

CONTENIDO
Volumen 18 No. 2, Julio – Diciembre de 2015

	Pág.
EDITORIAL	
La financiación de la investigación en la U.D.C.A <i>Germán Anzola Montero</i>	299
CIENCIAS DE LA SALUD	
Evaluación físico-matemática de arritmias cardiacas con tratamiento terapéutico de Metoprolol a partir de las proporciones de la entropía <i>Javier Rodríguez, Signed Prieto, Fernán Mendoza, Nelly Velásquez</i>	301
Consumo de drogas de uso lícito e ilícito en jóvenes universitarios de la U.D.C.A <i>Linda Shirley Segura, Nelly Esther Cáliz</i>	311
Control del entrenamiento deportivo en deportistas escolares <i>Diego A. Alzate S., Carlos F. Ayala Z., Luis G. Melo B.</i>	321
CIENCIAS AGRARIAS (Agronomía, Ciencia y Tecnología de Alimentos, Ingeniería Agrícola, Medicina Veterinaria, Zootecnia)	
El concepto de sostenibilidad en agroecología <i>Luis Fernando Gómez, Leonardo Alberto Ríos-Osorio, María Luisa Eschenhagen Durán</i>	329
Evaluación de productos químicos y uno biológico para el manejo de <i>Phytophthora</i> spp. en naranjo ‘Salustiana’ injertado en portainjerto Sunki <i>Johana Pabón-Villalobos, Jairo Castaño-Zapata</i>	339
Efectividad de la marmolina como mineral inerte en el control de <i>Hypothenemus hampei</i> (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae) durante la conservación de semillas <i>Yandy Rodríguez Ledesma, Claribel Suárez Pérez, Justo Antonio Rojas Rojas, Raúl Mirabal García, Yasel López López, Erismany Molina Moreno</i>	351
Respuesta de <i>Bradyrhizobium japonicum</i> a la adición de alginato en presencia de fungicidas peletizados en semillas de soya <i>Felipe Andrés Romero-Perdomo, Mauricio Camelo, Ruth Bonilla</i>	359
Dinámica de la radiación fotosintéticamente activa en arreglos agroforestales con <i>Hevea brasiliensis</i> en el norte de la amazonia colombiana <i>Ervin Humprey Durán-Bautista, Yimi Katherine Ángel-Sánchez, Juan Carlos Suárez-Salazar</i>	365
Zonas homogéneas para manejo específico por sitio en maíz usando un sensor de inducción electromagnética en la sabana de Bogotá <i>Ricardo Alfaró Rodríguez, Fabio Rodrigo Leiva, Manuel Iván Gómez</i>	373
Irrigation response of potato (<i>Solanum tuberosum</i> L.) var. R12 Diacol Capiro <i>Fernando Javier Peña Baracaldo, Ingeborg Zenner de Polanía</i>	385
Efecto de la inundación sobre parámetros de crecimiento de stevia (<i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni) <i>Alfredo Jarma-Orozco, Teobaldís Mercado-Fernández, José Alejandro Cleves-Leguizamón</i>	393
Seroepidemiología de hembras bovinas naturalmente infectadas por <i>Neospora caninum</i> en Córdoba, Colombia <i>José A. Cardona, Yordan Martínez, César A. Betancur</i>	401
Influencia de la Listeriosis en la fertilidad y presentación de mastitis subclínica en un conglomerado lechero de la sabana de Bogotá, Colombia <i>Manuel Isaac Gallego, José Luis Azumendi, Andrés Felipe Salazar, Carolina Gallego</i>	409
Emisión de metano entérico en sistemas pastoriles: estrategias de reducción con potencial práctico <i>Juan Vargas</i>	417
Evaluación de las propiedades termodinámicas y térmicas del d-limoneno encapsulado mediante secado por aspersión <i>Karla Rubiano, Jaime Cárdenas, Héctor J. Ciro-Velásquez</i>	425

Extracción de pectina del fruto del higo (<i>Opuntia ficus indica</i>) y su aplicación en un dulce de piña <i>Sandra P. Chaparro, Ruby A. Márquez, Jenny P. Sánchez, Mónica L. Vargas, Jesús H. Gil</i>	435
Impacto de la adición de caboximetilcelulosa y agua en las propiedades fisicoquímicas y de calidad de pan libre de gluten <i>Fernán Martínez-Jiménez, Eduardo Rodríguez-Sandoval, María Soledad Hernández-Gómez</i>	445
Parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales de salchichas elaboradas con inclusión de quitosano <i>José Igor Hleap, Lina Cardona, Johana Agudelo, Alejandra Gómez</i>	455
Caracterización reológica de una espuma a base de clara de huevo, azúcar y pulpa de tamarindo <i>Diego Tirado, Diofanor Acevedo, Ramiro Torres</i>	465

CIENCIAS BIOLÓGICAS

Bacterias heterótrofas y oligotróficas en zonas conservadas e intervenidas del páramo de La Cortadera, Boyacá, Colombia <i>David Ricardo Hernández, Luz Marina Lizarazo</i>	475
Efecto del oxígeno disuelto sobre la biodegradabilidad de biorresiduos <i>Jonathan Soto, Patricia Torres, Luz Edith Barba, Luis Fernando Marmolejo, Wilmar A. Torres, María A. Guzmán, Laura M. Perea</i>	485
Density of domestic pigeons (<i>Columba livia domestica</i> Gmelin, 1789) in the new public market of Sincelejo, Sucre, Colombia	497
<i>Carmen Villalba-Sánchez, Alejandro De La Ossa-Lacayo, Jaime De La Ossa V</i> Vehicle collisions with wild fauna on the two roads that pass through the Montes de María, Sucre, Colombia <i>Orlando De La Ossa-Nadjar, Jaime De La Ossa V</i>	503

CIENCIAS SOCIALES APLICADAS

Aproximación a la gestión territorial rural desde un modelo de ordenamiento agroambiental <i>Adriana Posada Arrubla, Hanner Yesid Ramírez Poveda</i>	513
Caracterización de la innovación en las pymes manufactureras en Colombia desde la perspectiva del análisis clúster <i>Jairo Torres, Gabriel Cataño, José Arias</i>	525
Evolución diacrónica del pensamiento estratégico <i>Germán Rodríguez, Johan Antolínez</i>	533

CIENCIAS EXACTAS Y DE LA TIERRA

Correlación canónica entre índices macroclimáticos y variables meteorológicas de superficie en Colombia <i>Diana Díaz, Nancy Villegas</i>	543
Aritméticas en un municipio del nororiente colombiano <i>Armando Aroca</i>	553

REPORTE DE CASO

Influencia del grado de madurez en la firmeza del plátano hartón (<i>Musa AAB Simmonds</i>) <i>Ramiro Torres, Ricardo Andrade, Diego Tirado, Diofanor Acevedo</i>	563
Divertículos esofágicos en una yegua criolla colombiana: reporte de caso <i>Omar F. Arenas; Gustavo A. Villa; José R. Martínez A</i>	569

EDITORIAL

LA FINANCIACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN EN LA U.D.C.A

Germán Anzola Montero
Rector

¿Quién financia la investigación en la Universidad Colombiana? Es una pregunta constante en el medio académico de nuestro país y que da origen a un interminable debate que, en principio, pone en tela de juicio a los entes y organismos nacionales, como COLCIENCIAS, a las Oficinas gubernamentales –que disponen de recursos para tales efectos-, al sector productivo y, en los últimos años, al Fondo de Regalías, sin dejar de lado los recursos internacionales o la cooperación externa.

Como quiera que la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A no es ajena al problema, en sus treinta y tres años de trayectoria institucional ha logrado, por una parte, la financiación –con recursos de los entes citados- de un buen número de proyectos de ciencia, tecnología e innovación y, por otra, la cobertura institucional de otras investigaciones que, en su momento, no fueron favorecidas con este aval externo.

Presento esta reflexión como aporte editorial del fascículo 18(2) de nuestra Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, pues considero que es hora de mostrarle a las comunidades académicas, a la sociedad colombiana y a quienes regulan la educación superior de Colombia, lo que es posible hacer en una Universidad privada y con solo los recursos provenientes de la matrícula de nuestros estudiantes, para financiar una de las funciones sustantivas de fundamental importancia en el quehacer universitario, como lo constituye la generación de conocimiento. Efectivamente, de un total de 91 proyectos de investigación en ejecución en los últimos tres años, el 66% es realizado con recursos propios, por la no despreciable suma de \$4.165.983.504, lo cual, supera el 22,47% de financiación de la I+D que, según datos del Observatorio de Ciencia, Tecnología e Innovación para el 2014, fue invertido¹ por parte de las IES encuestadas y se constituye en un ejemplo para el país, cuando se tiene

claridad de lo que es un Proyecto Educativo Institucional y su compromiso con la generación de conocimiento.

Ahora bien, a estos recursos les debo adicionar los dineros que se deben apropiarse para cumplir con las denominadas contrapartidas que se exigen en la financiación de los entes financiadores de la investigación que, como lo señalé al inicio, corresponden a fuentes del gobierno Nacional. Complementario a esta política, a la U.D.C.A le ha correspondido asumir –en su totalidad- la subvención del Programa de Desarrollo Profesional que, en la actualidad, representa la formación de 14 profesionales, a nivel doctoral, sin cuantificar algunos docentes que adelantan estudios de Maestrías.

Estas determinaciones son el verdadero compromiso con la actividad investigativa y evidencia el comportamiento que hemos asumido, desde el momento en que nos reconocieron como Universidad en el 2004, y que lo hemos querido ratificar, desde el 13 de febrero 2014, cuando recibimos la visita de apreciación de condiciones iniciales realizadas por los Consejeros del CNA, quienes el 6 de marzo del mismo año, informan que la Institución podía iniciar el proceso conducente a la acreditación institucional. De tal forma, que el 12 de diciembre de 2014, se hace entrega al Consejo Nacional de Acreditación –CNA-, del Informe de Autoevaluación con miras a la Acreditación Institucional. Se recibe la visita de evaluación externa de los Pares Académicos del CNA el 27, 28 y 29 de abril del 2015 y el informe de dicha evaluación el 3 de julio de 2015.

El proceso de autoevaluación permitió concluir que la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales- U.D.C.A-, ha alcanzado altos estándares de calidad, cumpliendo con sus principios y con el mandato de la Sociedad y del Estado Colombiano de brindar un servicio de óptima calidad.

Las condiciones de calidad de la U.D.C.A quedan evidenciadas en el **cumplimiento pleno** de (3) tres factores (el F1. Misión y Proyecto Educativo, F7. Autoevaluación y Autorregulación y el F11. Recursos Financieros); en el **cumplimiento**

1 Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología. 2014. Indicadores de Ciencia y Tecnología. Colombia.

en alto grado de (7) siete factores (F2. Estudiantes, F3. Profesores, F4. Procesos Académicos, F6. Pertinencia e Impacto social, F8. Bienestar Social Universitario, F9. Organización, Administración y Gestión y F10. Recursos de Apoyo Académico y Planta Física); en el **cumplimiento satisfactorio** de (1) un factor (F5. Investigación).

Los logros que se evidencian, el reconocimiento interno y externo a su labor, y el posicionamiento alcanzado en el concierto de la educación superior, hacen de la U.C.D.A una institución firme, vigorosa, dinámica, singular en su compromiso con el desarrollo humano sostenible y la protección del medio ambiente, en permanente actitud de perfeccionamiento. Actualmente, esperamos la Resolución del Ministerio de Educación Nacional que ratificará nuestro compromiso con la excelencia y por ello continuamos trabajando arduamente en el fortalecimiento de la cultura

de la calidad que se refleja en programas acreditados, algunos de ellos con renovaciones de sus acreditaciones y en la consecución de la certificación de alta calidad para los programas que avanzan en sus procesos de autoevaluación.

Entendemos, que es la mejor manera de rendirle cuentas a la sociedad colombiana y al gobierno Nacional, en aras de facilitarle sus responsabilidades de fomento a la Educación Superior y a los procesos de vigilancia, que le corresponden.

Como conclusión debo expresar, desde nuestra Revista Científica, que la Universidad Colombiana y entre ellas, la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, tiene un compromiso responsable con la investigación y espera que el gobierno Nacional, igualmente en este ámbito fundamental, haga otro tanto con sus obligaciones que, históricamente ha asumido, por conducto de COLCIENCIAS.

