOD). Samplings were conducted in the rainy, September 1999, and in the dry seasons, February 2000. At each station, specific surface water samples were collected and analyzed in triplicate by standard methods (APHA, 2016). Average monthly precipitation was provided by IDEAM (2016). Samples were taken from the water surface up to 1m deep, stored in plastic or glass bottles, depending on the analytical requirements, and kept at 4°C. In the laboratory, samples were analyzed immediately or frozen until analysis, while not exceeding two days.

Methods. The tests were from Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (ASTM): Hardness (2340 C, Volumetric EDTA), alkalinity (2320 B, Titration),



Figure 1. (a) Garbage in Arroyo Matute, station E; (b) Flooding caused by Arroyo Matute by station E; (c) Eutrophication in station E; (d) Fish Kill in station E; (e) Station B; (f) Station C. In internet. [Accessed 11/02/17] from the newspaper El Universal, Cartagena Colombia, except (f) from Alcaldía de Turbaco – Bolívar, Nuestro Municipio, Turismo. <http://www.turbaco-bolivar.gov.co/turismo.shtml>

a) [http://ciudadano.eluniversal.com.co/sites/default/files/imagecache/550x400/maguilera/18-06-2014/puente\\_de\\_la\\_pedro\\_romero\\_-\\_arroyo\\_matute\\_-\\_reinaldo\\_manjarre.jpg&imgrefurl](http://ciudadano.eluniversal.com.co/sites/default/files/imagecache/550x400/maguilera/18-06-2014/puente_de_la_pedro_romero_-_arroyo_matute_-_reinaldo_manjarre.jpg&imgrefurl) 16/09/2015 b) <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/local/%C2%A1inundacion-historica-49238>, 04/08/2009. c) <http://ciudadano.eluniversal.com.co/problemas-comunitarios/nada-que-lo-limpian.html>. d) <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/epa-investiga-causas-de-mortandad-de-peces-en-cano-matute-en-ternera-205143> 08/09/2015. e) <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/rutas-del-encanto/conozca-el-paraiso>. 04/08/2009

chloride (4500- Cl<sup>-</sup> C, Mercuric nitrate), total solids (2540 B, Total solids dried at 103-105°C), dissolved solids (2540 C, Total dissolved solids dried at 180°C), suspended solids (2540 D, Total suspended solids dried at 103-105°C), oils and fats (5520 B, Partition gravimetric), BOD (5210 B, BOD), chemical oxygen demand (COD) (5220 C, closed reflux titrimetric method), phosphates (4500-PE, ascorbic acid), nitrates (4500 E, cadmium reduction), nitrites (4500 B, colorimetric), ammonium (4500D, indophenol), and sulfates (4500-SO<sub>4</sub> D, turbidimetric).

**Data processing.** Statgraphics (Statistical Graphics System) was used; statistical significance tests were held at the 95% confidence level to determine differences between stations and the reference site or between the seasons. Results were reported as the mean of triplicate analyses and those with RSD > 20% were rejected. Correlations (r) were calculated for each parameter to obtain the trend over the course of the stream. Results were compared to quality criteria for natural waters as defined in national or international legislation aimed to flora and fauna preservation (Minsalud, 2016; WHO, 2008).

## RESULTS AND DISCUSSION

Significant differences were found in physicochemical parameters with the reference station in both seasons (Table 1) and also between stations ( $p < 0.05$ ) in most cases. **Alkalinity**, primarily determined by carbonate (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) and bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) content, is important because acts as a pH stabilizer (Patil *et al.* 2012) and determines the acceptability of a water for irrigation (WHO, 2008). In all seasons, alkalinity exceeded the maximum permissible levels (MPL), indicating high concentrations of carbonates due to the type of soil the stream crosses, a mass of coral limestone resting on a clay stratum (Berna & Orjuela, 1992).

**Water hardness** has a natural character and also corresponds to the washing of the soil. The harder the water, the higher the cost to prepare it for its use; a hardness of 80 to 100mg/L can be considered satisfactory. In all stations and seasons, the waters were of acceptable quality although hardness exceeded all MPL (WHO, 2008). The concentration of **chlorides** increased with the distance from the source. The high chloride content in station E may be due to sewage contamination, the influence of seawater by the low height above the sea level and the proximity of the salty Ciénaga de la Virgen. **BOD** is important because it determines the oxygen required to oxidize organic matter by biological means. BOD increased with the distance from the source, without exceeding the MPL established by WHO, consistent with the deterioration of the river water when approaching the mouth. **COD** indicates the organic matter content and the quality of waters, dissolved or suspended. COD values,

higher than the WHO guidelines, also increased with the proximity of the stream mouth indicating anthropogenic pollution; COD's MPL were exceeded in the rainy season, and in both seasons in stations D and E.

The solubility of **dissolved oxygen (DO)** in water depends on the temperature, atmospheric pressure, salinity, presence of vegetation, oxidizable organic materials, organisms and aerobes, and disturbance of the interface by wind, fats, hydrocarbons and detergents. Up to 5.5 mg/L DO there is a slight impairment of aquatic life, that turns moderate up to 5.0, and severe up to 4.5 (CWT, 2004). DO in Arroyo Matute became harmful to aquatic life during the dry season in the Cartagena urban area and showed a tendency to decrease with the distance from the source. This is possibly due to eutrophication and oxidizable organic matter by the dumping of waste and may have caused recent fish kills (Figure 1). In the rainy season, DO was high in all stations, likely because of the turbulence of the stream and the surface stirring with rain.

The **total solids** concentration indicates the amount of suspended solids that may seep up through a membrane of 2.0 microns pores. **Suspended solids** can be separated by mechanical means such as filtration or centrifugation. High solids content prevents penetration of light, reduces dissolved oxygen and limits the development of aquatic life. Terrain features, a mass of limestone coral (Berna & Orjuela, 1992), justify the high solids content. Suspended solids increased towards the river mouth because more solids from the bottom and banks are expected to be removed and more solids are received from runoff.

**Oils and fats** tend to float over the waters and hinder the dissolution of oxygen. The concentration of oils and fats exceeded the MPL; this would be associated with activities like washing motor vehicles near the stream banks and nearby petrol stations. **Phosphates** are essential nutrients to living organisms. They enter natural waters from the runoff of soils, and agricultural, industrial and domestic effluents. Phosphates produce eutrophication, which reduces dissolved oxygen threatening aquatic animals. Phosphates decreased, as expected, towards the river mouth and positively correlated with the eutrophication in stations D and E, where MPL were exceeded.

**Nitrites** in water could be the result of incomplete nitrification of ammonia. Except for two values, nitrite concentrations in Matute did not exceed the MPL and increased away from the source; this suggests anthropogenic pollution, such as high use of fertilizers and anaerobic conditions. High concentrations of **nitrates** in the rainy season were potentially due to this season's large amounts of atmospheric nitrogen oxidized into N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, which forms nitric acid, carried down by rain, forming nitrates (Fisher *et al.* 2007). Because station A

Table 1. Physicochemical parameters in mg/L and field data measured in situ (weather, air and water temperature, pH and conductivity), in the waters of Arroyo Matute.

Station	Season	A	B	C	D	E	MPL
Alkalinity	R	299	255	519	366	241	100 <sup>a</sup>
	D	292	247	223	436	229	
Hardness	R	292	219	286	280	321	160 <sup>a</sup>
	D	266	226	235	238	303	
Chloride	R	24.1	26.8	51.4	85.4	196	250 <sup>a</sup>
	D	19.3	21.3	28.7	46.6	177	
BOD <sub>5</sub>	R	1.92	0.16	2.02	5.44	2.03	6 <sup>2</sup>
	D	1.09	2.92	3.90	4.42	1.52	
COD	R	3.6	3.3	8.4	20	32	10 <sup>a</sup>
	D	16	36	20	52	40	
Dissolved oxygen	R	6.40	7.68	7.52	7.36	5.12	>5 <sup>b</sup>
	D	5.28	7.52	8.01	7.68	2.88	
Total Solids	R	558	600	598	674	840	>500 <sup>a</sup>
	D	420	421	740	952	959	
Suspended solids	R	238	350	312	360	444	-
	D	24.3	148	382	454	348	
Oils and fats	R	0.978	1.13	1.53	1.54	1.53	Absent**
	D	2.05	3.39	0.74	1.84	2.35	
Phosphates	R	0.005	0.007	0.043	0.255	0.316	0.2
	D	0.019	0.019	0.009	0.293	0.264	
Nitrites (as NO <sub>2</sub> )	R	0.002	0.009	0.015	0.086	0.135	0.1
	D	0.002	0.007	0.019	0.444	0.048	
Nitrates	R	8.46	7.71	4.17	1.55	1.38	10
	D	3.53	1.67	0.10	0.00	0.01	
Sulfates	R	6.04	7.37	36.6	55.2	67.4	400
	D	12.5	17.3	28.6	39.3	50.8	
Ammonium (as NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	R	0.01	0.02	0.03	1.79	1.37	1.0
	D	0.02	0.12	0.03	1.85	1.46	
Time*	R	11:40	12:33	13:15	13:45	14:45	-
	D	11:55	12:40	13:01	13:30	14:05	
Weather <sup>1</sup>	R	Cloud	Cloud	Cloud	Sun	Sun	-
	D	Cloud	Cloud	Cloud	Cloud	Sun	
Air temperature, °C	R	30.6	29.1	26.8	28.9	33.4	-
	D	27.3	27.7	28.4	27.6	30.3	
Water temperature, °C	R	27.6	27.8	29.7	29.5	31.1	-
	D	27.2	27.1	25.8	27.4	26.8	
pH	R	7.3	7.9	7.9	7.8	7.7	6.5–9.0 <sup>c</sup>
	D	6.6	6.9	7.2	7.3	7.1	
Conductivity <sup>2</sup> , μS/cm	R	332	409	141	895	1038	50–1000 <sup>c</sup>
	D	526	537	586	751	1736	
Other	R	NO	T	T,St	T,G	T,E,SO,G	-
	D	NO	T	T,St	T,G	T,E,SO,G	

The reference station is A. <sup>a</sup> (Minsalud, 2016). <sup>b</sup> (WHO, 2008). <sup>c</sup> (WHO, 2008). R: rainy season; D: dry season. MPL: maximum permissible level or recommended levels for drinking water. PL: permissible levels. Cloud: cloudy; Sun: sunny. <sup>1</sup> at the sampling time. <sup>2</sup> multiplied by 0.01; T: turbidity; E: eutrophication; SO: strong bad odor; NO: no odor; G: garbage. St: Stagnant waters. \* Time when measuring field parameters (weather, temperature, pH and conductivity). \*\* Decreto 1594-1984, Colombia, fat/oil films must be absent for recreational use.

is a protected area rich in flora and fauna, it shows a relatively high amount of nitrates.

**Sulfate** ion concentration in natural waters can reach 30 to 50mg/L if soils do not contain a significant proportion of sulfate minerals. Sulfate can lead to problems in agriculture and gastrointestinal problems in animals (Burgess *et al.* 2010). Sulfate concentrations in Matute were below the MPL and increased in both seasons towards the river mouth indicating the stream deterioration for allegedly human activities. **Ammonium** ( $\text{NH}_4^+$ ) also had the same trend. In both seasons, ammonium concentrations in stations D and E were high, possibly due to organic matter contamination by the inadequate sewerage in the area.