EVALUACIÓN FÍSICO-MATEMÁTICA DE ARRITMIAS CARDIACAS CON TRATAMIENTO TERAPÉUTICO DE METOPROLOL A PARTIR DE LAS PROPORCIONES DE LA ENTROPIA

PHYSICAL MATHEMATICAL EVALUATION OF CARDIAC ARRHYTHMIAS WITH THERAPEUTIC TREATMENT OF METOPROLOL BASED ON ENTROPY PROPORTIONS

Javier Rodríguez¹, Signed Prieto², Fernán Mendoza³, Nelly Velásquez⁴

¹ Director del Grupo Insight, Centro de Investigaciones Clínica del Country. Cra 79B No. 51-16 sur Int 5, Apt 102, Bogotá, D.C. Colombia, e-mail: grupoinsight2025@yahoo.es; ² Investigadora Grupo Insight. Universidad Militar Nueva Granada, Centro de Investigaciones Clínica del Country, calle 45 Sur No 78i 25, Bogotá, D.C. Colombia, e-mail: grupoinsight2025@yahoo.es; ³ Cardiólogo, Profesor y Director del programa de Cardiología. Universidad El Bosque, Jefe del Departamento de Cardiología, Clínica Fundación Clínica Shaio, diagonal 115A No. 70C-75. Bogotá D.C., Colombia, e-mail: fernan.mendoza@shaio.org; ⁴ Estudiante de Posgrado, Cardiología adultos. Universidad del Bosque, diagonal 115A No. 70C-75. Bogotá D.C., Colombia, e-mail: carinni_2@hotmail.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 301-310, Julio-Diciembre, 2015

RESUMEN

Se desarrolló una metodología de ayuda diagnóstica de la dinámica cardíaca evaluada en Holter, basada en la probabilidad y en las proporciones de la entropía Boltzmann Gibbs, cuya utilidad clínica se ha comprobado en la valoración de dinámicas normales, enfermas y en evolución. Dicha metodología fue aplicada en este trabajo, mediante un estudio ciego, en el cual, se enmascararon las conclusiones de 35 Holter, 7 normales y 28 con diagnóstico de arritmia tratada con y sin Metoprolol. Se construyeron atractores, a partir de los valores máximos y mínimos de frecuencias cardíacas y total de latidos/hora y se calcularon los valores de probabilidad, de entropía y las proporciones de la entropía de pares consecutivos de frecuencias cardíacas. Posteriormente, se determinó sensibilidad, especificidad y coeficiente Kappa, para evaluar la concordancia diagnóstica entre la metodología matemática y el diagnóstico clínico convencional. Se mostró que la metodología diferencia las dinámicas normales de las arrítmicas; los valores de sensibilidad y de especificidad fueron de 100% y el coeficiente Kappa de 1, evidenciando que es posible, además, establecer cuantitativamente el grado de agudización. El análisis de las proporciones de la entropía evidenció que el 77,77% de las dinámicas tratadas con Metoprolol tiene características matemáticas de enfermedad aguda, mostrando que la cuantificación de esos estados agudos muestra qué tan alejados se encuentran de la normalidad. Se confirmó la capacidad diagnóstica de la metodología, para diferenciar dinámicas normales y arrítmicas

cas tratadas con y sin Metoprolol, permitiendo cuantificar la evolución de cada dinámica, hacia enfermedad aguda.

Palabras clave: Diagnóstico, probabilidad, entropía, betabloqueadores, caos.

SUMMARY

A diagnostic aid methodology of cardiac dynamics evaluated in Holter based on probability and Boltzmann Gibbs entropy ratios was developed, whose clinical usefulness has been demonstrated in the evaluation of normal, diseased and evolving dynamics. This methodology was applied in this work using a blinded study in which the findings of 35 Holter, 7 normal and 28 with a diagnosis of arrhythmia treated with and without Metoprolol, were masked. Attractors were constructed from the maximum and minimum heart rates, and total beats/hour, and the probability, entropy and entropy ratios of consecutive pairs of heart rates values were calculated. Subsequently, sensitivity, specificity and Kappa coefficient were calculated to evaluate the diagnostic concordance between the mathematical methodology and conventional clinical diagnosis. It was shown that the methodology difference normal dynamics from the arrhythmic ones; the sensitivity and specificity values were 100% and the Kappa coefficient was 1, showing that it is also possible to establish quantitatively the degree of sharpening. Analysis of the entropy proportions showed that 77.77% of the dynamics treated with Metoprolol have mathematical characteristics of acute

illness, showing that the quantification of these acute states shows how far they are from normality. The diagnostic ability of the methodology was confirmed to differentiate normal and arrhythmic dynamics; these last one treated with or without Metoprolol, allowing to quantify the evolution of each dynamic towards acute illness.

Key words: Diagnosis, probability, entropy, beta blockers, chaos.

INTRODUCCIÓN

La teoría de los sistemas dinámicos permite evaluar el estado y la evolución de un sistema, mediante la evaluación de sus variables dinámicas en el espacio de fases. Las representaciones obtenidas en este espacio, se denominan atractores, los cuales, pueden ser predecibles o impredecibles. De ellos, se conocen tres tipos: el punto, el ciclo y el caótico (Peitgen, 1992). El estudio de la probabilidad de un evento permite establecer su posibilidad de ocurrencia dentro de un espacio muestral, que contiene todos los posibles eventos (Kolmogorov, 1956; Feynman *et al.* 1998). La entropía, inicialmente abordada desde la termodinámica, ha sido reinterpretada por científicos, como Carnot, en el estudio de los gases ideales; Boltzmann, en el contexto de la mecánica estadística o como Shannon, en el ámbito de la teoría de la información (Tolman, 1979; Machta, 1999; Bekenstein, 2003; Shannon, 1948).

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, un 30% de todas las muertes, a nivel mundial, son causadas por las muertes por Enfermedades Cardio Vasculares (ECV), constituyéndose como principal causa de muerte en el mundo; se estima, que en 2015 morirán cerca de 20 millones de personas, como consecuencia de patologías de este tipo (OMS, 2013). Las arritmias constituyen una patología de especial interés, debido a que pueden desembocar en desenlaces mortales, dependiendo de su nivel de gravedad, al asociarse a eventos, como accidentes cerebrovasculares o paro respiratorio (Carvajal, 2006). Dentro de los medicamentos utilizados para el tratamiento de las arritmias, se encuentra el Metoprolol, que ha demostrado utilidad clínica para el tratamiento de falla cardiaca, aumentando el tiempo de supervivencia; además, se ha hallado evidencia que controla la frecuencia ventricular y mejora la fracción de eyección del ventrículo izquierdo (IAE-CRES, 2011; Chatterjee *et al.* 2013); también, se han encontrado correlaciones con disminución de muerte súbita y de arritmias ventriculares en casos patológicos crónicos (Anh & Marine, 2004). Según investigaciones recientes, se ha estudiado el efecto del tratamiento con Metoprolol, como una terapia efectiva a largo plazo, en pacientes con IAM (Pizarro *et al.* 2014); asimismo, se ha evaluado la efectividad de este beta bloqueador, como protector de arritmias de sujetos normales, sometidos a la privación del sueño (Chen *et al.* 2013); sin embargo el uso del Meto-

prolol, junto con otros medicamentos, sólo sigue en estudio por sus posibles efectos secundarios (Skiba *et al.* 2013).

En general, el estudio de estos fenómenos, desde la perspectiva epidemiológica actual, no ha permitido desarrollar modelos que permitan establecer predicciones, a nivel individual, así como tampoco, para la detección temprana de alteraciones súbitas y agudas, que puedan ser potencialmente mortales. Con el fin de abordar este problema, se han desarrollado nuevas medidas, como el análisis de la variabilidad del ritmo cardiaco, en busca de índices, que permitan detectar cambios en la complejidad de sujetos con diagnóstico clínico normal y anormal, así como su evolución (Guillen *et al.* 2001); no obstante, aunque es posible establecer algunas relaciones entre variaciones de esta medida con alteraciones patológicas o intervenciones médicas específicas, su aplicabilidad clínica no ha sido claramente establecida.

En la actualidad, el estudio de la dinámica cardiaca ha usado metodologías físico-matemáticas, que han proporcionado soluciones de aplicación clínica y nuevas perspectivas, respecto a la forma de pensamiento médico tradicional. Es así, como dentro de la teoría de sistemas dinámicos se desarrolló una nueva concepción normalidad-enfermedad, donde la enfermedad es caracterizada por un comportamiento extremadamente aleatorio o muy regular y periódico y la normalidad por un comportamiento intermedio, entre estos dos estados (Goldberger *et al.* 2002), lo que contradice la posición tradicional, basada en la homeostasis (Guyton & Hall, 2011). Por otro lado, una metodología fundamentada en leyes probabilistas, logró evaluar la dinámica cardiaca en pacientes con diagnóstico de arritmia, encontrando que es posible detectar, de manera precoz, alteraciones leves o en evolución a la enfermedad (Rodríguez *et al.* 2012). Mediante una ley exponencial caótica, aplicada al estudio de diferentes tipos de arritmias, se evidenciaron diferencias cuantitativas entre dinámicas con parámetros de normalidad y aquellas que están evolucionando hacia la agudización (Rodríguez *et al.* 2013).

Recientemente, se desarrolló una metodología predictiva, fundamentada en las teorías de la probabilidad y la entropía, mediante la cual, se diferenció normalidad, enfermedad crónica y enfermedad aguda y evolución entre estos estados (Rodríguez, 2010). La capacidad diagnóstica de esta metodología ha sido confirmada en estudios de seguimiento de pacientes en UCI, donde las medidas de proporciones de la entropía lograron alertar estados de agudización de pacientes, aun antes de que se presentaran signos clínicos visibles, desde la forma de evaluación médica convencional, lo que fue corroborado, posteriormente, con los reportes clínicos (Rodríguez *et al.* 2011).

En este contexto, el propósito de esta investigación fue aplicar la metodología, previamente desarrollada, con base en la

probabilidad y en la entropía (Rodríguez, 2010), en pacientes con diferentes tipos de arritmia tratadas con y sin Metoprolol, para determinar la capacidad diagnóstica de la metodología y cuantificar matemáticamente su nivel de gravedad y comparando la evaluación matemática obtenida, respecto a parámetros clínicos convencionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio, se analizaron 35 estudios Holter (Tabla 1) de adultos mayores de 21 años, durante un periodo superior a 18 horas, de los cuales, 7 pertenecían a individuos normales y asintomáticos y 28 presentaban diagnóstico de arritmia, donde 18 son pacientes tratados con Metoprolol y 10 sin tratamiento, provenientes de la Fundación Clínica Abood Shaio.

Tabla 1. N1 hasta N3: representa Holter normal; M1 hasta M10: Holter con algún tipo de alteración en el ritmo cardiaco, tratadas con Metoprolol; A1 a A5: Holter con algún tipo de alteración en el ritmo cardiaco sin tratamiento con Metoprolol. Las indicaciones corresponden a la información que se consigna en el informe del Holter.

Holter	Indicaciones
N1	Normal
N2	Normal
N3	Normal
M1	Taquicardia en estudio
M2	Control de Arritmia
M3	Arritmia en estudio
M4	Arritmia en estudio
M5	Arritmia en estudio
M6	Fibrilación auricular en estudio
M7	Arritmia en estudio
M8	Miocardopatía en estudio
M9	Palpitaciones en estudio
M10	Control Medico
A1	Palpitaciones, dolor torácico
A2	Palpitaciones, fatiga, dolor torácico
A3	Mareo, taquicardia sinusal
A4	Síncope
A5	Taquicardia

Como procedimiento, se desarrolló un estudio ciego de concordancia diagnóstica, en el que se tomó la evaluación con-

vencional del Holter, como Patrón de Oro, tanto para normalidad como para enfermedad, para lo cual, se enmascararon estas conclusiones clínicas, así como las indicaciones para la realización del Holter. Esto significa, que de toda la información reportada en el Holter, solamente se tomó en cuenta –para el estudio ciego- el diagnóstico de normalidad o de enfermedad, con el fin de determinar si el método físico-matemático permite diferenciar estos dos estados.

Para cada Holter, se tomaron los valores de las frecuencias cardíacas, mínimas, máximas y total de latidos en cada hora y se generó una simulación de secuencia de frecuencias cardíacas, que se pueden dar dentro de los rangos establecidos, de acuerdo con dicha información; para ello, se hizo uso de un algoritmo equiprobable. A continuación, se construyó un atractor en un espacio de fases; para tal fin, tanto en el eje x como en el y , se graficaron las frecuencias cardíacas, agrupadas en rangos de a cinco, de tal manera que cada punto (x,y) , representa una frecuencia respecto a la siguiente en el tiempo, siguiendo la metodología desarrollada previamente (Rodríguez, 2010). Seguidamente, se calculó la probabilidad de ocupación de los pares ordenados (x,y) , considerados en el estudio, respecto a la totalidad, mediante la ecuación 1 (todas las ecuaciones se encuentran en la tabla 2). Posteriormente, se calculó la entropía de cada atractor (ecuación 2), para luego evaluar las proporciones S/k (Ecuación 3).

Se definieron tres regiones (Rodríguez, 2010) en el espacio de fases, mediante las cuales, se pueden establecer comparaciones entre atractores normales y anormales, siendo posible caracterizar su evolución. Las regiones a evaluar son: **Región uno:** contiene todas aquellas frecuencias cardíacas normales; **Región dos:** comprende en su totalidad los rangos ocupados por los registros Holter normales, excluyendo los de la región uno y **Región tres:** se distingue por presentar valores de la frecuencia cardíaca que no son ocupados por los Holter normales, es decir, representa la región restante del mapa de retardo.

Con base en la ecuación 3, aplicada para cada región determinada, los sumandos que corresponden a probabilidades de frecuencias de ocupación del orden de unidades (1-9) fueron agrupados y sumados (ecuación 4); se procedió, del mismo modo, con las decenas (10-99), las centenas (100-999) y los miles (1000 a 9999). Con estos valores, se calcularon las proporciones existentes de cada sumando, con respecto a la totalidad (relación S/k) y entre las partes (Centenas/Miles y Centenas/Decenas) (ecuación 5).

Con base en la metodología previamente desarrollada (Rodríguez, 2010), se evaluó si por lo menos dos de las proporciones –en cualquiera de las tres regiones- están fuera de los límites de normalidad, que es el parámetro diferenciador entre anormalidad y normalidad. Tomando como referencia

Tabla 2. Definiciones desde las que se fundamenta la metodología del presente trabajo

Concepto	Definición
Probabilidad de pares ordenados consecutivos en rangos de cinco (latidos/minuto)	<p>El par ordenado de frecuencias cardiacas consecutivas en el tiempo, están representadas en un espacio abstracto, denominado espacio de fases. La probabilidad corresponde al cociente entre el número de pares ordenados (X,Y) y el número total de pares, ordenados de todo el registro (Rodríguez, 2010):</p> $P(X,Y) = \frac{\text{Número de pares ordenados en X,Y}}{\text{Total de pares ordenados en el trazado}} \text{ Ecuación 1}$
Entropía del atractor (S)	<p>La entropía de la ocupación de un atractor, en un sistema no equiprobable, como los rangos de (X,Y) en el espacio de fases, está dada por la siguiente ecuación (Tolman, 1979):</p> $S = -k \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^n P(X,Y) \times \ln P(X,Y) \text{ Ecuación 2}$ <p>En donde: X, Y son múltiplos de 5, P(X,Y) corresponde a la probabilidad para el rango (X, Y), k corresponde a la constante de Boltzmann, 1.38×10^{-23} (Joules/kelvin) y S el valor de la entropía.</p>
Proporción S/k del atractor	<p>Corresponde al cociente entre el valor hallado en la Ecuación 2, sobre la constante de Boltzmann (k):</p> $\frac{S}{k} = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^n P(X,Y) \times \ln P(X,Y) \text{ Ecuación 3}$ <p>Posteriormente, la ecuación 3 se reorganiza, de tal manera, que queden los conjuntos de rangos (X, Y), que se asocian a los valores de la frecuencia de aparición en:</p> $\frac{S}{k} = \sum \begin{cases} U(\text{Unidades}) = \sum_b \sum_a P(a, b) \times \ln P(a, b) [1 - 9] \\ D(\text{Decenas}) = \sum_d \sum_c P(c, d) \times \ln P(c, d) [10 - 99] \\ C(\text{Centenas}) = \sum_f \sum_e P(e, f) \times \ln P(e, f) [100 - 999] \\ M(\text{Miles}) = \sum_h \sum_g P(g, h) \times \ln P(g, h) [1000 - 9999] \end{cases} \text{ Ecuación 4}$ <p>Para finalmente replantear la ecuación 3, de la siguiente manera:</p> $\frac{S}{k} = U + D + C + M = T \text{ Ecuación 5}$
Proporciones de la entropía	<p>Es la proporción que se encuentra entre las partes y la totalidad de la ecuación 5, así: U/T, D/T, C/T, M/T, C/M y D/C</p>

los valores extremos de la normalidad, previamente definidos, a los valores de las proporciones que se encuentran por encima de estos límites, se les restó el límite superior de normalidad, mientras que los valores inferiores al valor mínimo de normalidad, serán restados de dicho valor límite. Una vez obtenido el valor de estas diferencias, se suman, según el orden de magnitud al que estén asociadas: de unidades, decenas, centenas y miles. Esta cuantificación constituye una

medida objetiva y reproducible, de lo alejado que se registra una dinámica cardiaca arrítmica de una dinámica normal, pues entre mayores sean estos valores, la dinámica se considera más aguda. Los valores del orden de miles son las que tienen mayor peso, para establecer el nivel de gravedad de la dinámica y, subsiguientemente, se evalúan los valores de centenas, decenas y unidades. Así, por ejemplo, el aumento de las sumas del orden de miles corresponde a una agudiza-

ción de la dinámica, que se puede manifestar clínicamente, como un IAM, por ejemplo.

Para el estudio estadístico, se desenmascararon los diagnósticos y las conclusiones clínicas y se tomó como Gold-Standard, para compararlo con la metodología matemática. Se calculó especificidad y sensibilidad, a través de una clasificación binaria, donde los verdaderos positivos (VP) corresponden al número de pacientes anormales, de acuerdo al Gold-Standard y que se encuentran dentro de los valores matemáticos correspondientes a anormalidad; falsos positivos (FP), aquellos que matemáticamente se comportan como estudios anormales y cuyo diagnóstico clínico es normal; falsos negativos (FN), los que han sido diagnosticados matemáticamente como normales, pero cuyos valores clínicos se corresponden con pacientes anormales y, finalmente verdaderos negativos (VN), definidos como el número de registros cardíacos diagnosticados clínicamente como normales y cuyos valores matemáticos también se corresponden con normalidad. La concordancia entre los valores físico-matemáticos y el diagnóstico clínico convencional, se calculó mediante el coeficiente Kappa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este es el primer trabajo de aplicación clínica diseñado para evaluar dinámicas cardíacas normales y con alteraciones en el ritmo cardíaco tratadas con Metoprolol, a partir de las proporciones de la entropía. La metodología logró detectar alteraciones en el ritmo cardíaco con y sin tratamiento terapéutico anti-arrítmico.

De los 35 atractores evaluados (Tabla 1), 7 Holter normales sin sintomatologías o patologías previas (Figura 1); la entropía, se evidenció entre $6,49E-23$ y $6,54E-23$, mientras que para los 28 Holter con alteración en el ritmo cardíaco, oscilaron entre $6,19E-23$ y $7,47E-23$. Entre $6,23E-23$ y $7,47E-23$, para los Holter con tratamiento de Metoprolol (Figura 2) y entre $6,19E-23$ y $7,24E-23$, para las dinámicas arrítmicas sin tratamiento, con este beta bloqueador.

Los Holter normales presentaron proporciones de la entropía para la región 1, entre 0 y 1,603; para la región 2, entre 0 y 3,097 y, para la región 3, presentaron valores de 0 en todos los casos (Tabla 3). Los Holter con algún tipo de alteración en el ritmo cardíaco tratada con Metoprolol presentaron proporciones de la entropía para la región 1, entre 0 y 5,639; para la región 2, entre 0 y 4,789 y, para la región 3, entre 0 y 5,409 (Tabla 4). Para las dinámicas arrítmicas sin tratamiento con Metoprolol (Tabla 4), estos valores estuvieron entre 0 y 2,607, para la región 1; entre 0 y 4,5568, para la región dos y, para la región tres, estuvieron entre 0 y 2,7767. Se encontró que todos los Holter normales sin sintomatologías o patologías previas presentaron proporciones de la entropía

dentro de los límites de normalidad, establecidos previamente (Rodríguez, 2010).

Tabla 3. Valores de entropía (S), proporción S/k (S/k); proporciones de las tres regiones evaluadas y las restas que corresponden a los 3 Holter con diagnóstico normal de la tabla 1.

Holter	N1	N2	N3
S/k	-4,701	-4,723	-4,737
S	$6,49E-23$	$6,52E-23$	$6,54E-23$
Región 1			
U/T:	0	0	0
D/T:	0,039	0,089	0,090
C/T:	0,484	0,492	0,484
M/T:	0,457	0,307	0,309
C/M:	1,057	1,603	1,569
D/C:	0,081	0,181	0,187
Región 2			
U/T:	0,007	0,008	0,008
D/T:	0,013	0,079	0,078
C/T:	0	0,025	0,030
M/T:	0	0	0
C/M:			
D/C:		3,097	2,631
Región 3			
U/T:	0	0	0
D/T:	0	0	0
C/T:	0	0	0
M/T:	0	0	0
C/M:	0	0	0
D/C:	0	0	0
Restas			
U:	0	0	0
D:	0	0	0
C:	0	0	0
M:	0	0	0

Al efectuar las restas de los valores de las proporciones que se hallaban por fuera de los límites de normalidad, respecto a dichos límites, agrupadas y sumadas de acuerdo al orden de magnitud de su frecuencia correspondiente, se evidenció que los Holter normales siempre presentan valores dentro de los límites de normalidad, por lo cual, estos valores son iguales a cero. En cambio, los Holter con diagnóstico de arritmia

Tabla 4. Valores de entropía (S), proporción S/k (S/k); proporciones de las tres regiones evaluadas y las restas de las proporciones de los Holter fuera de la normalidad. De M1 hasta M10: Holter con algún tipo de alteración en el ritmo cardiaco tratadas con Metoprolol; de A1 a A5: Holter con algún tipo de alteración en el ritmo cardiaco sin tratamiento con Metoprolol.

Holter	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	A1	A2	A3	A4	A5
S/k	-4,523	-4,59	-5,413	-5,182	-4,513	-4,65	-5,417	-4,544	-4,62	-4,973	-4,696	-4,645	-4,902	-4,491	-5,249
S	6,24E-23	6,33E-23	7,47E-23	7,15E-23	6,23E-23	6,42E-23	7,47E-23	6,27E-23	6,38E-23	6,86E-23	6,48E-23	6,41E-23	6,76E-23	6,20E-23	7,24E-23
Región 1															
U/T:	0	0	0	0,001	0,002	0	0	0,006	0	0	0,005	0,007	0,000	0,000	0,000
D/T:	0,054	0,071	0,013	0,014	0,051	0,03	0,008	0,057	0,056	0,051	0,025	0,019	0,041	0,056	0,009
C/T:	0,262	0,415	0,39	0,628	0,443	0,358	0,668	0,361	0,368	0,531	0,529	0,461	0,303	0,395	0,623
M/T:	0,655	0,44	0,3	0,19	0,446	0,557	0,118	0,47	0,515	0,208	0,313	0,376	0,468	0,525	0,239
C/M:	0,4	0,942	1,3	3,301	0,993	0,642	5,639	0,768	0,715	2,553	1,689	1,227	0,649	0,752	2,608
D/C:	0,207	0,172	0,034	0,022	0,115	0,085	0,012	0,158	0,152	0,096	0,048	0,042	0,135	0,142	0,014
Región 2															
U/T:	0,003	0,01	0,002	0,005	0,001	0,005	0,003	0,003	0,004	0,002	0,020	0,024	0,001	0,000	0,003
D/T:	0,025	0,037	0,121	0,044	0,02	0,032	0,094	0,031	0,035	0,024	0,026	0,020	0,119	0,014	0,062
C/T:	0	0,025	0,074	0,107	0,035	0,018	0,103	0,05	0,015	0,101	0,036	0,068	0,027	0,009	0,057
M/T:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,021	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000
C/M:										4,789	2,192				
D/C:		1,461	1,628	0,406	0,562	1,801	0,914	0,628	2,308	0,237	0,717	0,293	4,416	1,517	1,097
Región 3															
U/T:	0	0	0,003	0,003	0	0	0,001	0,002	0,002	0,005	0,005	0,003	0,000	0,000	0,000
D/T:	0	0,001	0,097	0,007	0,001	0	0,006	0,008	0,004	0,027	0,018	0,015	0,041	0,001	0,007
C/T:	0	0	0	0,001	0	0	0	0,012	0	0,032	0,006	0,007	0,000	0,000	0,000
M/T:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C/M:															
D/C:				5,409				0,616		0,851	2,777	2,071			
Restas															
U:	0	0,002	0,003	0,003	0,002	0	0,001	0,008	0,002	0,005	0,022	0,026	0,000	0,000	0,000
D:	0	0,001	0,123	0,032	0,001	0,009	0,036	0,008	0,004	0,027	0,031	0,034	0,041	0,001	0,037
C:	0,237	1,068	1,005	7,667	1,938	0,785	1,794	2,593	0,267	3,166	4,560	4,333	1,294	1,032	1,517
M:	0,79	0,069	0	0	0,018	0,451	2,066	0,244	0,335	2,732	0,133	0,000	0,363	0,308	0,000

tratada con Metoprolol mostraron valores de Miles, entre 0 y 2,732; de Centenas, entre 0,237 y 7,667; de Decenas, entre 0 y 0,123 y, de Unidades, entre 0 y 0,008. En cuanto a la predicción físico matemática de la metodología diseñada para este tipo de estudio, las dinámicas cardiacas que expongan valores más altos en las sumas de las restas de Miles, corresponden a los estados más agudos, de acuerdo

con las observaciones clínicas; en cambio, los valores menores corresponden a casos menos severos, de esta forma el 77,77% de los casos tratados con Metoprolol presentaron valores asociados a enfermedad aguda, mientras que para el grupo de dinámicas arrítmicas sin tratamiento con Metoprolol, el 30%, mostraron valores asociados a enfermedad aguda, evidenciando que se pueden encontrar dinámicas