Salinity, conductivity, turbidity, temperature, and pH were determined in situ, and served as a criterion for determining water quality. International standards indicate that natural waters pH should be 7.0-8.5; for most aquatic species, the favorable pH is 6.0-7.2 (WHO, 2008; CWT, 2004). pH values in the dry season were adequate for aquatic species. The high pH values in the rainy season in all stations, inadequate for aquatic species, may have been produced by antropogenic factors because the buffering power of water assimilates natural pH changes. These high pH values may be due to dissolution of carbonates/bicarbonates by the washing of the coral limestone soil. In addition, high temperatures in the rainy season decrease the solubility of  $\text{CO}_2$  in water, and this increases pH.

High **temperatures** in natural waters impair reproduction of aquatic organisms (Miller *et al.* 2015). The temperature of natural water should be lower than that of air and this was found in all stations, except in C and D in the rainy season, indicating no thermal pollution. **Conductivity** evaluates the total amount of minerals in water; conductivity variations may come from spills or contaminated waters. Conductivity correlates with temperature, pH, alkalinity, hardness, total solids, total dissolved solids, COD, and chloride in waters; it has been suggested that water quality can be checked by controlling conductivity (Patil *et al.* 2012). Despite the lack of standards and the effects of the surrounding environment on conductivity, 50-800 $\mu\text{S}/\text{cm}$  in tap water and 100-2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  in fresh water streams can be expected (Fondriest Environmental Inc., 2016). In both seasons, conductivity increased when approaching the mouth of Matute, with a value at station E in the dry season that makes it unsuitable for many uses, including irrigation; in general, the conductivity was also high in the dry season, as expected, due to the concentration of minerals. Finally, the degradation of Matute was evident in stations D and E as indicated by turbidity, eutrophication, bad smell, garbage and water stagnation (Figure 1).

The physicochemical characterization of the waters of Arroyo Matute showed that, until 2000, the creek was in good condition as a natural water source up to the middle part of the river. The waters could be used for irrigation or other activities although some parameters exceeded the MPL for drinking water. Significant differences were found between the seasons for nitrates, ammonium, alkalinity, hardness, chloride and COD. The incidence of waste dumping and general deterioration of water was evident in stations D and E in the urban area of Cartagena.

**Conflicts of interest:** The manuscript was prepared and reviewed with the participation of all authors, who declare that there is no conflict of interest that compromise the validity of results. This study was funded with authors' own resources.

## BIBLIOGRAPHY

1. APHA, AWWA (American Water Works Association), and WEF (Water Environment Federation). 2016. Standard Methods For Examination Of Water And Wastewater. 17 Edition. Disponible desde Internet en: <https://www.standardmethods.org/> [Accessed in 07/08/16].
2. BERNA, C.O.; ORJUELA, G. 1992. Prospección arqueológica en el municipio de Turbana, departamento de Bolívar. Boletín Arqueol., 3. Presencia eds. Bogota-Colombia. Disponible desde Internet en: <http://publicaciones.banrepcultural.org/index.php/fian/article/viewFile/5436/5693> [Accessed 07/08/16].
3. BURGESS, B.A.; LOHMANN, K.L.; BLAKLEY, B.R. 2010. Excessive sulfate and poor water quality as a cause of sudden deaths and an outbreak of diarrhea in horses. Can. Vet. J. 51(3):277-282.
4. CALDERÓN, G.; SUAREZ, L. 2006. Caracterización biofísica del Arroyo Matute Turbaco – Bolívar. Teknos 3(1):35-42. Disponible desde Internet en: <http://www.eumed.net/eve/resum/07-junio/ccse.htm> [Accessed 07/08/16].
5. CLEAN WATER TEAM –CWT-. 2004. Dissolved Oxygen Fact Sheet, FS-3.1.1.0(DO). in: The Clean Water Team Guidance Compendium for Watershed Monitoring and Assessment, Version 2.0. Division of Water Quality, California State Water Resources Control Board (SWRCB), Sacramento, CA. Disponible desde Internet en: [http://www.waterboards.ca.gov/water\\_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110en.pdf](http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110en.pdf) [Accessed 07/08/16].

6. FISHER, L.S.; MAYS, P.A.; WYLIE, C.L. 2007. An overview of nitrogen critical loads for policy makers, stakeholders, and industries in the United States. *Water Air Soil Poll.* 179(1-4):3-18.
7. FONDRIEST ENVIRONMENTAL INC. 2016. Conductivity, Salinity & Total Dissolved Solids. Disponible desde Internet en: <http://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/> [Accessed 07/08/16].
8. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA – IDEAM-. 2016. Disponible desde Internet en: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima> (Accessed 07/08/16).
9. MILLER, G.M.; KROON, F.J.; METCALFE, S.; MUNDAY, P.L. 2015. Temperature is the evil twin: effects of increased temperature and ocean acidification on reproduction in a reef fish. *Ecol. Appl.* 25(3):603-620.
10. MINISTERIO DE SALUD –MINSALUD-. Colombia. 2016. Decreto 1594/84 Chapter IV and Decreto 475/98 Chapter III. Disponible desde Internet en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617> [Accessed 07/08/16].
11. PATIL, P.N.; SAWANT, D.V.; DESHMUKH, R.N. 2012. Physico-chemical parameters for testing of water-A review. *Int. J. Environ. Sci.*, 3(3):1194-1207.
12. WORLD HEALTH ORGANIZATION –WHO-. 2008. Guidelines for drinking-water quality: incorporating 1st and 2nd addenda, Vol. 1, Recommendations. 3 Ed. Geneva. Disponible desde Internet en: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/fulltext.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf) [Accessed 07/08/16].

Recibido: Febrero 11 de 2017

Aceptado: Mayo 09 de 2017

#### Cómo citar:

Marrugo-González, A.; Fernández-Maestre, R. 2017. Matute creek, Cartagena, Colombia: deterioration of water quality by human impact. *Rev. U.D.C.A Act. & Div.Cient.*20(1): 209-214.

# EDAD DE CASTRACIÓN Y SU EFECTO SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE CERDOS CRUZADOS EN FASE DE CEBA

## CASTRATION AGE AND ITS EFFECT ON PRODUCTIVE PERFORMANCE OF CROSSBRED PIGS IN THE FATTENING PHASE

Libardo Maza Agulo<sup>1\*</sup>, Juan Simanca Sotelo<sup>2</sup>, Orlando Narváez Díaz<sup>3</sup>, Carlos Almentero Suárez<sup>4</sup>, Óscar Vergara G.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> MVZ, M.Sc. Universidad de Córdoba, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Grupo de Investigación en Producción Animal Tropical. Montería, Colombia. \*autor para correspondencia. E-mail: lmaza@correo.unicordoba.edu.co; <sup>2</sup> MVZ, M.Sc. Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos – INVIMA, Grupo de Investigación en Producción Animal Tropical, Montería, Colombia; e-mail: lj.c.simanca@hotmail.com; <sup>3</sup> MVZ. Ejercicio particular, Grupo de Investigación en Producción Animal Tropical. Montería, Colombia, e-mail: orlandomvz@hotmail.com; <sup>4</sup> MVZ, Esp. Universidad de Córdoba, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Grupo de Investigación en Producción Animal Tropical. Montería, Colombia, e-mail: calmentero@correo.unicordoba.edu.co; <sup>5</sup> Zoot, Dr. Sc. Universidad de Córdoba, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Grupo de Investigación en Producción Animal Tropical. Montería, Colombia, e-mail: overgara@correo.unicordoba.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(1): 215-219, Enero Junio, 2017

### INTRODUCCIÓN

La castración quirúrgica en cerdos, a temprana edad, es la técnica más utilizada, mundialmente, para eliminar el olor sexual que se presenta en la pubertad, durante la etapa de engorde, además de controlar el comportamiento agresivo de los machos enteros (Fábrega *et al.* 2009, Bahelka *et al.* 2015). Además de ello, la producción de cerdos para sacrificio se basa, fundamentalmente, en machos castrados y hembras, aunque trae, como inconveniente, un mayor acumulo de grasa corporal (Peinado *et al.* 2008; Meier-Dinkel *et al.* 2015)

La edad de la castración puede afectar al ritmo de crecimiento de los animales. El mayor crecimiento del tejido muscular de los machos enteros es más evidente, a medida que se aproximan a la pubertad (Quiles, 2009). Considerando que en los sistemas de producción porcina del trópico bajo colombiano no existe un criterio definido para la edad de castración de los lechones, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la edad de castración sobre la ganancia diaria de peso, la conversión alimenticia y el rendimiento de canal caliente de cerdos mestizos, en fase de ceba.

### MATERIALES Y MÉTODOS

**Sitio de estudio y geoclima.** El estudio, se realizó en la Granja experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad de Córdoba, localizada en el

corregimiento de Berastegui, Municipio de Ciénaga de Oro, departamento de Córdoba, Colombia. La zona, se encuentra clasificada como bosque húmedo tropical, ubicado a 8° 52' latitud Norte y 75° 54' de longitud al Oeste, altura a 18msnm, temperatura promedio de 27°C, humedad relativa de 85% y precipitación anual de 1.200mm.

**Unidades experimentales y tratamientos.** Se utilizaron 16 cerdos machos cruzados (25% Pietrain, 25% Duroc, 25% Landrace y 25% Large White), con peso promedio inicial de 21,44 ± 0,97kg y con 58 a 60 días de edad. Los animales fueron distribuidos al azar, en cuatro grupos de tratamientos de cuatro animales cada uno, a saber: T0 = castrados al día 30 de edad; T1 = castrados al día 60 de edad; T2 = castrados al día 90 de edad y T3 = castrados al día 120 de edad.

Los animales fueron castrados quirúrgicamente y, para ello, cada animal fue sedado mediante inyección intramuscular profunda de 2mg de Azaperona® por kg de peso vivo. La técnica quirúrgica incluyó: lavado y desinfección con yodóforo de la zona testicular y periférica; inyección de, aproximadamente, 10mL de anestésico local (lidocaína) en el área a cortar; corte con bisturí de la piel del escroto y las tunicas vaginal, parietal y visceral; amarre del cordón espermático con hilo de sutura desinfectado; corte del cordón espermático y extracción del testículo; extracción completa de tunicas testiculares; sutura del corte escrotal, dejando un espacio en la parte inferior para drenaje de líquidos y, por último, lavado y nueva desinfección del área intervenida. Al final de la

cirugía, los machos recibieron una inyección de antibiótico (penicilina 15.000UI/kg de peso) y de antiinflamatorio (beta-metazona 1mL/20kg de peso).

**Manejo de los animales y la nutrición.** Los animales fueron manejados en corrales individuales, para poder determinar el consumo de alimento por tratamiento. Los cerdos estuvieron sometidos a un periodo de adaptación al manejo experimental de 10 días, antes de entrar al experimento. La dieta cumplió con todos los requerimientos nutricionales de cada etapa productiva de la fase de ceba (levante, desarrollo y acabado), según las tablas de requerimientos nutricionales, propuestas por NRC (2001).

La cantidad de alimento suministrado, de acuerdo al ajuste que se hacía por peso de los animales, fue de 2,06kg/animal/día, para la fase de levante; 2,66kg/animal/día, para desarrollo y 3,3 kg/animal/día, para acabado. Con esta cantidad, se aseguró un consumo total de 1,79; 2,31 y 2,87kg/animal/día, para la fase de levante, de desarrollo y de acabado, respectivamente, de materia seca. El alimento fue suministrado en tres porciones a horas exactas (8:00 a.m., 12:00 m. y 4:00 p.m.).

El sacrificio de los animales, se realizó el día 150 de edad, en la sección de cárnicos de la Planta Piloto del Programa de Ingeniería de Alimentos, de la Universidad de Córdoba.

**Ganancia diaria de peso (GDP).** Para determinar la GDP de los animales, se realizaron pesajes semanales, a las 6:00 a.m., antes de iniciar el suministro de alimentos. Para el pesaje, se empleó una báscula de 300kg de capacidad y 100g de intervalo de precisión.

**Conversión alimenticia (CA).** La CA, se determinó dividiendo el consumo de alimento diario entre la ganancia de peso diaria promedio, determinada para cada tratamiento ( $CA = \text{Consumo}/GP$ ). Este parámetro, se estimó cada semana, en la que se realizaba el pesaje.

**Rendimiento de canal caliente (RCC).** Para evaluar el RCC, después del sacrificio de los animales, las canales se pesaron en una báscula digital de 200kg de capacidad. El RCC, se estimó con base en la siguiente fórmula:  $(PCC/PV * 100)$ , donde, PCC correspondió al peso de la canal caliente y PV, al peso vivo del animal.

**Análisis estadístico.** Los resultados correspondientes a la GDP, CA y RCC fueron analizados, a través de un análisis de varianza y para la comparación de medias, se utilizó la prueba de Duncan. La variable RCC fue transformada mediante la expresión  $\arcsen$  de la raíz cuadrada del porcentaje, para que cumpliera el supuesto de normalidad. Además, se utilizó la prueba de polinomios ortogonales, para determinar

la tendencia de las variables respuestas, según la edad de castración. Los datos fueron analizados usando el programa SAS (2001).

**Aspectos éticos.** Los procedimientos quirúrgicos realizados en este estudio fueron ejecutados por el docente del área de Cirugía de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad de Córdoba y se tuvo en cuenta las normas éticas, técnicas, científicas y administrativas, para la investigación en animales, según lo mencionado en la ley 84 (Congreso de la República de Colombia, 1989) y lo referido por MRAD (2006).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Ganancia diaria de peso (GDP).** Se encontró diferencia altamente significativa ( $P \leq 0,05$ ) para la GDP, entre los diferentes tratamientos. T0 y T1 fueron estadísticamente iguales ( $P > 0,05$ ) y difirieron ( $P \leq 0,05$ ) de T2 y T3 (Tabla 1). Al hacer la prueba de polinomios ortogonales, se encontró que la GDP tuvo un comportamiento lineal ( $P \leq 0,01$ ) respecto a las edades de castración, según la siguiente ecuación:  $GDP = 640,6 - 0,66 \text{días}$  ( $R^2 = 0,52$ ). Esto sugiere que, a medida que aumenta la edad de castración, disminuye la ganancia diaria de peso. Como se puede observar en la gráfica 1(A), hubo una disminución en la ganancia de peso al final del periodo experimental en T2 y T3, que pudo ser causado por el estrés posquirúrgico, al castrar a los animales de estos tratamientos, a los 90 y 120 días de edad.

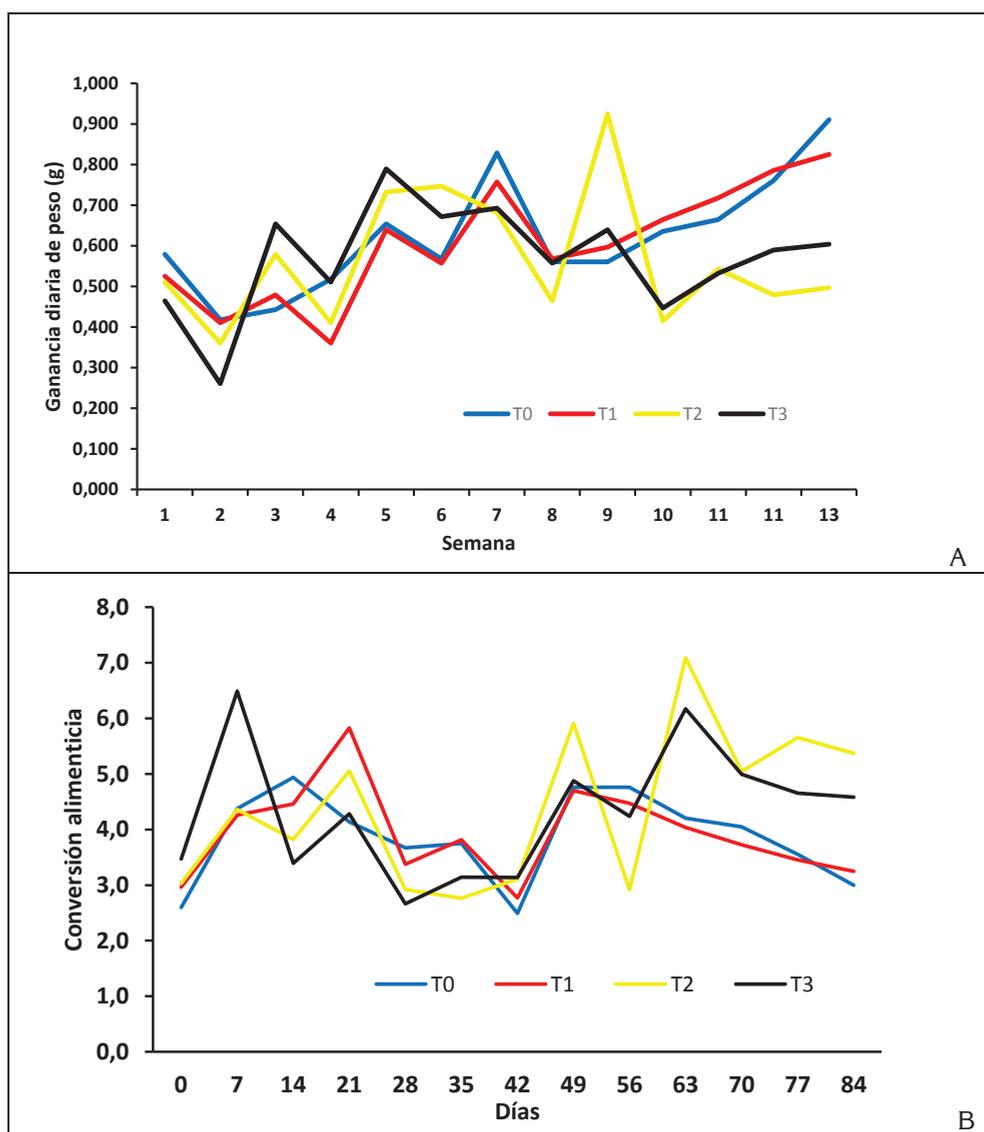
Las GDP del presente estudio fue inferior a la reportada por Peinado *et al.* (2008), en cerdos Pietrain - Large White x Landrace - Large White, castrados a los 7 días (746g/día); a la reportada por Bahelka *et al.* (2015), en cerdos Yorkshire x Landrace, castrados a los 7 días de edad ( $890 \pm 606$ g/día); a la hallada por Daza *et al.* (2016), en cerdos Duroc x Landrace x Large White, castrados a los 5 días de edad (993g/día) y a la estimada por Van den Broeke *et al.* (2016), en animales Pietrain cruzados, castrados a los 5 días (877 g/día). De igual manera, Escobar *et al.* (2006), en cerdos PIC x Landrace-Yorkshire-Duroc, reportaron GDP entre 705 a 848 g/día, en cerdos castrados a los 30 días de edad, nutridos con alimento balanceado comercial y diferentes niveles de melaza.

**Conversión alimenticia (CA).** Se encontró que la CA fue menor en T0 y T1 (3,87 y 3,93) y mayor en T2 y T3 (4,39 y 4,31) ( $P \leq 0,05$ ) (Tabla 1). Esta diferencia puede ser atribuida al mayor estrés provocado por la mayor edad a la castración del presente estudio, traducándose en una disminución en el desempeño productivo del animal (Lanier, 2008). Al realizar la prueba de polinomios ortogonales, esta variable no tuvo ningún tipo de comportamiento polinomial. En la gráfica 1(B), se puede ver el comportamiento de la conversión alimenticia, durante el periodo experimental.

Tabla 1. Comportamiento de la ganancia diaria de peso (kg), conversión alimenticia (%) y rendimiento promedio en canal caliente (%) de cerdos, con diferentes edades a la castración.

Tratamientos	Ganancia Diaria de Peso (g)	Conversión Alimenticia	Rendimiento en Canal Caliente %
T0	622 <sup>a</sup>	3,87 <sup>a</sup>	71,79 <sup>a</sup>
T1	606 <sup>a</sup>	3,93 <sup>a</sup>	71,19 <sup>ab</sup>
T2	564 <sup>b</sup>	4,39 <sup>b</sup>	68,92 <sup>b</sup>
T3	570 <sup>b</sup>	4,31 <sup>b</sup>	68,58 <sup>b</sup>

Valores medios con diferente letra en la misma columna, difieren estadísticamente ( $P \leq 0,05$ ).



Gráfica 1. A) Comportamiento de la ganancia de peso y B) conversión alimenticia, para los diferentes tratamientos durante el periodo experimental.

La CA del presente estudio fue menor (3,87 - 4,31) a la reportada (4,52) por Gómez *et al.* (2013), en cerdos Ibéricos, castrados a los 60 días de edad, mientras que fue superior a la reportada por Fábrega *et al.* (2009), Morales *et al.* (2010), Bahelka *et al.* (2015) y Daza *et al.* (2016), en cerdos castrados a diferentes edades (2,77, 2,56, 2,86 y 2,99, respectivamente). Esta mayor CA en los resultados del presente estudio, se puede atribuir a las condiciones ambientales del trópico bajo donde fue realizado el experimento, lo cual, afecta, de manera directa, el consumo de alimento, la ganancia de peso y, por ende, la conversión; además, de las líneas genéticas y alimento utilizado.

**Rendimiento de canal caliente (RCC).** Los promedios de RCC de los diferentes tratamientos oscilaron entre 68,58 a 71,79%. Se encontró que T0 obtuvo el mayor rendimiento en canal caliente y difirió ( $P \leq 0,05$ ) de T2 y T3 (Tabla 1). Estos resultados están de acuerdo a los reportados por Escobar *et al.* (2006), quienes suministraron diferentes niveles de melaza (0, 10, 20 y 30%) al alimento balanceado comercial, en cerdos en fase de ceba y castrados a los 30 días de edad, encontrado RCC de 66,6; 69,1; 70,6 y 67,5%, respectivamente, para los diferentes niveles de melaza. Valores superiores al presente estudio han sido reportados por Fonti *et al.* (2012), en cerdos (Duroc) y Van den Broeke *et al.* (2016), en cerdos Pietrain cruzados con RCC, de  $76,9 \pm 0,25$  y  $79 \pm 0,3\%$ , respectivamente.

Al realizar la prueba de polinomios ortogonales, se encontró que el RCC tuvo un comportamiento lineal ( $P \leq 0,01$ ) respecto a las edades de castración, según la siguiente ecuación:  $RCC = 73,09 - 0,04 \text{ días}$  ( $R^2 = 0,44$ ). Esto sugiere que, a medida que aumenta la edad de castración, disminuye el rendimiento en canal caliente de los animales.