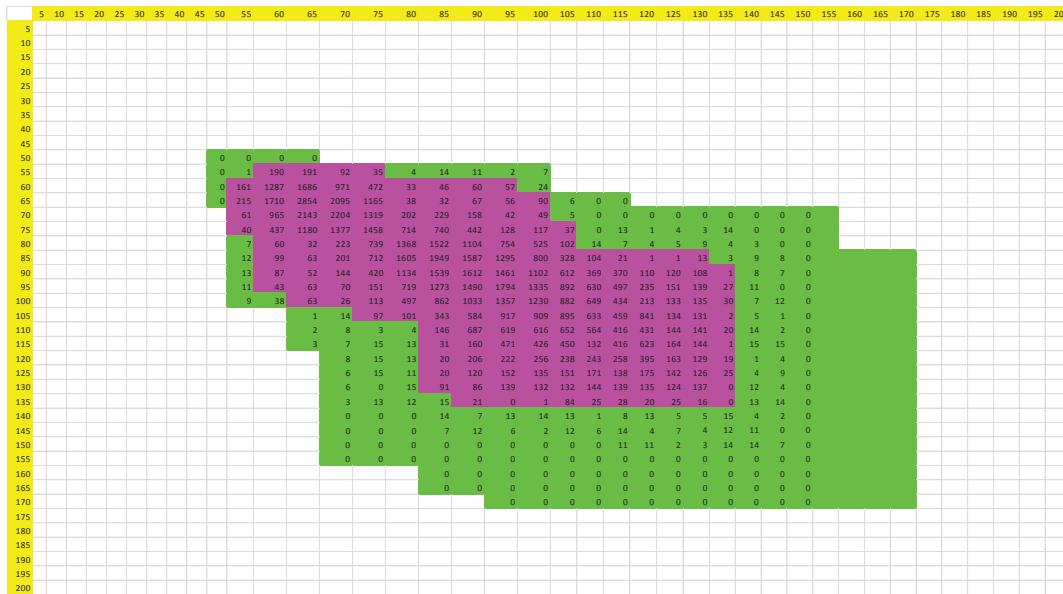


Figura 1. Atractor normal, que corresponde al Holter N1. Se pueden observar las tres regiones definidas en el espacio de fases: **Región 1:** Color fucsia; **Región 2:** Color verde; **Región 3:** Resto del espacio de fases, color blanco. En los ejes coordenados, se encuentran los valores de los rangos de frecuencias de 5 lat/min.

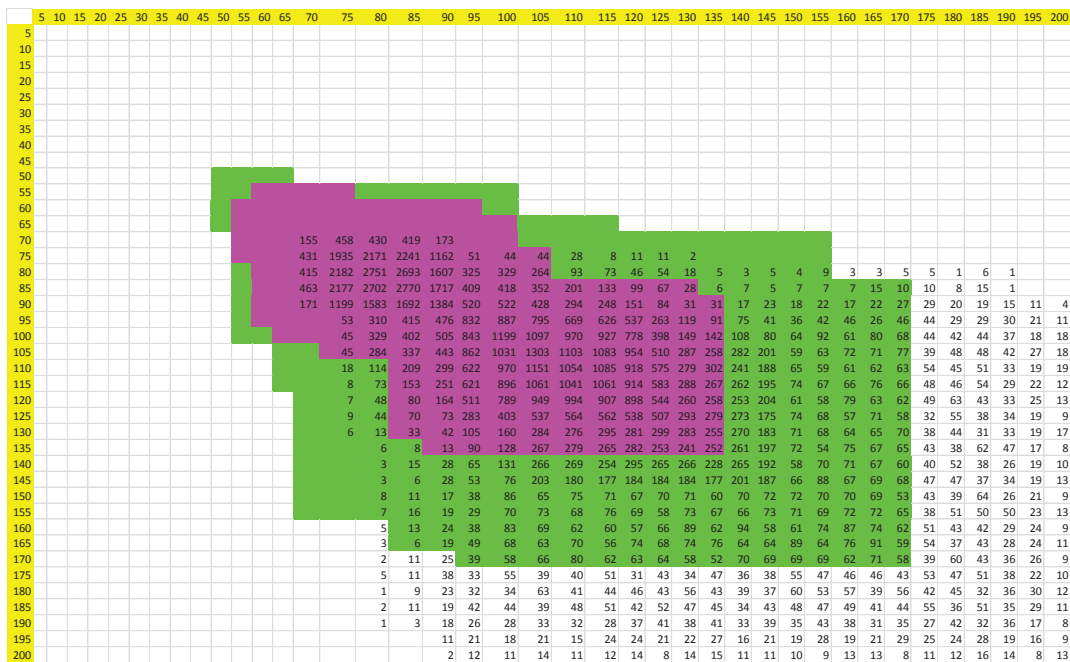


Figura 2. Atractor M3, que corresponde a paciente con una arritmia en control. Se pueden observar las tres regiones definidas en el espacio de fases: **Región 1:** Color fucsia; **Región 2:** Color verde; **Región 3:** Resto del espacio de fases, color blanco. En los ejes coordenados, se encuentran los valores de los rangos de frecuencias de 5 lat/min.

agudas, tanto en pacientes que hagan uso del medicamento como en pacientes que no, pero en el caso de los pacientes tratados con Metoprolol, la proporción de casos agudos es significativamente menor.

Por ejemplo, los pacientes M7, que representa un caso de arritmia en estudio y M10, un caso de control médico, presentaron valores en las restas de Miles, entre 2,066 y 2,732, respectivamente, valores que evidencian qué tan lejos se registran de la normalidad. En el caso del paciente M10, al cual se le hace la prueba por control médico, su dinámica cardíaca está alertando un estado de agudización.

Como resultado del análisis estadístico, se determinó que los valores para la especificidad y sensibilidad de los Holter evaluados fueron del 100%, al comparar el diagnóstico matemático con el Patrón de Oro; de la misma manera, el valor correspondiente a la concordancia entre el diagnóstico físico matemático y el diagnóstico clínico convencional, determinado mediante el coeficiente Kappa, fue igual a 1, lo que confirmaría la capacidad de la metodología para dar cuenta del estado patológico y el nivel de evolución hacia enfermedad aguda de dinámicas arrítmicas de pacientes con y sin tratamiento de Metoprolol, independientemente, de la etiología de la enfermedad, edad o factores de riesgo.

El cálculo de la entropía proporcional permite hallar el orden subyacente al atractor geométrico generado, representando la auto-organización de los valores de probabilidad de los pares de frecuencias cardíacas ordenadas, permitiendo un análisis matemático y físico de la dinámica cardíaca. Cada atractor geométrico es análogo a una ventana temporal, noción de Prigogine, quien afirma que sólo podemos tener ventanas temporales de cualquier fenómeno (Rañada, 1990). Así, los atractores son ventanas temporales en un espacio acotado y finito, que permite cuantificar los estados geométricos de las dinámicas, diferenciando normalidad, enfermedad y evolución, entre estos estados. En estudios posteriores, al evaluar diferentes momentos de la dinámica de un paciente, mediante los atractores, se podría observar la evolución de una dinámica arrítmica, bajo los efectos de tratamiento con Metoprolol u otros β -bloqueadores.

La acumulación de hechos experimentales, como base para la comprensión del funcionamiento de la naturaleza, camino abierto por Bacon (Yates, 1979), limita el conocimiento de la naturaleza a la capacidad que se tenga para hacer experimentos y, además, siempre se observan los fenómenos desde una mirada descriptiva, lo que genera clasificaciones de los hechos, pero no permite desarrollar teorías universales, que den cuenta de todos estos hechos particulares, teorías como la desarrollada por Sir Isaac Newton (Granés, 1988), la cual, a partir de inducciones físico-matemáticas, buscaba establecer relaciones matemáticas generales, que fun-

damentaran un orden usual del fenómeno sin necesidad de clasificaciones, sino que, a partir de la teoría, se predecían, de forma general, los fenómenos particulares, es decir, Bacon efectuaba experimentos para ver qué pasaba, mientras que Newton hacía experimentos para confirmar lo que ya sabe, desde la teoría. La metodología que se aplica en este trabajo, se basa en el método de la física teórica, en busca de generalizaciones físicas y matemáticas, que predigan todos los casos particulares; de esta forma, en este trabajo, se hicieron "experimentos", para confirmar lo que ya se sabía a la luz de la metodología matemática y es que por el orden establecido en el atractor geométrico lo que se esperaba es que las dinámicas arrítmicas ocuparan más espacio y su distribución de probabilidades de rangos de frecuencias cardíacas fuera muy diferente a una dinámica normal (Figura 1 y 2), como se pueden observar en las proporciones de la entropía.

Agradecimientos: Agradecemos a la Universidad del Bosque, especialmente, a la División de Investigaciones, por el apoyo brindado. Un agradecimiento especial a Catalina Correa y Yolanda Soracipa, investigadoras del Grupo Insight por el manejo del software y ayuda en los cálculos. De igual forma, agradecemos al Centro de Investigaciones de la Clínica del Country, por el apoyo a nuestras investigaciones. **Financiación:** La presente investigación fue financiada por el Fondo de investigaciones de la Universidad del Bosque, a través del proyecto PIC-2013-369. **Conflicto 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.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANH, D.; MARINE J. 2004. Beta Blockers as Anti-Arrhythmic Agents. *Heart Fail Rev.* 9:139-147.
2. BEKENSTEIN, J. 2003. La información en el Universo holográfico. *Investigación y ciencia.* p.36-43.
3. CARVAJAL, A.L. 2006. Indicaciones de monitoría electrocardiográfica ambulatoria de 24 horas (Holter) para la valoración de síntomas cardiovasculares. En: Cabrales, M.F.; Vanegas D.I. (Eds). *Manual de métodos diagnósticos en electrofisiología cardiovascular.* Soc. Col. Cardiología y Cirugía Cardiovascular (Bogotá). p.67-70.
4. CHATTERJEE, S.; BIONDI-ZOCCAI, G.; ABBATE, A.; D'ASCENZO, F.; CASTAGNO, D.; VAN TASSELL, B.; MUKHERJEE, D.; LICHESTEIN, Ch. 2013. Benefits of β blockers in patients with heart failure and reduced ejection fraction: network meta-analysis. *BMJ.* (United Kingdom). 346:f55. doi: 10.1136/bmj.f55.