La GDP fue mayor y la CA fue menor en los animales castrados a 30 días de edad (T0) y 60 días de edad (T1); sin embargo, se puede presumir que el mejor tratamiento fue el testigo (T0), ya que pudo presentar menor estrés posquirúrgico. El RCC fue similar entre los tratamientos y, por ende, su comportamiento es independiente a la edad a la castración.

**Agradecimientos.** Los autores agradecen a la Facultad de Medicina Veterinaria, de la Universidad de Córdoba, por facilitar los animales para la realización de este estudio. Además, a los MVZ Jorge Guzmán y Sonnel Velásquez. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BAHELKA, I.; TOMKA, J.; BUČKO, O.; HANUSOVÁ, E. 2015. Growth performance and carcass quality of entire males, surgical castrates and gilts. *Slovak J. Anim. Sci.* 48(3):116–121.
2. CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. 1989. Ley 84 de 1989. Por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Protección de los Animales y se crean unas contravenciones y se regula lo referente a su procedimiento y competencia. Disponible desde Internet en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=8242>. (con acceso 08/04/2017).
3. DAZA, A.; LATORRE, M.A.; OLIVARES, A.; LÓPEZ C.J. 2016. The effects of male and female immunocastration on growth performances and carcass and meat quality of pigs intended for dry-cured ham production: A preliminary study. *Livest. Sci.* 190: 20–26.
4. ESCOBAR, J.; MACÍAS, M.; CASTILLO, R.; VÉLEZ, M. 2006. Evaluación del uso de melaza en dietas para cerdos en crecimiento y engorde. *Ceiba.* 47(1-2):3-9.
5. FÁBREGA, E.; SOLER, J.; CROS, J.; GRISPERT, M.; TIBAU, J.; VELARDE, A. 2009. Resultados de diversas alternativas a la castración quirúrgica en cerdos. *SUIS.* 59:26-34.
6. FONTI-FURNOLS, M.; GISPERT, M.; SOLER, J.; DIAZ, M.; GARCIA-REGUEIRO, J.A.; DÍAZ, I.; PEARCE, M.C. 2012. Effect of vaccination against gonadotrophin-releasing factor on growth performance, carcass, meat and fat quality of male Duroc pigs for dry-cured ham production. *Meat Sci.* 91:148-154.
7. GÓMEZ-FERNÁNDEZ, J.; HORCAJADA, S.; TOMAS, C.; GÓMEZ-IZQUIERDO, F.; DE MERCADO, E. 2013. Efecto de la inmunocastración y de la castración quirúrgica sobre los rendimientos productivos y de la calidad de la canal en cerdas ibéricas de cebo. *ITEA.* 109(1):33-48.
8. LANIER, J. 2008. El estrés y el miedo en procedimientos estándares agropecuarios. *REDVET.* 9(10B):1-13. Disponible desde Internet en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n101008B/BA029.pdf> (con acceso 08/03/2017).
9. MEIER-DINKEL, L.; GERTHEISS, J.; MÜLLER, S.; WE-SOLY, R.; MORLEIN, D. 2015. Evaluating the perfor-

- mance of sensory quality control: the case of boar taint. *Meat Sci.* 100:73-84.
10. MRAD, A. 2006. Ética en la investigación con modelos animales experimentales. Alternativas y las 3 RS de Russel. Una responsabilidad y un compromiso ético que nos compete a todos. *Rev. Col. Bioét.* 1(1):163-184.
11. MORALES, J.; GISPERT, M.; HORTOS, M.; PÉREZ, J.; SUÁREZ, P.; PIÑEIRO, C. 2010. Evaluation of production performance and carcass quality characteristics of boars immunised against gonadotropin releasing hormone (GnRH) compared with physically castrated male, entire male and female pigs. *Span. J. Agric. Res.* 8(3):599-606.
12. NATIONAL RESEARCH COUNCIL –NRC-. 2001. "10 nutrient requirement tables." *Nutrient Requirements of Swine: 10th Revised Edition.* Washington, DC: The National Academies Press. Disponible desde Internet en: [http://www.nap.edu/openbook.php?record\\_id=6016&page=111](http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=6016&page=111) (con acceso 10/02/2014).
13. PEINADO, J.; MEDEL, P.; FUENTETAJA, A.; MATEOS, G. 2008. Influence of sex and castration of females on growth performance and carcass and meat quality of heavy pigs destined for the dry-cured industry. *J. Anim. Sci.* 86:1410-1417.
14. QUILES, A. 2009. Castración de lechones: Ventajas e inconvenientes. *Cría y salud porcina.* 24:54-63.
15. STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS –SAS-. 2001. *User's guide (version 9.1)* Cary (USA). Institute SAS/STAT.
16. VAN DEN BROEKE, A.; LEEN, F.; ALUWÉ, M.; AMPE, B.; VAN MEENSEL, J.; MILLET, S. 2016. The effect of GnRH vaccination on performance, carcass, and meat quality and hormonal regulation in boars, barrows, and gilts. *J. Anim. Sci.* 94:2811-2820.

Recibido: Junio 3 de 2014

Aceptado: Mayo 30 de 2017

#### Cómo citar:

Maza Agulo, L.; Simanca Sotelo, J.; Narváez Díaz, O.; Almentero Suárez, C.; Vergara G., Ó. 2017. Edad de castración y su efecto sobre el desempeño productivo de cerdos cruzados en fase de ceba. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(1): 215-219.



---

# ÍNDICE 2016

Volumen 19, números 1-2

## A

absorción atómica 67,69,98,101,171,199,204,354  
absorción de nutrientes 351,353,375,377  
acid hydrolysis 413  
ácidos húmicos 371,372  
acreditación institucional 2,265  
actitudes y práctica en salud 5  
actividad enzimática 48,179,180,182,185,410  
adiponectina 267,268,269,270,271,272  
agar nutritivo 67,69  
aged 277  
agroforestry systems 361  
agro-industrial waste 169  
ambiente protegido 17,18,20,21,22,23  
ambiente urbano 207,208,209,210,211,212  
aminoácidos 155,156,157,158,159,335  
análisis de suelos 55,107,109,110  
análisis digital de imágenes 371  
análisis multivariado 105  
*Anaplasma* 131,132,133,134,135  
anciano 278  
Andes colombianos 139  
Andisoles 55  
Andisols 55,57,58,65  
Anemia 131,132,135,140,299  
área rural de Cartagena 5,7,8,9,11,12  
ARN de doble cadena (ARNdc) 25,26  
ARN de interferencia (ARNi) 25,26,27,28,29,30,31,32  
ARN mensajero (ARNm) 25,26  
arroyo tropical 435  
artesanos de la madera 227,233  
atelectasia 61,162,165,166  
autoexamen de mama 5,6,7,8,9,10,11,12  
azul brillante AB 179,180

## B

*B. theobromae* 343,344,345,346,347,348  
*Babesia* 131,132,133,134,135  
*Bacillus cereus* 405,406,407,409  
*Bacillus* sp. 67,68  
Bacterias endófitas 67,68,69,71,72,73,74  
Bajo Cauca antioqueño 343,344,346,347,348  
*Beauveria bassiana* 37,38,39,40  
belief 295  
Biochar 351,352,353,354,355,356,357  
biological treatment 189

Bioremediation 179  
biorremediación 179,180  
bloques completos al azar 77,78,327,328,345  
Bogotá D.C. 207,214  
*Bos indicus* 132,134,149  
*Bos taurus* 132,134  
bovinos 131,132,133,134,135,136,139,140,141,142,143,144,145,149,150,151,152,153,244,245,382,398  
Boyacá 8,38,87,88,97,101,102,244,308,309,310,313,314,336,435,436  
breast self-examination 5  
°Brix 405,407,408  
*Bromus catarthicus* 310  
*Brycon amazonicus* 123,124,126  
*Burkholderia cepacia* 67,73  
*Burkholderia* sp. 67,68

## C

*C. albicans* 343,344,345,346,347,348  
cacao 328,344,361,362,363,364,365,366,367,368  
cadmio 73,97,98,99,100,101,102,170  
café 105,106,107,108,109,110,111,328,362  
Caldas 45,46,47,139,141,143,144,145,146,156  
calidad nutricional 135  
California 115,116,117,118,119,164,190,281  
cámara germinativa 317,318,319,320,322,323  
cambio de concepciones 477  
cáncer de mama 5,6,7  
*Candida guilliermondii* 413,414,415,416,417  
Capacidad de servicio 219,224,225  
capacidad productiva 219,352,468,471  
caracoles 139,140,142,143,145,146,450  
carbono atmosférico 361,362,367,368  
caribe colombiano 68,131,132,133,134,135,136,149,406  
carotid Intima Media (IMT) 268  
carotid ultra-sonography 268  
carotidea 267,268,269,272,274  
Cartagena 2,5,6,7,8,9,10,11,12,270,286,291,445,446,447,448,449,450,451,452  
casa de vegetação 17,18,21  
casa-malla 317,318,319,320,322,323  
cáscara de naranja 169,170,171,172,173,174,175,176  
*Cebus capucinus* 499,500,501  
celulosa 156,171,172,174,199,200,201,203,204,355,414  
cerdo 381,382,383,384,385,386,387  
cerumen 149,150,151,152  
*Chenopodium album* 310

*Chenopodium quinoa* Willd. 335  
chicheme 405,406,407,408,409,410  
Chromista 45,46  
chronic disease 277  
ciencias de la salud 255,295,298,301,302,507  
*Cinnamomum verum* 405,406  
cítricos 17,31,109,111,361,363,365,366,367,368,504  
citriculture 18  
*Citrus paradisi* 17,18  
*Citrus sinensis* 17,18,19,169,367,368,504  
*Citrus sunki* 17,18  
*Citrus volkameriana* 17,19  
clay soil 351  
*Cleome affinis* 310  
Climaterio 267,269,272,274  
*Clostridium tetani* 499  
*Coffea arabica* L. 105  
Coleoptera 37,38,39  
coliformes 189,190,191,192,195,196,239,240,405,407,40  
9,410,473  
coliformes totales 189,190,191,192,195,196,239,240,405,  
407,409,410  
colorante azul brillante 179  
colorantes trifenilmetánicos 179,183,185,186  
comorbidity 277  
comorbilidad 277,278,279,280,281  
complejidad territorial 455  
componentes de rendimiento 335,337,338,339,340,341  
conejos 115,116,399  
conservantes naturales 405  
constructed wetlands 189  
control de insectos plaga 25,29,30  
control microbiológico 37  
coprología 139,141,142  
copropiedad horizontal 489,490,492,493,495,496  
Cordoba 68,77,78,79,80,81,132,133,149,150,151,152,153,  
228,317,318,320,322,328,405,406,499,501  
Córdoba 68,77,78,79,80,81,83,132,133,149,150,151,152,  
153,228,317,318,320,322,323,328,405,406,499,501  
correlación de Pearson 189,191,192,193,287,290  
correlación genética y fenotípica 123,124,126  
creencias 2,9,295,477,478  
cromatografía líquida 77,79  
cromo 170,467,473,474  
cuantificación voltamétrica 97  
cuero 180,467,468,469,471,472,474  
cuerpos naturales de agua 169  
cuesco palma de aceite 351  
cultivar Morita II 77  
curtiembres 467,468,469,470,471,472,473,474  
*Cyperus* 67,72,73  
*Cyperus laxus* 69,71,72  
*Cyperus luzulae* 67, 69,72