5. CHEN, W.; SHI, X.; YANG, T.; ZHAO, L.; GAO, L. 2013. Protective effect of metoprolol on arrhythmia and heart rate variability in healthy people with 24 hours of sleep deprivation. *J. Interv. Card. Electrophysiol.* (Netherlands). 36:267-272.
6. FEYNMAN, R.P.; LEIGHTON, R.B.; SANDS, M. 1998. Probabilidad. Física. Vol. 1. 1a. ed. Wilmington Addison-Wesley Iberoamericana, S. A. (México). p.6-16.
7. GOLDBERGER, A.; AMARAL, L.; HAUSDORFF, J.M.; IVANOV, P.; PENG, C.H.; STANLEY, H.E. 2002. Fractal dynamics in physiology: alterations with disease and aging. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* (United States). 99:2466-2472.
8. GRANÉS, J. 1988. Newton y el empirismo. Una exploración de las relaciones entre sus concepciones del conocimiento del mundo natural. Universidad Nacional de Colombia (Bogotá). p.34-53.
9. GUILLEN, P.; VALLVERDÚ, M.; ROJAS, R.; JUGO, D.; CARRASCO, H.; CAMINAL, P. 2001. Dinámica no lineal para caracterizar la dinámica la variabilidad del ritmo cardíaco en pacientes chagásticos. Memorias II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomedica, Habana Cuba. Disponible desde internet en: http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/15820/1/dinamica_nolineal.pdf (con acceso 21/01/2014).
10. GUYTON, A.; HALL, J. 2011. Organización funcional del cuerpo humano y control del «medio interno». En: Guyton, A.; Hall, J. (eds). *Tratado de fisiología médica*. 12a. edición. Elsevier (Barcelona). p.3-10.
11. KOLMOGOROV, A.N. 1956. Foundations of the theory of probability. Chelsea (New York). p.2-6.
12. MACHTA, J. 1999. Entropy, information, and computation. *Am. J. Phys.* (United States). 67(12):1074-1077.
13. OMS. 2013. Centro de prensa. Enfermedades Cardiovasculares. Nota descriptiva. Marzo de 2013. Disponible desde Internet en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/es/index.html> (con acceso 13/04/2013).
14. PEITGEN, H. 1992. Strange attractors, the locus of chaos. En: Peitgen, H.: *Chaos and Fractals: New Frontiers of Science*. Springer-Verlag (New York). p.655-768.
15. PIZARRO, P.; FERNÁNDEZ, L.; FÜESTER, V.; FERNÁNDEZ, R.; GARCÍA, J.; GARCÍA, A.; MATEOS, A.; BARREIRO, M.; ESCALERA, N.; RODRÍGUEZ, M.; MIGUEL, A.; GARCIA, I.; PARRA, J.; SÁNCHEZ, J.; PARDILLOS, L.; NIETO, B.; JIMÉNEZ, A.; ABEJÓN, R.; BASTANTE, T.; MARTÍNEZ DE VEGA, V.; CABRERA, J.; LÓPEZ, V.; GUZMÁN, G.; GARCÍA, J.; MIRELIS, J.; ZAMORANO, J.; ALBARRÁN, A.; GOICOLEA, J.; ESCANED, J.; POCOCK, S.; INÍGUEZ, A.; FERNÁNDEZ, A.; SÁNCHEZ, V.; MACAYA, C.; IBÁÑEZ, B. 2014. Long term benefit of early pre-perfusion metoprolol administration in patients with acute myocardial infarction. *J. Am. Coll. Cardiol.* (United States). 63(22):1-20.
16. RAÑADA A. 1990. Introducción. En: Rañada A. *Orden y Caos*. Scientific American. Prensa Científica S.A. (Barcelona). p.4-8.
17. RODRÍGUEZ, J. 2010. Entropía proporcional de los sistemas dinámicos cardíacos. Predicciones físicas y matemáticas de la dinámica cardíaca de aplicación clínica. *Rev Col Cardiol.* 17:115-129.
18. RODRÍGUEZ, J.; PRIETO, S.; BERNAL, P.; IZASA, D.; SALAZAR, G.; CORREA, C.; SORACIPA, Y. 2011. Entropía proporcional aplicada a la evolución de la dinámica cardíaca Predicciones de aplicación clínica. Comunidad del Pensamiento complejo. Argentina. En prensa.
19. RODRÍGUEZ, J.; ÁLVAREZ, L.; TAPIA, D.; LÓPEZ, F.; CARDONA, M.; MORA, J.; ACUÑA, C.; TORRES, V.; PINEDA, D.; ROJAS, N. 2012. Evaluación de la dinámica cardíaca de pacientes con arritmia con base en la Teoría de la Probabilidad. *Medicina (Colombia)*. 34(1):7-16.
20. RODRÍGUEZ, J.; NARVÁEZ, R.; PRIETO, S.; CORREA, C.; BERNAL, P.; AGUIRRE, G.; SORACIPA, Y.; MORA, J. 2013. The mathematical law of chaotic dynamics applied to cardiac arrhythmias. *J. Med. Med. Sci (Nigeria)*. 4(7):291-300.
21. SHANNON, C.E. 1948. The mathematical theory of communication. *Bell Syst Tech J.* 27:379-423.
22. SKIBA, M.; PICK, A.; CHAUDHURI, K.; BAILEY, M.; KRUM, H.; KWA, L.; ROSENFELDT, F. 2013. Prophylaxis against atrial fibrillation after cardiac surgery: beneficial effect of perioperative Metoprolol. *Heart, Lung Circulation (United States)*. 22:627-633.
23. TOLMAN, R. 1979. Principles of statistical mechanics. Dover Publications (New York). 704p.

24. UAE-CRES. 2011. Comisión de Regulación en Salud. Evaluación de la eficacia, efectividad, seguridad y análisis económico de Metoprolol succinato frente al Metoprolol tartrato en hipertensión arterial, arritmias cardíacas y angina de pecho, tratamiento del infarto agudo de miocardio y terapia pos-infarto y su posible inclusión al plan obligatorio de salud. Bogotá. Colombia.
25. YATES, F. 1979. The Occult Philosophy in the Elizabethan Age. Routledge & Kegan Paul (Londres). p.61-68.

Recibido: Agosto 25 de 2014

Aceptado: Septiembre 10 de 2015

Cómo citar:

Rodríguez, J.; Prieto, S.; Mendoza, F.; Velásquez, N. 2015. Evaluación físico matemática de arritmias cardíacas con tratamiento terapéutico de metoprolol a partir de las proporciones de la entropía. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 301-310.

CONSUMO DE DROGAS DE USO LÍCITO E ILÍCITO EN JÓVENES UNIVERSITARIOS DE LA U.D.C.A

ILLICIT AND LICIT DRUG CONSUMPTION BY U.D.C.A'S COLLEGE STUDENTS

Linda Shirley Segura¹, Nelly Esther Cáliz²

¹ Enfermera. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, calle 6A este # 5-03, Facatativá, Cundinamarca, e-mail: liseadura@udca.edu.co; ² Enfermera, Magister en Psicología Comunitaria, Candidata a Doctora en Salud Colectiva, Docente titular. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, calle 222 No. 55-30, Bogotá, Colombia, e-mail: ncaliz@udca.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 311-319, Julio-Diciembre, 2015

RESUMEN

Se investigó el consumo de drogas de uso lícito e ilícito en jóvenes universitarios de la U.D.C.A, bajo un diseño descriptivo, observacional y de corte transversal, en una muestra de 128 estudiantes. El instrumento utilizado fue el cuestionario, aplicado en el II estudio epidemiológico andino sobre consumo de drogas en la población universitaria, del 2012 y el Test de trastornos relacionados con el consumo de alcohol (AUDIT). Los principales resultados muestran que las sustancias más consumidas son el alcohol, el tabaco y la marihuana; los determinantes sociales del consumo, se asocian a la facilidad de acceso, a la oferta y oportunidad de probar drogas de uso ilícito, al igual que la curiosidad y el consumo de este tipo de sustancias, por parte de amigos. Como factor protector, se identificó el decir "No" ante la oportunidad de consumo. Se concluye y se recomienda la participación activa de la Universidad, en programas promocionales de la salud, que se fundamenten en la constitución de un joven crítico y autónomo frente a la oferta y consumo de sustancias psicoactivas.

Palabras clave: Drogas ilícitas, adolescente, determinantes sociales de la Salud, universidades, consumidores de drogas.

SUMMARY

The consumption of licit and illicit drug use among university students of U.D.C.A, under a descriptive, observational and cross-sectional design, in a sample of 128 students was investigated. The instrument used was the questionnaire applied in the II Andean epidemiological study on drug use in the student population of 2012 and the Test of disorders related to alcohol consumption (AUDIT). The main results

show that the most consumed substances are alcohol, snuff and marijuana; social determinants of consumption are associated with the accessibility, supply and opportunity to test drugs for illicit use, like curiosity and the consumption of these substances by friends. As a protective factor saying "No" to the consumer opportunity was identified. The active participation of the University in health promotion programs, based on the formation of a critical and independent young facing the supply and consumption of psychoactive substances is recommended

Key words: Illicit drugs, teenager, social determinants of health, universities, drug users.

INTRODUCCIÓN

El consumo de sustancias psicoactivas ha sido una práctica cultural y ancestral desde los inicios de la humanidad y es así como comunidades antiguas del medio oriente, Asia, América, Europa, África y comunidades indígenas actuales, utilizaron y utilizan estas sustancias al interior de su medicina tradicional o en las experiencias rituales, como medio para transitar al plano espiritual, sin que ello represente un problema social (Sierra, 2012); sin embargo, en sociedades occidentalizadas modernas, esta práctica ha alcanzado dimensiones sociales totalmente diferentes y el uso de drogas, en el ámbito mundial y en poblaciones de países con serios problemas sociopolíticos y económicos, como Colombia, El Salvador, Perú, Ecuador, México y, en general, América Latina, se constituye en un problema, que afecta a individuos, familias y comunidades, tanto por la adicción física y psíquica del consumidor problemático y su exposición a enfermedades como el SIDA y la hepatitis B, como por los efectos sociales del narco y el microtráfico de estupefacientes, sobre la sociedad.

El consumo de sustancias psicoactivas, como un fenómeno social que, además de estar determinado en el plano singular por las características del sujeto consumidor y su relación con la sustancia psicoactiva, es necesario abordar. También, es un evento que emerge en el plano particular, como resultado de las condiciones de vida de las personas y del microtráfico en el territorio y en el plano general, por aspectos, como la alta rentabilidad económica del narcotráfico y las prácticas corruptivas de estamentos gubernamentales y no gubernamentales, involucrados con las mafias y la economía criminal.

Con respecto al plano general, los informes presentados por la ONU contra la Droga y el Delito muestran que, a nivel mundial, el tamaño total de los mercados de las drogas de uso ilícito pueden llegar a unos US\$320.000 millones, lo que equivale el 0,9% del PIB mundial; por su parte, los mercados de venta minorista de drogas en las Américas fueron estimados en \$151.000 millones, es decir, aproximadamente, el 47% del total mundial, en los cuales, Norteamérica participa alrededor del 44% del total mundial y Europa, con el 33%; en cambio, el mercado de Sudamérica, Centroamérica y el Caribe fue cerca del 3%, del total mundial (OEA, 2013). En esta dinámica, Colombia ingresa, como parte de las redes de narcotráfico, hacia finales de la década de 1960, inicialmente, con la marihuana y, hoy, es reconocido como el segundo productor de cocaína en el mundo (El Tiempo, 2014).

Como ya se mencionó, el problema social en torno a la producción, la distribución y el consumo de sustancias psicoactivas emergen según el contexto político, económico y cultural del país y es así como en Colombia, cuatro situaciones determinaron, en términos generales, el fenómeno del narcotráfico, en torno a la cocaína, específicamente. El primero tiene relación con el poder latifundista, que obliga al campesino a emigrar hacia terrenos baldíos, por fuera de la frontera agrícola y el cultivo de la hoja de coca, que proviene de Bolivia, se convierte en una opción económica para su sobrevivencia (Tascon, 2012; Thoumi, 2009).

Segundo, la importación desregulada de alimento con la llegada del neoliberalismo, generó crisis económicas en muchos campesinos, que no tuvieron otra salida que complementar el cultivo de productos lícitos con cultivos ilícitos, como una manera de afrontarla; tercero, el financiamiento de la guerra civil no declarada, proveniente de la producción y de la comercialización de la cocaína por parte de los actores involucrados: guerrilla y paramilitarismo, que instaló, en el gran parte del territorio colombiano, el cultivo de la hoja de coca, por parte de familias campesinas y su venta a los narcos compradores, como la guerrilla y los paramilitares (Tascon, 2012; Thoumi, 2009). Los mismos autores indican, que las prácticas corruptivas del Estado, como cuarto factor categórico, permitieron crear todas las condiciones para que

se afianzara la economía ilegal entorno a la producción y a la comercialización de algunos estupefacientes.

Estos cuatro aspectos constituyeron en Colombia, los principales factores determinantes, para consolidar la industria de la drogas y una fuerte economía ilegal, que no solo quedó circunscrita al campo económico, sino que, también, permeó el campo político y cultural, acuñando términos, como la narco política y la narco cultura (Mejía, 2010).

En el plano particular, dimensión relacionada con las condiciones y el modo de vida de los grupos sociales, los estudios identifican cuatro determinantes del consumo de drogas en los jóvenes: el primero de ellos hace referencia a la oferta y a la accesibilidad de drogas en el territorio, estimulada por el auge del microtráfico de sustancias psicoactivas, en aquellos lugares donde los jóvenes estudian, habitan, se divierten y circulan, como son los colegios, las universidades, la cercanía a los centros comerciales, los parques y los centros de diversión (Morales *et al.* 2011). Un segundo determinante corresponde al entorno familiar, en el que las sustancias psicoactivas hacen parte de las prácticas y de los hábitos de consumo o, en algunos casos, la venta de estas sustancias, como estrategia de sobrevivencia, a la que se dedican las mujeres con un limitado acceso al trabajo "legal", a las oportunidades sociales, económicas y culturales, para satisfacer sus necesidades y las de sus familias (Palma Campos, 2011).