## D

demanda bioquímica de oxígeno 189,190,191,239  
demanda química de oxígeno 189,190  
demonios 295,296,297  
desalinización de agua 199,200,201,202,204,205  
desalinization 199  
diffuse reflectance 55,56  
diseño completamente aleatorizado 87  
diseños en madera 227  
doble propósito 149,150  
double-stranded RNA (dsRNA) 25  
drugs 381

## E

earthworm-filters 189  
ecografía carotídea 267  
ecosistemas acuáticos 179  
ecotopo 220A 105,106,107,108,109,111  
educación inclusiva 1,2  
edulcorante 78,81,82,413,414  
efecto auxin-like 371,372,377  
efluentes coloreados 179,180  
efluentes domésticos 189  
*Eichhornia crassipes* 189,190  
*Eisenia foetida* 189,190  
El Cerrito 467,468,469,471,472,473,474  
electrochemistry 97  
electrodo de carbono vítreo 97  
Electroquímica 97,100  
*Eleodes longicollis punctigerus* Blaisdell 37,38,41  
ELISA 139,141,142,143,144,145,146,269,381,382,383,38  
4,385,386,387  
enfermedad crónica 277,278,285,286,287,292  
enfermedad hepática 155,156,158  
enzymatic activity 48,180,182,185,410  
equinos 139,243,245  
*Escherichia coli* 31,189,239,407  
especies silvestres 45,422,429  
estevia 77,78,79,80,81,82,83  
esteviol 77,78,82  
esteviósido (Stv) 77,78,81  
estrés salino 87,88,93  
estructura ecológica 207,208,209,212,214,215,455,456,  
462  
estructura trófica 435  
etanólicos 343,344,346,348  
ethnomathematics 227  
etnográfico 227228,490  
expansión urbana 455,456,457,460,461,462,465  
extractos etanólicos de propóleos 345,346

---

## F

*F. oxysporum* 343,344,345,346,347,348  
fabricación masiva 219,220,221,223  
False wire-worm 37,38,39,41,42  
Falso gusano alambre 37  
fármacos 165,381,385,386  
*Fasciola hepatica* 139  
fasciolosis 139,140,141,142,143,144,145  
fasciolosis bovina 141,143,145  
fauna silvestre 400,421,422,423,425,430,499,501  
*Felis silvestris catus* 243,244  
FEPAGRO C13 17,18,19,21,22  
fermentación líquida 413  
fitoparásitos 45  
flux 199,201,202,203,204  
forestales nativos 317  
free-ride 445,446,447,450,451,452  
fríjol 87,88,90,91,92,93,223  
fundación Hospital San Carlos 277,279,281  
fungi 37,38,39,41,42,45,46,48,51,179,180,181,183,343

## G

gases de efecto invernadero 354,361  
gasometría 161,164  
gato doméstico 243,244  
gene silencing 25  
genetic and phenotypic correlation 123  
geriatria 277,279,281  
germinação 17,18,19,20,21,22,23  
germinación diaria media 317,318,319,320,323  
germination 18,38,317  
glassy carbon electrode 97  
glucósidos 77,78,79,80,81,82,83,314  
glucósidos de diterpeno 77  
glucósidos principales (GP) 77,79  
granja Montelindo 45,46,47  
greenhouse 18,87,307,317,323,361  
greenhouse gases 361  
Gyr 149,150,151,152,153

## H

health sciences 295  
*Helycopsyche* sp. 435  
hematozoarios 131,132,133,134,135,136  
hepatitis crónica 155,158  
heterosis 115,116,117,118,119,120,134  
hidrólisis ácida 413,414  
hígado 140,141,156,170,381,382,383,384,385,386  
hombres lobos 295,296,300  
hongo levaduriforme 343,345,347,348  
hongos 26,27,37,45,179,180,181,182,183,185,186,331,

340,343,344,345,347,348,372,409,424  
hongos de la podredumbre blanca 179,180  
hongos filamentosos 343,344,345,347,348  
humedal 189,193,195,210,212,215,237,460  
humedales construidos 189,237

## I

ideas lakatosianas 478  
ideas positivistas 478  
ideas transicionales 478,486  
ImageJ 371,373,378  
*in vitro* 30,67,69,72,159,343,345,348  
índice de velocidad de germinación 317,318,319,320  
Indubrasil 149  
industria textil 179  
infecciones zoonóticas 391,399  
inmunoglobulina G(IgG) 139  
Íntima Media Carotidea (IMT) 267,268,272  
lavado de vehículos 445,447  
leguminosa 87,307,310  
leguminous 87  
levaduras 344,345,348,391,392,393,394,395,397,398,399,  
400,405,407,409,410,414  
lignocellulosic waste 413  
limneidos 139  
lipid profile 267,268  
liquid fermentation 413  
lombri filtro 189

## M

macroinvertebrados acuáticos 435,436,437,439,442  
macroinvertebrados 436  
magia 295,296,301  
magic 295  
magnetita 199,200,203  
magnetite 199  
*Malassezia* 391,392,393,394,395,396,397,398,399,400,  
401  
malnutrición calórico-proteica 155  
mamografía 5,6  
manejo Ambiental 207,208,209,212,214,215,474  
materia orgánica 55,68,69,70,102,111,150,189,190,191,  
192,193,194,196,337,352,355,362,372,436,468,473  
Matlab 345,371,373  
máxima verosimilitud restringida 123,125  
menopause 267,268  
menopaúsicas 267,268,269,270,271,272  
mercurio 67,68,69,70,71,72,73,74,170  
messenger RNA (mRNA) 25  
metales pesados 67,72,73,97,98,102,169,170,239,240  
*Metarhizium anisopliae* 37  
microaerobic 413

microarobiosis 413,415,416,417,418  
micro-biologic control 37  
mid-infrared spectroscopy 55  
Mina Santa Cruz 67,68,69,70,72  
minería 67,68,70,102,436  
modelación territorial 455,463  
modelo de desarrollo local sostenible 456,463,464  
modelo de programación lineal 219  
modelos alométricos 361,364  
modelos predictivos 55  
morfoagronómica 335,336  
morfo-fisiología 123  
morfología de frutos e semillas 17  
músculo 156,268,272,381,382,383,384,385,386  
mycosis 391  
*Mycosphaerella fijiensis* Morelet 327,328,330,331,332

## N

nanoaditivos magnéticos 199  
nanomateriales 199,204  
nanomaterials 199  
Nariño 105,106,107,109,111,286,308,335,336,337,338,339  
nematodos 37,38,39,40,41,45,149  
neoplasia 5,6,300,393  
nitrógeno total fosfatos 189  
núcleos de educación social 489,490  
Nueva Zelanda 115,116,117,118,119,268

## O

OMS 5,6,209,278,279,286,327,382,501  
*Oryctolagus cuniculus* 115  
ósmosis directa 199,200,201,202,203,204,205  
otitis clínicas 149  
otitis parasitaria 149,150,151,152,153  
otorrea 149,150,151,152  
Oxisoles 55,352,356  
Oxisols 55,57,58,65

## P

*Paecilomyces* sp. 37  
palm kernel shell 351  
palma de aceite 351,355,413,414  
Palmira 46,77,78,79,80,81,82,83,345  
papa 48,73,97,98,99,100,101,102,310,336  
papa fresca 97,101,102  
parasitemia 131,133  
parcelas divididas 45,47  
Parque Metropolitano Simón Bolívar 207,208,209,211,213,215  
parques metropolitanos 207,214

*Paspalum* 67,68,72,73  
*Paspalum arundinaceum* 67,72  
PCR 135,139,141,142,143,144,145,269,270,394,396,397,398,399  
pedometría 55  
pedometrics 55  
perfil lipídico 267,269,270,272  
perimenopaúsicas 267,270,271  
perros 162,163,165,243,301,302,392,394,396,397,398,399  
pest control 25,26,105,259  
*Phaseolus vulgaris* L. cv Ica Cerinza 87,90,91,92  
*Phytophthora infestans* 45,46  
Pirolisis 351,352,353,354,355  
plant uptake 351  
plátano cv Hartón 327  
*Pleurotus ostreatus* 179,180,182  
*Pleurotus pulmonarius* 179,182  
plomo 73,97,98,99,100,101,102,169,170,171,172,174  
*Poa annua* 310,318  
*Polygonum segetum* 307,308,310  
*Poncirus trifoliata* 17,18  
Pontificia Universidad Javeriana 237,413  
porcentaje de germinación 317,318,319,320  
porcinos 139,382  
porta-enxertos 17,18,19,20,21,22,23  
postmenopaúsicas 267,269,270,271,272  
precipitación química 169,170  
predictive models 55  
procedimiento VARCOMP 123,125  
procesamiento digital 371,373,378  
proceso de expansión urbana 455,456,462  
producción cunicola 115  
propagation system 18  
propóleos 343,344,345,346,347,348,406  
psicotróficos 409  
pyrolysis 351

## Q

quinua 335,336,337,338,339,340,341

## R

Rabia 243,244,245,295,296,301,302  
radiación difusa 77  
radiación directa 77  
raza Azul de Viena 115,117,119  
raza California 115,118,119  
raza Nueva Zelanda 115,118  
razas de conejos 115,117  
rebaudioside A 77,78  
rebaudiosido A (RebA) 77,78,80,81,82,83  
rebaudiosido A (RebA) 77,78,80,81,82,83

recursos fitogenéticos 45  
reflectancia difusa 55  
regiones de Colombia 77,78,285,286,291  
regiones subtropicales 87  
regiones tropicales 87,131,132,308  
relaciones socioambientales 455,458,461  
reofilico 123,124  
residuos agroindustriales 169,175,414,415  
residuos antimicrobianos 381,382,387  
residuos ligninocelulósicos 413  
restaurantes 219,220,221,222,223,224  
restricted maximum likelihood 123  
*Rhabditis bovis* 149  
*Rhabditis* sp. 149,150,151,153  
Rheophilous 123  
riñón 381,382,383,384,385,386  
ríos de cabecera 435  
*Rumex acetosella* 309,310  
rumiantes 139,140  
rural environment 5

## S

salinización 87,88,199,200,201,202,204,205  
salud de la mujer 5  
San Juan del Cesar 189,190  
scientific theories 477  
*Senecio vulgaris* 310  
sigatoka negra 327,328,329,330,331  
silenciamiento génico 25,26,27,31,32  
*Simulium* sp. 435,439,440  
Sistema de propagação 17  
sistemas agroforestales 361,362,367  
sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias 237  
social and environmental relations 455  
soil analysis 55  
soil properties 55,56,60  
solanácea 45,46  
sólidos suspendidos totales 189,190,191,194  
sólidos totales 189,191,193,194,473,474  
spatial variability 55,56,57,65  
*Staphylococcus aureus* 405,407,409  
*Stevia rebaudiana* Bert. 77,79,80,81,83  
stevioside 77,78  
subtropical regions 87  
suelos arcillosos 351  
suelos contaminados 67,68,71  
Sunki 17,18,19,20,21,22,23  
sustancias húmicas 371,372,377  
sweetener 413  
Swingle 17,18,19,20,21,22,23  
*Syzygium aromaticum* 405,406

## T

técnica de clustering 219  
tempo de germinação 17,18  
Tenebrionidae 37,38,41  
teorías científicas 477,478,484,486  
territorial complexity 455  
territorial modeling 455  
tétano 499,500,501  
*Thraulodes* sp. 435,439,440  
tizón tardío 45,46,47,48,49,50,51,52  
Tolima 78,162,361,362,363,364,365,366,367,368  
tomate 31,45,46,47,49,50,52,73,97,344  
tomate silvestre 45,46  
*Trametes versicolor* 179,180,182  
transcriptoma 25  
transmission 391  
tratamiento biológico 189  
*Trifolium repens* 310  
triphenylmethane dyes 179  
trophic structure 436  
tropical regions 87  
Troyer 17,19,20,21,23  
*Trypanosoma* 131,132,134,424  
tubérculos 47,97,102  
Tunja 8,38,88,97,98,100,101,102,309  
turbidez 189,191,193,194

## U

Universidad de Caldas 32,45,46,47,141,156

## V

Valle del Cauca 77,78,79,80,228,243,244,245,267,268,  
269,472,473  
valor de germinación 317,318,320,323  
vampiros 244,295,296,298,299  
variabilidad espacial 55  
ventilación manual 161,164  
viabilidade das sementes 17,18,21  
Villa Pinzón 307,309,310,311,312,314  
Volkameriano 17,19,20,21,22,23  
voltametría de onda cuadrada (VOC) 97,98,99

## W

women´s health 5  
wood designs 227

---

**X**

xilitol 413,414,415,416,417,418

**Y**

yamú 123,124,126,127,128

Yumbo 243,244,245

**Z**

zanahoria 223,307,308,309,310,311,312

*Zea mays* 169,351,376,378

zombis 295,301,302

zoonosis 139,245,391,393

---

El Consejo Editorial y el Comité Científico desean expresar sus agradecimientos a todas las personas que colaboraron en la evaluación de los artículos publicados en este fascículo. Nuestra gratitud a su invaluable colaboración.

En reconocimiento publicamos a continuación sus nombres:

- Ph.D. Jorge Agudelo Trujillo, U. de Antioquia, Medellín, Antioquia  
Ph.D. Edgar Álvaro Avila Pedraza, U. del Tolima, Ibagué, Colombia  
Ph.D. Alfredo Adolfo Ayala Aponte, U. del Valle, Cali, Valle  
Ph.D. Francisco Bautista Zúñiga, UNAM, México  
M.Sc. Yesenia Campo Vera, Instituto Superior de Educación Rural – ISER, Pamplona, Norte Santander  
Ph.D. Carlos Iván Cardozo Conde, U.N. de Colombia, Sede Palmira, Valle  
M.Sc. Sedolfo Carrasquero Ferrer, U. del Zulia, Venezuela  
Ph.D. Paula Andrea Ceballos Vásquez, U. Católica del Maule, Talca, Chile  
Ph.D. Eugenio Cejudo García, U. de Granada, Granada, España  
Ph.D. Enrique Miguel Combatt Caballero, U. de Córdoba, Montería, Córdoba  
Ph.D. Iracema Maria Castro Coimbra Cordeiro, Fazenda Agroecológica São Roque, Belém-Pará, Brasil  
Ph.D. Pablo Emilio Cruz Casallas, U. de los Llanos, Villavicencio, Meta  
Ph.D. Caridad Curbelo Hernández, U. Politécnica de la Habana “José Antonio Echeverría”, La Habana, Cuba  
M.Sc. Sandra Patricia Chaparro Acuña, UPTC, Tunja, Boyacá  
Ph.D. Altamira Díaz Montiel, U. del Zulia, Venezuela  
M.Sc. Cristian Enrique Granados Martínez, U. de la Guajira, Riohacha, Guajira  
Ph.D. Andrea Mahn Osses, U. de Santiago de Chile, Santiago, Chile  
M.Sc. Germán Eduardo Matíz Melo, U.N. de Colombia, Sede Bogotá  
M.Sc. Eilyn Mena Méndez, Inst. de Investigaciones Biológicas Clemente Estable, Montevideo, Uruguay  
Ph.D. Franklin J. Méndez Méndez, UNAM, México  
Ph.D. Marlon Javier Méndez Sastoque, U. de Caldas, Manizales, Caldas  
Ph.D. Conceição Nogueira Veloso, Instituto Polit. Leiria, Portugal  
Ph.D. Luis Eduardo Ordoñez Santos, U.N. de Colombia, Sede Palmira, Valle  
M.Sc. Juan Manuel Ospina Díaz, UPTC, Tunja, Boyacá  
Ph.D. César Raimundo Padilla Corrales, Instituto de Ciencia Animal, ICA, Cuba  
Ph.D. Paula J. Pérez Espitia, U. del Atlántico, km 7 Antigua vía Puerto Colombia, Atlántico  
M.Sc. Santiago Ramos Bermúdez, U. de Caldas, Manizales, Caldas  
M.Sc. Gladys Reinoso Flórez, U. del Tolima, Ibagué, Tolima  
Ph.D. Luis Emilio Ricci, Clínica Privada del Carmen, Hospital Zona General de Aguados  
“Virgen del Carmen Zárate”, Buenos Aires, Argentina  
Ph.D. Aline Rodrigues Barbosa, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil  
Ph.D. Gladys Rolo González, U. de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife, Islas Canarias, España  
Ph.D. Carlos Eduardo Sarmiento Monroy, U.N. de Colombia, Sede Bogotá.  
Ph.D. Odalys Caridad Toral Pérez, Estación Exp. De Pastos y Forrajes, Indio Hatuey, Cuba



---

# NORMAS PARA LA ELABORACIÓN DE ARTÍCULOS E INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

**MISIÓN:** La Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica tiene como propósito fomentar y difundir el conocimiento científico, a través de la publicación de resultados de las investigaciones llevadas a cabo por los docentes-investigadores de las diversas facultades de la Universidad y de los hallazgos proporcionados por otros investigadores de instituciones nacionales o internacionales e informar a la sociedad en general, sobre la gestión institucional en la docencia, la investigación, la proyección social, el bienestar social universitario y los aspectos administrativos. Es una revista de orden multidisciplinario, lo que le permite abarcar temáticas concernientes con Ciencias de la Salud, Ciencias del Sector Agropecuario, incluyendo Ciencias y Tecnología de Alimentos, Ciencias Biológicas, Ciencias Sociales Aplicadas, Ingenierías, Ciencias Exactas y de la Tierra y Ciencias Humanas. Participa de la iniciativa open access (acceso abierto), que busca suprimir las barreras de acceso a la literatura científica, facilitando su disponibilidad gratuita, por medio de la red Internet.

**PÚBLICO OBJETIVO:** Está dirigida, principalmente, a docentes, investigadores y profesionales en las diferentes áreas del conocimiento. Publica dos fascículos anuales, cuyo contenido comprende artículos científicos, artículos técnicos o de revisión y artículos de reflexión, evaluados por árbitros especialistas, tanto internos como externos a la Universidad y del ámbito nacional e internacional.

Para la publicación, se aceptan los siguientes tipos de artículos, en idiomas español e inglés:

1. **Artículos científicos y de desarrollo tecnológico:** Inéditos, basados en resultados originales, derivados de proyectos científicos o de desarrollo tecnológico finalizados.
2. **Artículos técnicos o de actualización o de revisión:** Estudios realizados para proporcionar una perspectiva general del estado de un tema específico de la ciencia y de la tecnología, de su evolución a través del tiempo y donde se señalan las perspectivas futuras. Los autores demostrarán autoría, conocimiento y dominio del tema, discutiendo los hallazgos de los autores citados, conjuntamente con los propios. Este artículo, se caracteriza por tener por lo menos 50 referencias bibliográficas; por fascículo, se publican máximo tres artículos de esta tipología.
3. **Artículos de reflexiones originales sobre un problema o tópico particular:** Documentos inéditos, que reflejan

los resultados de los estudios y el análisis sobre un problema teórico o práctico y que recurren a fuentes originales.

4. **Reporte de caso:** Texto que describe un caso específico, no reportado, de una situación particular encontrada en el quehacer profesional del autor. Incluye una breve introducción, en la que se indica el dónde, cómo y cuándo de la presentación del caso; el resultado, que corresponde a la descripción clara de la situación y una revisión de literatura comentada sobre casos análogos. Los reportes de caso pueden hacer referencia a: efectos adversos de medicamentos y de insumos agrícolas; ocurrencia no esperada de enfermedades o plagas; asociación imprevista entre síntomas y enfermedades; presentación, diagnóstico o manejo de problemas sanitarios nuevos o emergentes; eventos no esperados en tratamientos de animales o controles de plagas, entre otros.
5. **Nota Técnica:** corresponde a un reporte de un método, de una técnica o de un procedimiento nuevo, comparado con las técnicas previamente empleadas en investigaciones y mostrando resultados de estas evaluaciones, estadísticamente analizados. Incluye la discusión de las ventajas o las desventajas de la nueva tecnología.

Por fascículo, se reciben máximo dos artículos tipo 4 y 5. Los procesos de revisión, tanto para el Reporte de Caso como para la Nota Técnica serán los mismos que para los otros tres tipos de artículos, que acepta la revista.

Los manuscritos, elaborados en tercera persona, deben ser entregados al Editor de la Revista (Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, Calle 222 No. 55-37, Bogotá, D.C., rev.udca@udca.edu.co), en físico, en original y copia y en medio magnético; letra Arial 12, espacio entre caracteres normal, indicando el procesador de texto y fuente. Se exige tamaño carta, doble espacio entre líneas y entre párrafos, exceptuando Resumen, Summary y Bibliografía; márgenes 4x3x3x3cm (izquierda, derecha, arriba, abajo, respectivamente); la sangría y el espaciado -en Diseño de página, sección párrafo-, todos con valor cero (0). Los Reportes de Caso y la Nota Técnica no presentarán ni Resumen ni Summary, pero sí los demás capítulos; el número de páginas permitido es de máximo 12, con dos ilustraciones únicamente. Los escritos correspondientes a los tipos 1, 2 y 3 no deben exceder de 25 páginas, incluyendo bibliografía, tablas, figuras e imágenes. Se recomienda no exceder de 30 las referencias bibliográficas actualizadas en los artículos tipo 1 y 3. Para

---

artículos técnicos o de revisión, se aceptan, excepcionalmente, hasta 30 páginas. El número máximo del conjunto de ilustraciones (tablas, cuadros, figuras, gráficas, imágenes), para los manuscritos de tipología 1, 2 y 3 es de seis; cada una se coloca en página aparte, al final del texto, después de la Bibliografía.

La estructura del manuscrito debe seguir los pasos del método científico, es decir, la organización en: **TÍTULO PRINCIPAL**-. En mayúsculas, conciso y sin abreviaturas, sin exceder los 140 caracteres, incluyendo espacios, signos de puntuación y nombres científicos; además, se debe colocar el título en idioma inglés; los autores deben sugerir un **TÍTULO BREVE**, de máximo 40 caracteres, incluyendo los espacios, que será incluido en las páginas impares de la revista, junto con el apellido del (los) autor (es); **Autores**-. Se indica el nombre y apellido(s), en orden de contribución al artículo, indicando el título académico y una única filiación institucional, la dirección de correspondencia completa, que comprenda la ciudad, el departamento y el país y la dirección electrónica institucional, preferiblemente; estos datos, se ubican debajo de los títulos (español e inglés); **RESUMEN**-. Un máximo de 250 palabras, en un sólo párrafo, a espacio sencillo; debe ser claro y conciso, despertar el interés del lector y dar información sobre el problema, la justificación del estudio, los objetivos, la metodología y los resultados obtenidos; **PALABRAS CLAVE**-. Máximo cinco y se recomienda utilizar palabras clave normalizadas, incluidas en descriptores, reseñadas en, por ejemplo, [www.nlm.nih.gov/mesh/](http://www.nlm.nih.gov/mesh/), [www.decs.bvs.br](http://www.decs.bvs.br), CAB Thesaurus, lo que permitirá mayor visibilidad del artículo y, al final de ellas, indicar de qué Thesaurus fueron seleccionadas; **SUMMARY**-. Traducción del resumen en idioma inglés. **KEY WORDS**-. Traducción de las palabras clave al idioma inglés.