Se identifican, también, las relaciones entre pares, como un determinante que, en este plano, puede incidir en el consumo o no de sustancias psicoactivas; al respecto, la literatura científica muestra que el uso de estas sustancias por parte de amigos y de compañeros de estudio, resulta ser un desencadenante de consumo en el joven (Varela *et al.* 2007; Londoño Pérez & Valencia Lara, 2008; Rodríguez *et al.* 2012). Por último, en el plano particular de las condiciones de vida, las prácticas culturales –en torno al ocio y la recreación– son facilitadoras del uso de las sustancias psicoactivas, por parte de jóvenes universitarios. En la actualidad, el consumo recreativo de drogas, legales e ilegales, se ha convertido en una práctica común de muchos jóvenes, tal como lo muestra la revisión adelantada por Tomás *et al.* (2003), en el artículo, Jóvenes, fin de semana y uso recreativo de drogas: evolución y tendencias del ocio juvenil.

Otras investigaciones han identificado que las características personales, ubicados en el plano singular, que pueden predisponer al consumo o abuso de sustancias psicoactivas de uso legal e ilegal, por parte de la población universitaria, son la corta edad, la necesidad e importancia de sentirse aceptado, el poco interés en los riesgos del consumo y, en algunos casos, la ansiedad y la depresión; en esta época, se presenta una mayor vulnerabilidad a caer en un consumo irresponsable, por la facilidad de acceso al consumo recrea-

tivo, que puede conllevar a los efectos más nocivos, como la dependencia, conductas sexuales riesgosas, abandono de las actividades académicas o problemas en las relaciones sociales (Prieto Silva *et al.* 2012).

Otro aspecto importante en el análisis del consumo de sustancias psicoactivas compete a la necesidad de caracterizar el sujeto que consume, la sustancia y el tipo de consumo. Para la población de jóvenes universitarios, específicamente en Latinoamérica, la sustancia psicoactiva más consumida de uso legal es el alcohol y de uso ilegal, la marihuana. En Colombia, el 95,8% de los estudiantes declararon haber consumido alcohol alguna vez, seguido de Ecuador, con un 88,7%; Perú, con 87,5% y Bolivia, un 77,1%. La edad promedio de inicio del consumo de alcohol es de 17,5 años, en Bolivia; 15,3, en Colombia; 16,4, en Ecuador y 16,2 años, en Perú. Entre los consumidores de alcohol, del último año, un 39,7% de los estudiantes, de Bolivia; un 36,6%, en Ecuador; un 31,1%, en Colombia y un 25,1%, en Perú; califica como consumidor que presenta riesgo o uso perjudicial de alcohol, siendo el mayor porcentaje entre los hombres que entre las mujeres, en todos los países (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2012).

Respecto a la marihuana, 1 de cada 3 estudiantes, en Colombia, declara haber consumido esta sustancia, por lo menos una vez, mientras que en Ecuador, el 21,3% y menos del 12%, en Bolivia y en Perú, con una edad promedio de inicio de 18 años, presentándose mayor consumo en hombres que en mujeres, en los cuatro países. La prevalencia del último año de consumo de marihuana presenta tasas de 3,6%, en Bolivia; 15,2%, en Colombia; 8,8%, en Ecuador y 4,2%, en Perú. Es así como Colombia refleja la mayor tasa de consumo y, a la vez, los estudiantes colombianos manifiestan la menor percepción de riesgo, frente al uso de esta sustancia. Se estima, también, que entre un 26,0 y 29,2% de los estudiantes de Colombia, Ecuador y Perú pueden ser considerados abusadores o con signos de dependencia a la marihuana (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2012).

Este panorama nos muestra que la práctica de consumo de sustancias psicoactivas es una situación de alcance local y mundial, siendo realmente problemática las estadísticas que indican signos de abuso, de dependencia y de muerte, en razón, primero, a que son seres humanos y, segundo, a un momento de vida, en el que hombres y las mujeres proyecta su existencia.

Estos signos de abuso o de dependencia son resultado del tipo de relación que se establezca con las sustancias, también denominado tipología del consumo, por la literatura científica. A la fecha, se han tipificado seis modalidades de consumo, entre ellos, el experimental, el recreativo, el habitual, el compulsivo, el problemático y, por último, el

consumidor expendedor. El consumidor experimental es el individuo que prueba una o más sustancias, una o dos veces y decide no volverlo a hacer; el recreativo, cuando es realizado con mediana regularidad entre círculos de amigos, en contextos de ocio (rumba, paseos), pero también ocupa su tiempo libre en otras actividades, donde no hay presencia de sustancias psicoactivas y no lo considera como un “escape” o una “solución” a sus problemas; el habitual, donde la sustancia psicoactiva ya juega un papel importante en la vida y cumple funciones cada vez que la consume, por lo que es muy probable que lo haga repetidamente; el compulsivo, se evidencian signos de dependencia, no sólo de la sustancia psicoactiva sino, adicionalmente, de los amigos y del estilo de vida que desarrolla en torno a ella; consumo problemático, se evidencian problemas sobre la salud física, mental y social y, finalmente, el consumidor-expendedor, referido a las personas que comercializan pequeñas dosis de sustancias psicoactivas ilegales, con la intención de financiar su propio consumo, que se encuentra en las categorías de problemático y de dependencia, antes expuestas (Secretaría Distrital de Salud, 2011).

Para el caso de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, escenario de la presente investigación, existe por parte de docentes y de directivas, la percepción de un incremento en el consumo de sustancias psicoactivas, pues se han identificado lugares de expendio y de consumo al interior de campus. Investigaciones anteriores han mostrado que el consumo de sustancias psicoactivas de uso legal e ilegal es una práctica por parte de los estudiantes de la U.D.C.A; sin embargo, a la fecha no se había realizado un perfil de consumo y tampoco una sistematización de las aproximaciones iniciales, que la Dirección de Bienestar Social Universitario y el Comité de Ética Institucional, tenían con respecto a esta problemática.

Es a partir de este contexto, donde surge la pregunta que guio este trabajo: ¿Cuál es el consumo de drogas de uso lícito e ilícito en los jóvenes universitarios de las áreas de Ciencias de la Salud y Ciencias Pecuarias de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, año 2014? y, en consecuencia, el objetivo general asociado al establecimiento de dicho perfil.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación, se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de tipo observacional, descriptivo y transversal. La población de estudio fueron 2.096 estudiantes, matriculados para el primer semestre de 2014, en los programas académicos de Enfermería, Medicina Humana, Medicina Veterinaria y Medicina Veterinaria y Zootecnia. La muestra correspondió a 128 jóvenes universitarios, seleccionados mediante muestreo probabilístico, estratificado y se calculó con la fórmula para

poblaciones finitas, tomada de Briones (2003). Para seleccionar la población participante, se aplicaron los siguientes criterios de inclusión: estudiantes de los programas académicos establecidos para la muestra, hombres, mujeres, de segundo a último semestre y que respondieron sí, en el consentimiento informado.

Instrumentos de investigación: El instrumento utilizado fue el mismo aplicado en el II estudio epidemiológico Andino sobre consumo de drogas en la población universitaria de 2012, elaborado por el Observatorio Interamericano sobre Drogas (OID), Comisión Interamericana para el Control del Abuso de Drogas (CICAD) y profesionales del Programa Antidrogas Ilícitas de la Comunidad Andina (PRADICAN), validado para la población universitaria en Colombia, que puede ser consultado en: http://cicad.oas.org/oid/pubs/PRADICAN_Informe_Regional.pdf. Para evaluar la tasa de abuso del alcohol, se aplicó un instrumento de percepción, a aquellas personas que declararon haber consumido esta sustancia en los últimos doce meses; este instrumento es el AUDIT (Babor *et al.* 2001), sugerido por la Organización Mundial de la Salud, que evalúa el uso perjudicial o riesgoso del alcohol.

Trabajo de campo: El proceso de investigación, se llevó a cabo en tres momentos: el primero, una revisión exhaustiva, en artículos científicos originales, de revisión y reflexión, sobre el fenómeno de estudio y el consumo de drogas en jóvenes universitarios; el segundo, la búsqueda y la selección de un instrumento validado para la recolección de información y, el tercer momento, el trabajo de campo; por último, se procesó la información y se elaboró el análisis estadístico descriptivo, en una base de datos, creada en Microsoft Excel.

Consideraciones éticas: Cumpliendo con los criterios éticos de la investigación en salud, se explicó y se entregó el consentimiento informado, con capacidad de libre elección y sin coacción alguna a los participantes, al inicio de los grupos focales, basado en la Resolución N° 008430 de 1993.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las sustancias, los participantes y el tipo de consumo: Las sustancias psicoactivas de uso legal más consumidas por la población encuestada son el tabaco, el alcohol y las drogas farmacológicas, como los tranquilizantes y, de uso ilegal, la marihuana (Gráfico 1), comportamiento similar a las estadísticas registradas en los últimos Informes Mundiales sobre Drogas (INODC, 2012; 2013), en el Estudio Nacional de Consumo de Sustancias Psicoactivas en Colombia, de 2013 (Gobierno Nacional de la Republica de Colombia, 2013), en el II Estudio Epidemiológico Andino sobre Consumo de Drogas en la Población Universitaria (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2012) y en otras investigaciones, como la adelantada en Brasil, por Ortega-Pérez *et al.* (2011), con una muestra de 500 jóvenes universitarios.

Para el caso del alcohol, que es la droga más consumida en la población participante, los indicadores de uso en este estudio (Gráfico 1) son similares al II Estudio Epidemiológico Andino, que reporta una prevalencia del 95%, alguna vez en la vida; 85%, último año y 61%, último mes y aunque la diferencia entre el primer momento de consumo, con respecto al consumo actual, en los dos casos, sea aproximadamente del 30%, la prevalencia sigue siendo alta. El alcohol es conocido como la droga de iniciación, seguida del tabaco y la

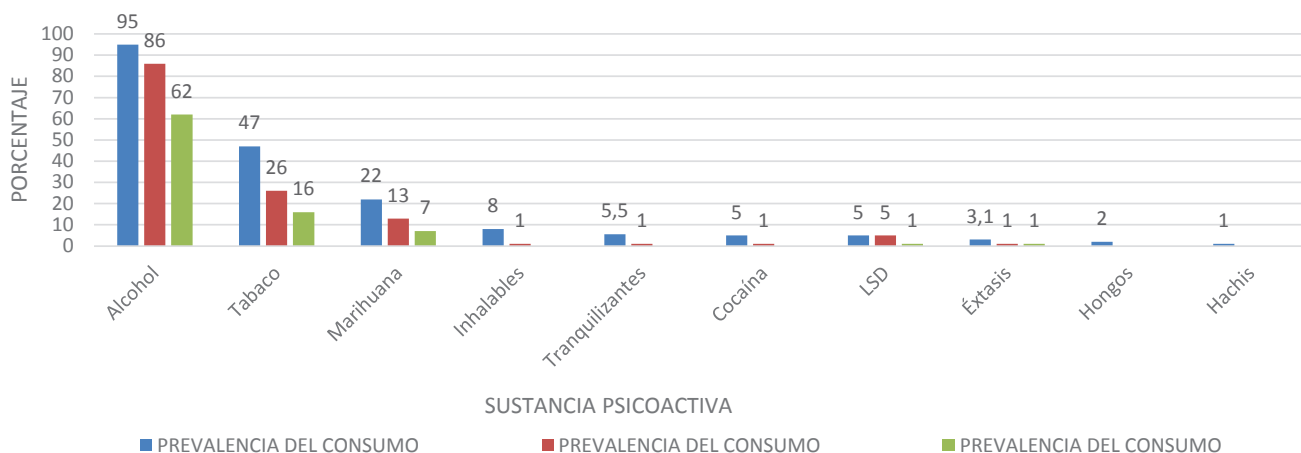


Gráfico 1. Prevalencia de consumo de sustancias psicoactivas de uso legal e ilegal.

marihuana, resultados similares a los reportados en los estudios de Ortega *et al.* (2011), Arrieta Vergara (2009), Medina *et al.* (2009), Sepúlveda *et al.* (2011) y Montoya *et al.* (2009).

En cuanto a los participantes, los hallazgos evidencian consumo en hombres y en mujeres de sustancias de uso legal, como el tabaco, el alcohol y los tranquilizantes; para el caso de la población LGBT, solo se observó consumo de alcohol. Por las diferencias que se reflejan en los diferentes momentos de consumo, alguna vez en la vida, reciente y actual, la proporción de consumidores habituales, compulsivos o problemáticos es menor a los consumidores experimentales y recreativos, lo que podría ser, un resultado del control que ejercen las normas sociales sobre los individuos, frente al uso de este tipo de sustancias, tal como se presenta en estudios realizados por Varela *et al.* (2007), en los cuales, la valoración negativa hacia las sustancias, tal como hacer el ridículo, comportarse indebidamente, involucrarse en situaciones peligrosas y llegar a la adicción, limitan, de manera importante, el consumo de las misma o también la capacidad de autocontrol y autorregulación, como lo han confirmado los estudios adelantados por Cáceres *et al.* (2006) y Calderón & Cáliz (2015).