El texto contiene, fundamentalmente, los siguientes capítulos: **INTRODUCCIÓN**, que comprende la revisión de literatura pertinente; **MATERIALES Y MÉTODOS**, **RESULTADOS Y DISCUSIÓN** y, finalmente, **BIBLIOGRAFÍA**. Las conclusiones y, si se justifica recomendaciones, se incluyen bajo resultados y discusión. Si se decide dar **Agradecimientos**, se colocan antes de la bibliografía. Los autores deben incluir, además: Conflictos de intereses (subtítulo), por ejemplo: “El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados” y Financiación (subtítulo), es decir, destacar la fuente, como por ejemplo: “Este estudio

fue financiado por Colciencias y la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A)”.

Las citas bibliográficas en el texto deben contener los apellidos del autor y entre paréntesis al año de publicación; cuando los autores son más de dos, se utiliza la expresión en latín *et al.* en cursiva. Si la cita se coloca al final de una frase, tanto el autor como el año de publicación, van entre paréntesis. La **BIBLIOGRAFÍA** citada, se coloca en orden alfabético y numerado, evitando numeración automática; la segunda línea de cada referencia se inicia a 1,5cm. **Nota**: Los resúmenes de congresos y comunicaciones personales que reposan en archivos de oficinas, así como los trabajos de grado, de tesis y de disertaciones doctorales no se aceptan como referencias. Las referencias de un artículo publicado en una revista deben contener: autor(es) en mayúscula, año de publicación, título del artículo, nombre de la revista, país de origen de la revista, siempre y cuando no se incluya en el título. Volumen, número y páginas (p.). Ejemplo: CABEZAS, M. 1998. Papel de calcio en la relación fuente demanda de asimilados en la respuesta de las plantas al stress. Rev. (U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia). 1(1):38-48. La referencia de un libro debe contener: Autor(es) en mayúscula, año de publicación. Título, Editorial. Lugar de impresión. Páginas. Ejemplo: MARGALEFF, R. 1988. Ecología. Ed. Omega (España). 951p. Al citar autores que participaron con un capítulo en un libro, se procede de la siguiente manera: Autor(es) del capítulo. Año de publicación. Título del capítulo. Editores del Libro. Título del libro. Editorial. Lugar de impresión. Páginas del capítulo. Ejemplo: ARÉVALO, J. 1999. Organoclorados en la agricultura. En: Posada, J.G.; Bermúdez, F.G. (eds). Actualidad y futuro de los pesticidas de uso agrícola. Ed. McGraw Hill (New York). p.28-53. Para citas de recursos electrónicos (revistas), se debe consultar: ISO.1998. International Standard ISO 690-2. Information and Documentation – Bibliographic References – Part 2: Electronic documents or parts thereof. International Organization for Standardization. Ottawa. Canada. Disponible desde Internet en: <http://www.nlc-bnc.ca/iso/tc46sc9/standard/690-2e.htm> [con acceso el 01/01/1999]. En general, se sigue la norma de citación de un artículo tomado de una revista seriada, seguido de: Disponible desde Internet en: [Los artículos que cumplen estas condiciones, se someten a la evaluación, tanto del Comité Editorial de la Revista como de referís externos, anónimos, nacionales e internacionales, especialistas en el tópico tratado.](http://(con acceso fecha exacta consulta)</a>.</p></div><div data-bbox=)

---

# NORMAS PARA A ELABORAÇÃO DE ARTIGOS E INSTRUÇÕES PARA OS AUTORES

**MISIÓN:** A Revista U.D.C.A Atualidade & Divulgação Científica tem como objetivo principal divulgar o conhecimento científico, através da publicação de resultados das pesquisas desenvolvidas por professores- pesquisadores dos diferentes departamentos da universidade de pesquisadores de outros organismos nacionais e internacionais, bem como a de atualizar à comunidade universitária e em general à sociedade, sobre a gestão institucional na docência, a investigação, a extensão, bem-estar social universitário e aspectos administrativos. É uma revista de ordem multidisciplinar, o que lhe permite publicar temáticas relacionadas com o setor saúde, o setor agropecuário, o setor social-humanístico, o setor econômico e todos os estudos básicos afins. Participa da iniciativa open access (acesso aberto), que procura suprimir as barreiras de acesso à literatura científica, facilitando sua disponibilidade gratuita através da rede Internet.

**PÚBLICO OBJETIVO:** Está dirigida, principalmente, a professores, pesquisadores e profissionais, nas diferentes áreas do conhecimento. Publica dois volumes anuais, cujo conteúdo compreende artigos técnicos ou de revisão, artigos de reflexão e artigos científicos, avaliados por especialistas, tanto internos como externos à Universidade e do âmbito nacional e internacional.

Para a publicação, aceitam-se os seguintes tipos de artigos:

1. **Artigos científicos e de desenvolvimento tecnológico:** inéditos, baseados em resultados originais derivados de projetos científicos e/ou desenvolvimento tecnológico concluídos.
2. **Artigos técnicos ou de atualização ou de revisão:** estudos realizados para proporcionar uma perspectiva geral do estado de um tema específico da ciência e da tecnologia, da sua evolução através do tempo e onde se assinalam as perspectivas futuras. Os autores demonstrarão autoria, conhecimento e domínio do tema, discutindo os descobrimentos dos autores citados, conjuntamente com os próprios. Este artigo, caracteriza-se por ter pelo menos 50 referências bibliográficas. Por fascículo, publicam-se máximo três artigos deste tipo.
3. **Artigos de reflexões originais sobre um problema ou tópico particular:** documentos inéditos que refletem os resultados dos estudos e a análise sobre um problematécnico ou prático e que recorrem a fontes originais.
4. **Reporte:** texto que descreve um caso específico, não reportado, de uma situação particular encontrada no dia a dia profissional do autor. Inclui uma breve introdução, na que se indica aonde, como e quando se apresentou o caso, o resultado, que corresponde à descrição clara da situação, junto com uma revisão de literatura comentada sobre casos idênticos. Podem fazer referência a: efeitos adversos de medicamentos e de insumos agrícolas, ocorrência não esperada de doenças ou pragas, associação imprevista entre sintomas e doenças, apresentação, diagnóstico e/ou manejo de problemas sanitários novos ou emergentes, episódios não esperados em tratamentos de animais ou controles de pragas, entre outros.
5. **Nota Técnica:** corresponde a um reporte de um método, de uma técnica ou de um procedimento novo, comparado com as técnicas previamente empregadas em pesquisas, e mostrando resultados destas avaliações, estatisticamente analisados. Inclui a discussão das vantagens ou desvantagens da nova tecnologia.

Por fascículo se recebem máximo dois artigos tipo 4 e 5. Os procedimentos de revisão, tanto para o Reporte como para a Nota Técnica serão os mesmos que para os outros três tipos de artigos que recebe a revista.

Os manuscritos elaborados na terceira pessoa devem ser entregados em físico, em original e cópia e em meio digital; letra Arial 12, espaço entre caracteres normal, indicando o processador de texto e fonte à Editor da Revista (Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, Calle 222 No. 55-37, Bogotá, D.C., rev.udca@udca.edu.co). Exige-se tamanho carta, espaço duplo, excetuado Resumo, Summary e Bibliografia; margens 4x3x3x3cm (esquerda, direita, acima, abaixo, respectivamente); a sangria e o espaçamento (em Desenho de página, seção parágrafo, todos com valor zero) (0). Reportes não apresentarão nem resumo nem summary, mas sim os demais capítulos; o número de páginas permitido é de máximo 12 com máximo duas ilustrações, tanto para um Reporte como para a Nota Técnica, que sim contém todos os capítulos de um artigo. O escrito, tipo 1, 2 y 3, não deve exceder de 25 páginas, incluindo bibliografia, tabelas, figuras e imagens. Para artigos técnicos ou de revisão, aceitam-se, excepcionalmente, até 30 páginas. O número máximo do conjunto de tabelas, de figuras e de imagens para artigos tipo 1, 2 y 3 é de seis.

---

A estrutura do texto deve seguir os passos do método científico, isto é, a organização em **TÍTULO PRINCIPAL**: em maiúsculas, preciso e sem abreviaturas, sem exceder os 140 caracteres, incluindo espaços, sinais de pontuação e nomes científicos; ademais, deve-se colocar o título em idioma inglês. Os autores devem sugerir um **TÍTULO BREVE**, de máximo 40 caracteres, incluindo os espaços, que será incluso nas páginas ímpares da revista, junto com o sobrenome do (os) autor (é). **AUTORES**: indica-se o nome e somente o primeiro sobrenome, em ordem de contribuição ao artigo, indicando o título acadêmico e uma só instituição à qual pertencem, a direção de correspondência completa, que compreenda a cidade, o estado ou departamento e o país, e a direção eletrônica institucional, preferivelmente. Estes dados, localizam-se embaixo dos títulos (espanhol e inglês). **RESUMO**: um máximo de 250 palavras, num só parágrafo, a espaço simples; deve ser claro e preciso, lembrar o interesse do leitor e dar informação sobre a justificativa, os objetivos, a metodologia e os resultados obtidos.

**PALAVRAS CHAVES**: máximo cinco. Recomenda-se utilizar palavras chaves normatizadas, incluídas em descritores, descritas em, por exemplo, [www.nlm.nih.gov/mesh/](http://www.nlm.nih.gov/mesh/), [www.decs.bvs.br](http://www.decs.bvs.br), CAB Thesaurus; isto, permitirá maior visibilidade do artigo e ao final delas, indicar de que Thesaurus foram selecionadas. **SUMMARY**: Tradução do resumo em idioma inglês. **KEY WORDS**: Tradução das palavras chaves ao idioma inglês

O texto contém, fundamentalmente, os seguintes capítulos: **INTRODUÇÃO**, que compreende a revisão de literatura relacionada, **MATERIAIS E MÉTODOS**, **RESULTADOS E DISCUSSÃO** e, finalmente, **BIBLIOGRAFIA**. As conclusões e, se justifica, recomendações, incluem-se sob resultados e discussão. Se se decide dar **AGRADECIMENTOS**, colocam-se antes da bibliografia. Os autores devem incluir ademais: Conflitos de interesses (subtítulo), por exemplo: “O manuscrito foi preparado e revisado com a participação de todos os autores, quem declaramos que não existe nenhum conflito de interesses que ponha em risco a validade dos resultados apresentados” e Financiamento (subtítulo), isto é, destacar a fonte, como por exemplo: “Este estudo foi financiado por Colciencias e a Universidade de Ciências Aplicadas e Ambientais U.D.C.A.”

As citações bibliográficas no texto devem conter os sobrenomes do autor e entre parêntese o ano de publicação; quando os autores são mais de dois, utiliza-se a expressão em latim et al. Se a citação se coloca ao final de uma frase, tanto o autor como o ano de publicação, vão entre parêntese. A **BIBLIOGRAFIA** citada se coloca em ordem alfabética e numerada. **Nota**: os resumos de congressos e comunicações pessoais que descansam em arquivos de escritórios, bem como os trabalhos de graduação e de tese, não se aceitam como referências.. As referências de um artigo publicado numa revista devem conter: Autor (es) em maiúscula, ano de publicação, título do artigo, nome da revista, país de origem da revista, desde que não esteja incluso no título. Volume, número e páginas (p.). Exemplo: CABEZAS G., M. 1998. Papel do cálcio na relação fonte demanda de assimilados na resposta das plantas ao stress. Revista U.D.C.A Atualidade & Divulgação Científica (Colômbia) 1(1):38-48. A referência de um livro deve incluir: Autor (es) em maiúscula, ano de publicação. Título, Editorial. Lugar de impressão. Páginas. Exemplo: MARGALEFF, R. 1988. Ecologia. Edit. Omega (Espanha). 951p. Se citam autores que participaram com um capítulo num livro, procede-se da seguinte maneira: Autor(es) do capítulo. Ano de publicação. Título do capítulo. Editores do Livro. Título do livro. Editorial. Lugar de impressão. Páginas do capítulo. Exemplo: ARÉVALO, J. 1999. Organoclorados na agricultura. Em: Posado J. G.; Bermúdez, F.G. eds. Atualidade e futuro dos pesticidas de uso agrícola. Edit. McGraw Hill (New York). p.28-53. Para citações de recursos eletrônicos (revistas), deve-se conferir: ISO.1998. International Standard ISO 690-2. Information and Documentation – Bibliographic References – Part 2: Electronic documents or parts thereof. International Organization for Standardization. Ottawa. Canada. Disponível desde Internet em <http://www.nlc-bnc.ca/iso/tc46sc9/standard/690-2e.htm> [com acesso 01/01/1999] ou <http://www.entomologia.rediris.é/ aracnet/num1/estilo.htm>. Em general se segue a norma de citação de um artigo tomado de uma revista seriada, seguido de: Disponível desde Internet em <http://> (com acesso data exata consulta).

Os artigos que cumprem estas condições, submetem-se à avaliação, tanto do Comitê Editorial da Revista como de árbitros externos, anônimos, especialistas no tópico tratado.

---

---

# GUIDELINES FOR MANUSCRIPT PREPARATION AND INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

**MISSION:** The main purpose of the U.D.C.A Actuality & Divulcation Journal is to promote scientific knowledge through the publication of research results, achieved by the academic personnel of the diverse faculties of the University as well as the discoveries made by researchers of other national and international institutions, and to inform the society about institutional education management, research, social impact, the university well-being and its administrative aspects. This is a multi-disciplinary journal that allows the inclusion of topics related mainly to the health sciences, agropecuarian sciences, including food technologies, biological sciences, the social-humanistic sector and economics. This is an open-access initiative, seeking to abolish the access barriers to scientific literature, permitting its free availability through Internet.

**TARGET PUBLIC:** It is geared towards professors, researchers and professionals in the diverse areas of knowledge. It is published twice a year; containing technical or review papers, original papers of reflection and scientific papers, which are peer-reviewed by external, national or foreign referees, specialist in the treated topic.

The journal accepts for publication three types of manuscripts:

1. **Scientific and technological developmental papers:** unpublished, based on original results derived from scientific projects and/or finished research regarding a technological development.
2. **Technical, actualization or review papers:** studies undertaken to provide a general perspective of a specific topic in science or technology, its evolution through time, pointing out the future perspectives. Authors will demonstrate authority, knowledge and dominion of the topic, discussing the findings of the cited authors, together with proper results. This paper is characterized by containing at least 50 bibliographical references. Per issue a maximum of three review papers are published.
3. **Reflection about a problem or particular topic:** unpublished documents which reflect results of studies and the analysis of a theoretical or practical problem and relay on original sources.
4. **Case report:** text that describes a specific, non-reported case, of a particular situation found during the professional work of the author. It includes a brief

introduction, presenting the situation; the result corresponds to a clear description of the situation, together with an annotated literature review of analogous cases. Case reports can make reference to the adverse effects of drugs, agrochemicals, unexpected occurrence of diseases or pests, unforeseeable association between symptoms and diseases, presentation, diagnosis and/or management of new or emergent phytosanitary problems, and unexpected events in animal treatments, or pest control, among others.

5. **Technical Note:** it is a report of a method, a technique, or a new procedure, that is compared with previously employed research techniques, showing the results that have been statistically analyzed. It includes a discussion of the pros and cons of the new technique.

For every issue, only two articles type 4 and 5 are accepted. The review process for Case Reports and Technical Notes is the same as for the other three types of articles that the journal receives.

Manuscripts, written using the third-person, are submitted in a printed version, original and copy and a magnetic form; Arial 12, normal space between characters, mentioning its text processor (Word), to the editor (Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, Calle 222 No. 55-37, Bogotá, DC.; rev.udca@udca.edu.co). Page size is 21.59 X 27.94cm, double spaced, excepting resúmenes, summary and bibliography. Margins are 4x3x3x3cm (left, right, top, bottom, respectively); paragraph indents and spaces (for page design, section paragraph, all should have a zero value). Case reports won't include summary nor resúmenes, but they include the rest of the chapters. The maximum number of pages is 12, with a maximum of two illustrations. This applies to case reports and technical notes, the latter once do include all the parts of an article. The manuscripts type 1, 2 and 3, including bibliography, tables, graphs and photos, should not exceed 25 pages. It is recommended not to exceed 30 actualized references for manuscripts type 1 and 3. For technical, actualization or review papers, under an exception, up to 30 pages can be accepted. The maximum number of tables, graphs and photos permitted for manuscripts type 1, 2 and 3, is six; each organized in a separate page after the bibliography.

The manuscript structure should follow the steps of the scientific method, organized as: **MAIN TITLE:** in capital letters, concise without abbreviations, not exceeding 140

---

characters, including spaces, puncture signs and scientific names. Furthermore, the title in English is mandatory. Authors should suggest a **SHORT TITLE** of maximum 40 characters, including spaces, which will be included within the odd pages of the journal, together with the last name(s) of the author(s). **AUTHORS:** the name and only the first last name is indicated in order of contribution, also the academic title and only one institutional affiliation, the complete address, which comprises city, state or department and country and the e-mail, preferentially the institutional one. This information is to be placed below the titles (Spanish and English). **SUMMARY:** Maximum 250 words, one paragraph, single-spaced. It must be clear and concise, written to capture the reader's interest and presenting information about the justification, objectives, methodology and results obtained. **KEY WORDS:** maximum of five. The use of normalized key words, included in descriptors, as for example in [www.nlm.nih.gov/mesh/](http://www.nlm.nih.gov/mesh/), [www.decs.bvs.br](http://www.decs.bvs.br), CAB Thesaurus, is recommended; this allows a higher visibility of the articles; next to them the selected Thesaurus has to be mentioned. **RESUMEN:** translation of summary. **PALABRAS CLAVE:** translation of key words.

Basically the manuscript should include the following chapters: **INTRODUCTION**, which includes the literature revision and antecedents, **MATERIALS AND METHODS**, **RESULTS AND DISCUSSION**, and finally **BIBLIOGRAPHY**. Conclusions and, if relevant, recommendations, form part of results and discussion. If **Acknowledgments** are given, they are posted below results and discussion. Authors have to include the statement of Conflicts of interest (subtitle), for example: "The manuscript was prepared and revised by all authors, who declare the absence of any conflict which can put the validity of the presented results in risk", if necessary, and Finantial support (subtitle), which means to give credit, as for example: "This study was financed by Colciencias and the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A)".

Cited references: citations in the text should be by last name of the author(s), followed by the publication year within

parenthesis. When there are more than two authors, the Latin expression *et al.* is employed. If the reference is mentioned at the end of a sentence, both, author(s) and year are placed in parenthesis, separated by a coma. In the **BIBLIOGRAPHY** the references are numbered and listed alphabetically by author. **Note:** summaries presented at scientific meetings and personal communications, archived in offices, as well as thesis are not accepted as references. Reference of a cited article published in a journal should contain: author(s) in capital letters, publication year, title of the article, journal name, country of journal's origin, if not included in the journals name. Volume, number and pages. Example: CABEZAS G., M. 1998. Papel del calcio en la relación fuente demanda de asimilados en la respuesta de las plantas al stress. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia)*. 1(1):38-48. Reference of a book has to include: Author(s) in capital letters, publication year, title, editorial, place of impression and pages. Example: MARGALEFF, R. 1988. *Ecología*. Ed. Omega (España). 951p. If authors of a chapter published in a book are cited, report as follows: Author(s) of the chapter. Publication year. Title of the chapter. Editors of the book. Title of the book. Editorial. Place of impression. Pages of the chapter. Example: ARÉVALO, J. 1999. Organoclorados en la agricultura. En: Posada, J.G.; Bermúdez, F.G. eds. *Actualidad y futuro de los pesticidas de uso agrícola*. Ed. McGraw Hill (New Cork). p.28-53. For references of electronic sources consult: ISO. 1998. INTERNACIONAL Standard ISO 690-2. Information and Documentation – Bibliographic References – Part 2: Electronic documents of parts thereof. International Organization for Standardization. Ottawa. Canada. Available form Internet at: <http://www.nlc-bnc.ca/iso/tc46sc9/standard/690-2e.htm> [accessed 01/01/1999] or <http://wwwentomologia.rediris.es/aracnet/num1/estilo.htm>. In general, the citation is made in the same manner as with journal article, followed by: Available from Internet in: <http://>: (accessed exact date).

Manuscripts which fulfill these conditions are submitted to the evaluation of the journals editorial committee and reviewed by external referees, anonymous, specialist in the treated topic.

REVISTA

# U.D.C.A

ACTUALIDAD & DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Procedimiento para pedido: Comunicarse con la Editora de la Revista, teléfono: 6688400 ext. 168 – 177 y solicitar remisión del ejemplar requerido. Una vez se registren los datos de envío, debe hacer la consignación respectiva. A vuelta de correo certificado, le llegará el pedido.

## Cupón de Suscripción (diligenciar con letra legible)

Nombres y Apellidos: \_\_\_\_\_

Institución: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

Teléfonos: \_\_\_\_\_ Ciudad: \_\_\_\_\_

País: \_\_\_\_\_

## Valor suscripción:

NÚMERO	AÑO	PRECIO
1	2016	\$35.000
2	2016	\$35.000
1	2017	\$40.000

**Forma de pago:** Consignar a nombre de U.D.C.A, Cuenta Nacional Banco de Bogotá No. 08500697-1, el valor respectivo y enviar comprobante de consignación escaneado, al correo electrónico de la revista, anexando cupón de suscripción diligenciado. Mayores informes o reclamaciones en el teléfono (57-1) 6684700 ext. 177 - 168 o [rev.udca@udca.edu.co](mailto:rev.udca@udca.edu.co).

Disposición para canje: Solicitar directamente a la Biblioteca – SIDRE, con el Licenciado Rodrigo Gómez Fernández – Director, al teléfono 6684700 ext. 126 o al correo electrónico: [bibliote@udca.edu.co](mailto:bibliote@udca.edu.co).

Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A  
Calle 222 No. 55-30, Bogotá, D.C. – Colombia  
P.B.X.: 6684700

[www.udca.edu.co](http://www.udca.edu.co)



# Confía en 4-72, el servicio de envíos de Colombia

Línea de atención al cliente:  
**(57 - 1) 472 2000 en Bogotá**  
**01 8000 111 210 a nivel Nacional**

.....  
[www.4-72.com.co](http://www.4-72.com.co)