Resulta preocupante que de la población que indicó tener consumo reciente de alcohol, el 30,91% presentan signos de dependencia, situación predominante en los programas de ciencias de la salud, grupo que, en teoría, maneja mayor información relacionada con factores de riesgos asociados a la salud. Este patrón de consumo es similar a un estudio realizado en población estudiantil, de una universidad pública en Medellín, en donde se halló que la totalidad de estudiantes muestran algún grado de riesgo en el consumo de alcohol, siendo elevada la proporción de estudiantes, con síntomas de dependencia (31%) y con consumo perjudicial (7%), lo que pone de manifiesto que, en la actual población, al igual que en todo el mundo, el uso y el abuso de alcohol es un problema de salud pública, que afecta a todos grupos etarios, particularmente, en adolescentes y en adultos jóvenes universitarios (Cardona & Orjuela, 2014; Castaño & Calderón, 2014).

Respecto al consumo de marihuana, se encontró que el 13% de los estudiantes, quienes declararon tener consumo reciente para esta droga, el 30% presentan signos de abuso; el 48%, de dependencia y el 11% de los estudiantes tienen, tanto signos de abuso como de dependencia, que se clasificarían como consumidores compulsivos o problemáticos. Para el consumo de cocaína no se encontraron hallazgos al respecto.

Determinantes sociales que exponen a la población participante, al consumo de sustancias psicoactivas de uso legal e ilegal: En el estudio, se identificaron cuatro

determinantes sociales, dos del plano particular, relacionadas con las condiciones de vida y dos del plano singular, asociados a las motivaciones de los jóvenes. Con respecto al plano particular, las variables estimadas fueron: facilidad de acceso, oferta y oportunidad de probar drogas de uso ilícito.

Los datos que se muestran en el gráfico 2, dejan entrever que la oferta de sustancias psicoactivas de uso ilegal, es una realidad para este grupo de jóvenes, a lo largo de su trayectoria universitaria y que, además, dicha oferta puede ser parte de la dinámica universitaria, a través de las redes de microtráfico, que pueden operar dentro y fuera de la universidad, tal como se muestran en el 20% de los encuestados, al manifestar que tiene conocimiento de lugares dentro de la Universidad, donde se venden drogas y, en el 16%, que saben de lugares, cerca de la universidad, donde se pueden conseguir este tipo de sustancias.

Esta situación, se constituye en un determinante importante del inicio y del consumo de estas sustancias y, aunque pocas investigaciones resaltan la oferta y la accesibilidad, como un condicionante importante en el consumo, se hace pertinente la reflexión de Calafat (2007) cuando plantea que:

“Los hábitos de consumo no son precisamente una forma de resistencia o de construcción de la identidad juvenil autónoma, sino más bien el fruto de la presión de una poderosa presión económica y cultural que conduce a muchos jóvenes a estilos de vida evasivos o fragmentados por la compulsión. Detrás de todo ello están las alcoholeras, pero mucho más importante es la industria de la diversión, con un poder clave no sólo en el orden económico o de influencias políticas, sino en crear imaginario colectivo, en pensar que es lo que puede gustar a los adolescentes y jóvenes para que consuman más”.

Con relación a este determinante, un factor que puede actuar como proceso protector frente a la exposición de los jóvenes a la oferta de sustancias psicoactivas ilícitas, hace referencia a la autonomía en la toma de decisiones y, según los datos para el grupo sujeto de estudio, el decir “No”, es un hallazgo que pueda explicar el bajo consumo de sustancias de uso ilícitas. En este sentido, se exploró la relación entre la oportunidad en el uso de drogas y el consumo de marihuana, encontrando que los estadísticos descriptivos de chi cuadrado, arrojaron una relación significativa, tal como lo muestran las tablas 1 y 2.

Por último, y en este mismo plano, cabe resaltar que aunque no se evidenció una relación estadísticamente significativa entre el consumo de sustancias de uso ilícito y aspectos asociados a satisfacción con la carrera, visión optimista del futuro, padres casados, buenas relaciones con ambos padres, mínimo de consumo de sustancias de uso ilícito en las familias y, finalmente, información recibida durante la etapa

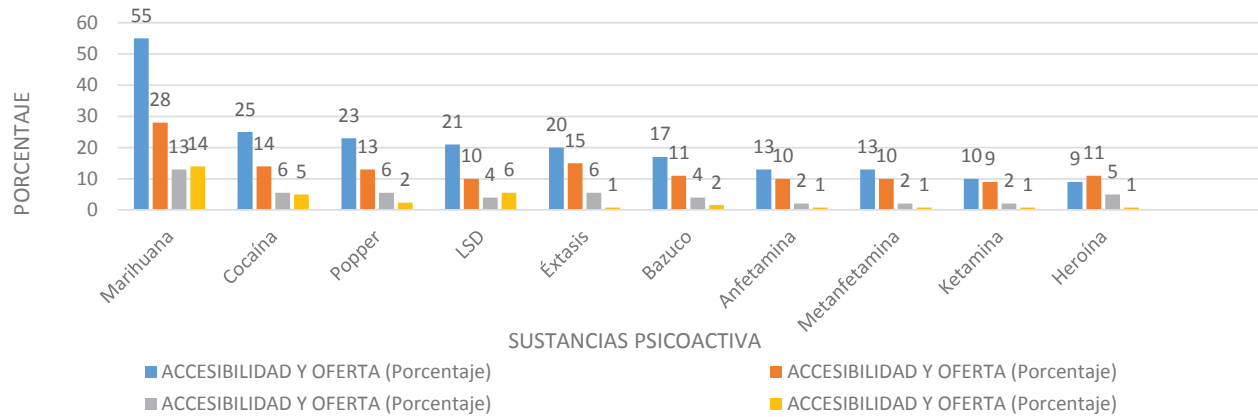


Gráfico 2. Accesibilidad y oferta de sustancias psicoactivas de uso ilegal.

Tabla 1. Pruebas de chi-cuadrado para la tabla de contingencia CONSUMO DE DROGAS ILÍCITAS [Marihuana] * Si tuviera la oportunidad, probaría alguna droga o sustancia ilícita.

	Valor	Gl	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	16,659 ^a	6	,011
Razón de verosimilitudes	18,872	6	,004
Asociación lineal por lineal	,774	1	,379
No. de casos válidos	128		

a. 3 casillas (25,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es ,94.

escolar sobre prevención del uso de drogas, sí se resalta que la mayoría de estudiantes encuestados muestran indicadores positivos al respecto, como se señala en la gráficas 3 y 4 que, en investigaciones adelantadas por Rodríguez *et al.* (2012) y González *et al.* (2015 se comportaron como factores protectores frente al consumo de drogas.

En el plano singular, las variables estudiadas fueron percepción de riesgo y curiosidad frente al consumo, observando que no existe relación significativa entre la percepción del riesgo y el consumo, pero sí para las variables de curiosidad y consumo de drogas por parte de amigos, con un chi cuadrado menor a 0,05, resultados que se ratifican en estudios adelantados por Calderón & Cáliz (2015).

A manera de conclusión, los hallazgos de esta investigación confirman los resultados de otros estudios, en cuanto al tipo

de sustancias y tipos de consumo, pero puede resultar novedoso en términos de los determinantes sociales del consumo, asociados a oferta, accesibilidad y oportunidad en el uso de las drogas, aspecto con poca evidencia en la literatura consultada.

Al respecto, una reflexión de cierre importante, en cuanto a considerar el consumo de drogas de uso legal e ilegal en jóvenes universitarios, como resultado de una red de determinaciones que transita en el plano general, del campo político y económico, como se mostró en la introducción de este artículo, aunque dichos aspectos no fueron objeto, ni alcance de estudio hacia el plano particular, es decir, su incidencia en el modo de vida y en el territorio donde habitan, estudian o trabajan las personas, ejemplo de ello, el microtráfico, la accesibilidad y la oferta de estupefacientes, las prácticas cul-

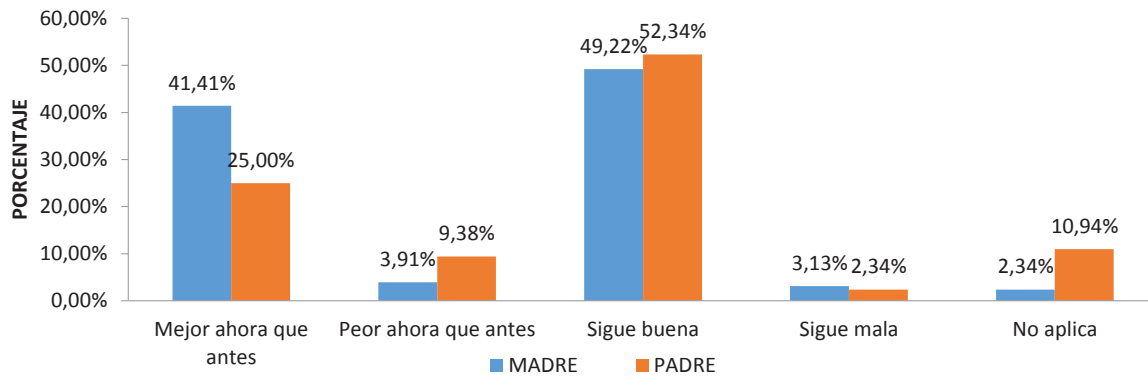


Gráfico 3. Relación con los padres.

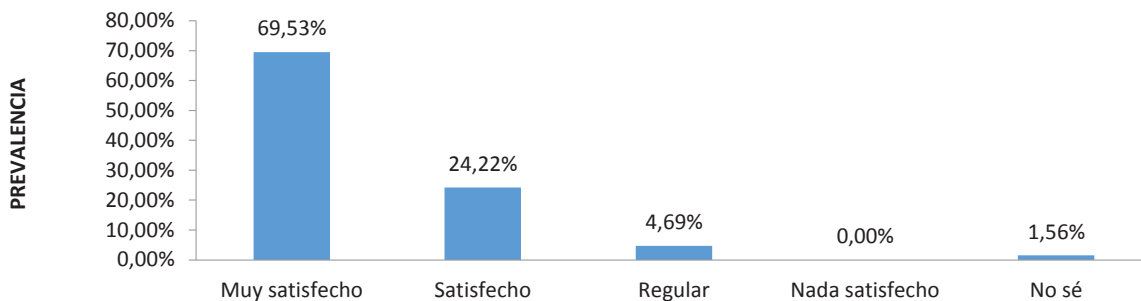


Gráfico 4. Satisfacción con la carrera.

turales frente al uso de psicoactivos de uso legal e ilegal en actividades de ocio y recreación, para materializarse –finalmente- en el consumo del joven universitario, quien puede disponer o no de capacidades para responder, de manera autónoma, ante la oferta de la sustancia o en la relación que establezca con ella, según haya sido su trayectoria de vida.

En esta línea de pensamiento, se recomienda que la Universidad sirva como un contexto abierto al razonamiento crítico frente al uso de la drogas lícitas e ilícitas, no solo en el marco de programas preventivos y asistenciales, sino, también, en la construcción y en la puesta en escena de estrategias colectivas, promocionales de la salud, en la que los(las) jóvenes –en espacios de debate y de reflexión-, asuman un papel protagónico en la construcción de una actitud y una práctica autónoma y consciente, frente al uso de las drogas.

Por ello, también se recomienda investigar, no solo en términos de procesos o factores deteriorantes que promueven el

consumo, sino en procesos o factores protectores que posibilitan una práctica autónoma y una relación autorregulada con las sustancias psicoactivas, de las personas como sujetos individuales y colectivos, pues las prácticas de ocio y de recreación en la sociedad en general, son prácticas grupales.

Agradecimientos: Agradecemos a los estudiantes de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A por su actitud receptiva frente a la investigación y a los profesores y las directivas, por el apoyo en su implementación. **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:** Investigación adelantada en el marco del programa de la Vicerrectoría de Investigaciones, Joven investigador U.D.C.A.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARRIETA VERGARA, K. 2009. Consumo patológico de alcohol entre los estudiantes de la Universidad de Cartagena. *Rev. Salud Pública, (Colombia)*. 11(6):878-886.
2. BABOR, T.; HIGGINS, J.; SAUNDERS, J.; MONTEIRO, M. 2001. Cuestionario de Identificación de los Trastornos debidos al Consumo de Alcohol. Organización Mundial de la Salud. Disponible desde Internet en: http://www.who.int/substance_abuse/activities/en/AUDITmanualSpanish.pdf?ua=1 (con acceso 17/08/2015).
3. BRIONES, G. 2003. Métodos y técnicas de investigación para las ciencias sociales. Editorial Trillas. (México). 364p.
4. CÁCERES, D.; SALAZAR, I.; VARELA, M.; TOVAR, J. 2006. Consumo de drogas en jóvenes universitarios y su relación de riesgo y protección con los factores psicosociales. *Univ. Psychol.* 5(3):521-534.
5. CALAFAT, A. 2007. El abuso de alcohol de los jóvenes en España. *Adicciones.* 19(3):217-224.
6. CALDERÓN, E.A.; CÁLIZ, N.E. 2015. Juventud y universidad: sujetos y escenarios para el debate crítico y autorreflexivo sobre el consumo de sustancias psicoactivas de uso legal e ilegal. *Gerencia y Políticas de Salud*, 14(28). Disponible desde internet en: <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/gerepolsal/article/view/13196/10538> (con acceso 02/10/2015).
7. CARDONA, J.; ORJUELA, L. 2014. Consumo de riesgo, síntomas de dependencia y consumo perjudicial de alcohol en estudiantes de una universidad pública de Medellín-2013. Disponible desde Internet en: dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5052064.pdf (con acceso 17/08/2015).
8. CASTAÑO, G.; CALDERÓN, G. 2014. Problemas asociados al consumo de alcohol en estudiantes universitarios. *Rev. Latino-Am. Enfermagem.* 22(5):739-746.
9. EL TIEMPO. 2014. Producción de cocaína en el 2013 fue la más baja en 10 años. Periódico El Tiempo, 26 de junio de 2014. Disponible desde Internet en: <http://www.eltiempo.com/politica/justicia/baja-produccion-de-cocaína-en-colombia/14175575> (con acceso 17/08/2015).
10. GOBIERNO NACIONAL DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. 2013. Estudio Nacional de Consumo de Sustancias Psicoactivas en Colombia 2013. Bogotá, 2014. Disponible desde Internet en: https://www.unodc.org/documents/colombia/2014/Julio/Estudio_de_Consumo_UNODC.pdf (con acceso 17/08/2015).
11. GONZÁLEZ, Y.; MANN, R.; HAMILTON, H.; ERICKSON, P.; SAPAG, J.; BRANDS, B.; KHENTI, A. 2015. The use of drugs between university student and the relation with abuse during childhood and adolescence. *Texto & Contexto-Enfermagem.* 24(spe.):88-96.
12. LONDOÑO PÉREZ, C.; VALENCIA LARA, C. 2008. Aserividad, resistencia a la presión de grupo y consumo de alcohol en universitarios. *Acta Col. Psicol.* 11(1):155-162.
13. MEDINA, L.; CUNNINGHAM, J.; STRIKE, C.; BRANDS, B.; MIOTTO, M. 2009. Normas percibidas por los estudiantes universitarios acerca de sus pares y el uso de drogas en Bogotá, Colombia. *Rev. Latino-Am. Enfermagem.* 17(spe):893-899.
14. MEJÍA, O. 2010. ¿Estado y cultura mafiosa en Colombia? Universidad Nacional de Colombia. (Bogotá). 239p.
15. MONTOYA, E.; CUNNINGHAM, J.; BRANDS, B.; STRIKE, C.; WRIGHT, M. 2009. Consumo percibido y uso de drogas lícitas e ilícitas en estudiantes universitarios en la Ciudad de Medellín, Colombia. *Rev. Latino-Am. Enfermagem.* 17(spe): 886-892.
16. MORALES, B.; PLAZAS, M.; SÁNCHEZ, R.; VENTURA, C. 2011. Factores de riesgo y de protección relacionados con el consumo de sustancias psicoactivas en estudiantes de enfermería. *Rev Latino-Am. Enfermagem.* 19 (esp):673-683.
17. ORGANIZACIÓN DE LOS ESTADOS AMERICANOS – OEA-. 2013. Las drogas en las Américas: Estudios. Capítulo 4. La Economía del Narcotráfico. 47p.
18. ORTEGA-PÉREZ, C.A.; COSTA-JÚNIOR, M.L.D.; VAS-TERS, G.P. 2011. Perfil epidemiológico de la drogadicción en estudiantes universitarios. *Rev. Latino-Am. Enfermagem.* 19:665-672.
19. PALMA CAMPOS, C. 2011. Delito y sobrevivencia: las mujeres que ingresan a la cárcel El Buen Pastor en Costa Rica por tráfico de drogas. *Anuario Estudios Centroam., U. Costa Rica.* 37:245-270.

20. PRIETO SILVA, R.; SIMICH, L.; STRIKE, C.; BRANDS, B.; GIESBRECHT, N.; KHENTI, A. 2012. Diversidad y complejidad en el fenómeno de las drogas: el policonsumo simultáneo en estudiantes universitarios en una universidad, Cundinamarca - Colombia. *Texto Contexto – Enfermería*. 21:49-55.
21. RODRÍGUEZ, A.H.; SIMICH, L.; STRIKE, C.; BRANDS, B.; GIESBRECHT, N.; KHENTI, A. 2012. Policonsumo simultáneo de drogas en estudiantes de pregrado del área de la salud en una universidad, León–Nicaragua. *Texto & Contexto Enfermagem*. 21:79-86.
22. SECRETARÍA DISTRITAL DE SALUD. 2011. Política pública para la atención y prevención del consumo y la vinculación a la oferta de sustancias psicoactivas en Bogotá D.C.
23. SECRETARÍA GENERAL DE LA COMUNIDAD ANDINA. 2012. II Estudio Epidemiológico Andino sobre Consumo de Drogas en la Población Universitaria. Informe Regional. Perú. Disponible desde Internet en: http://www.cicad.oas.org/oid/pubs/PRADICAN_Informe_Regional.pdf (con acceso 17/08/2015).
24. SEPÚLVEDA, M.; ROA, J.; MUÑOZ, M. 2011. Estudio cuantitativo del consumo de drogas y factores sociodemográficos asociados en estudiantes de una universidad tradicional chilena. *Rev. Médica Chile*. 139(7):856-863.
25. SIERRA, N. 2012. Drogas y universidad. Consejo Nacional de Control de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas (Consep). (Quito). Disponible desde Internet: en: <http://www.consep.gob.ec/descargas/2014/05/drogas-y-universidad.pdf> (con acceso 18/08/2015).
26. TASCÓN, F. 2012. Cocaína, escenarios de ilegalidad y especulación de capital. *América Latina 13/14, Revista del Doctorado en procesos sociales y políticos en América Latina 1º y 2º semestre 2012* /Universidad ARCIS. Editorial ARCIS: 197 – 233.
27. THOUMI, F. 2009. Las drogas ilegales, el fracaso de la política antinarcoóticos y la necesidad de reformas institucionales en Colombia. En: Toklatian, J. (comp). *La guerra contra las drogas en el mundo andino, hacia un cambio de paradigma*. Libros del Zorzal. (Buenos Aires). p.51-123.
28. TOMÁS, E.A.; TOMÁS, M.S.A.; SUÁREZ, J.R. 2003. Jóvenes, fin de semana y uso recreativo de drogas: evolución y tendencias del ocio juvenil. *Adicciones*: 15(2):7-33.
29. UNITED NATIONS OFFICE AND DRUGS AND CRIME –(UNODC-. 2012. Informe Mundial sobre las Drogas. New York. Disponible desde Internet en: https://www.unodc.org/documents/dataandanalysis/WDR2012/Executive_summary_spanish.pdf (con acceso 17/08/2015).
30. UNITED NATIONS OFFICE AND DRUGS AND CRIME –(UNODC-. 2013. Informe Mundial sobre las Drogas [Internet]. New York, 2013 Disponible desde Internet en: http://www.unodc.org/documents/lpobrazil/Topics_drugs/WDR/2013/Executive_Summary_translation_-_Spanish_-_V1383706.pdf (con acceso 17/08/2015).
31. VARELA, M.; SALAZAR, I.; CÁCERES, D.; TOVAR, J. 2007. Consumo de sustancias psicoactivas ilegales en jóvenes: factores psicosociales asociados. *Pensamiento Psicológico*. 3(8):31-45.

Recibido: Noviembre 28 de 2014

Aceptado: Octubre 14 de 2015

Cómo citar:

Segura, L.S.; Cáliz, N.E. 2015. Consumo de drogas de uso lícito e ilícito en jóvenes universitarios de la U.D.C.A. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 311-319.

CONTROL DEL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO EN DEPORTISTAS ESCOLARES

CONTROL OF SPORTS TRAINING IN SCHOOL ATHLETES

Diego A. Alzate S.¹, Carlos F. Ayala Z.², Luis G. Melo B.³

¹ Profesor Universidad de Caldas, Lic. Educación Física, Esp. Mgr. Facultad de Ciencias para la Salud, Integrante Grupo de Investigación Cumanday. Avenida Paralela, calle 48 esquina, Manizales, Caldas, Colombia, e-mail: diego.alzate@ucaldas.edu.co; ² Profesor Universidad de Caldas, Lic. Educación Física, Especialista en Procesos Pedagógicos del Entrenamiento Deportivo, Magister en Educación, Ph.D. en Ciencias de la Motricidad, Integrante Grupo de Investigación Cumanday, e-mail: federico.ayala@ucaldas.edu.co; ³ Tec. Educación Física, Ph.D Pedagogía – Entrenamiento deportivo, Facultad de Ciencias para la Salud, Integrante Grupo de Investigación Cumanday. Universidad de Caldas, Avenida Paralela, calle 48 esquina, Manizales, Caldas, Colombia, e-mail: luis.melo@ucaldas.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 321-328, Julio-Diciembre, 2015.

RESUMEN

Con el objetivo de determinar si a los deportistas escolares les fueron aplicados pruebas de control durante su proceso de entrenamiento para los IV Juegos Deportivos Escolares Centroamericanos y del Caribe, realizados en Armenia, Colombia, en 2013, fue desarrollado un estudio con enfoque cuantitativo, de corte transversal y alcance descriptivo, a una muestra por conveniencia de 233 deportistas escolares (102 hombres y 131 mujeres), quienes participaron en 12 deportes, representando a nueve países. El promedio de edad fue de 16,9 años $\pm 0,76$, con una edad deportiva de 7,26 años $\pm 3,27$. Fue administrada una encuesta elaborada por el grupo investigador y sometida a criterio de expertos. La información fue tratada con el programa SPSS (versión 17). Se encontró que a nueve de cada 10 deportistas les fueron aplicadas pruebas de control, siendo la más utilizada las físicas, con 169 respuestas, seguida de las médicas y obteniendo el menor número, las psicológicas. Hubo una fuerte asociación entre aplicación de las pruebas de control y deportistas, que pertenecen a ligas en sus respectivos países y medallería de oro obtenida, por diferentes países.

Palabras clave: Adolescente, atletas, pruebas de control, entrenamiento deportivo, formación deportiva.

SUMMARY

In order to determinate if school athletes are submitted to control tests during their training process for the IV Centro American and Caribbean Scholar Sport Games performed in Armenia, Colombia in 2013, a study with a quantitative

approach, a cross-sectional and descriptive scope, was developed. A convenience sample of 233 school athletes, 102 men and 131 women, representing nine countries and participating in 12 sports, was performed. The average age was of 16.9 ± 0.76 years, with a sport activity time of 7.26 ± 3.27 years. A survey developed by a research group and submitted to expert judgement was administered. Participation was voluntary. Information was treated with SPSS program (version 17). It was found that 9 out of 10 athletes underwent control tests, being the most applied the physic ones with 169 answers, followed by medical tests and in a lowest number psychological ones. There was a strong association between the application of control tests and athletes who belong to leagues in their respective countries and the gold medals obtained during the games by different countries.

Key words: Adolescent, athletes, control test, sport training, school sport.

INTRODUCCIÓN

El control es considerado un componente muy importante dentro del proceso de entrenamiento y de competición del deportista, sirve como apoyo a su formación y permite verificar cómo va el proceso (Vasconcelos, 2000; Navarro & Rivas, 2001; Borin *et al.* 2007a; Serrato, 2008; Calderón *et al.* 2011; Cuadrado *et al.* 2012). Valora, objetivamente, los aspectos que se relacionan con su estado, su nivel, la ejecución de la planificación y, especialmente, la eficacia en la competición, el alcance de los resultados establecidos y deseados (Reilly, 2001; Borin *et al.* 2007a; Cañadas & Ibáñez, 2010).

Además, permite modificarlo, si no se ajusta a los objetivos propuestos (Viru & Viru, 2003; Thiess *et al.* 2004; Martin *et al.* 2004; Weineck, 2005; Borin *et al.* 2007b; Yanci & Los Arcos, 2013), por lo que los procedimientos para el control del rendimiento deportivo son importantes y relevantes, para una calidad del proceso de entrenamiento deportivo (Alzate *et al.* 2012).

En este proceso de formación del deportista, el entrenador juega un papel importante, pues debe tener un gran conocimiento en relación al desarrollo deportivo del joven deportista (Freire, 2003; Gonçalves *et al.* 2012).

En consonancia con el papel del entrenador, Reilly (2001) y Murcia *et al.* (2004) expresan que los procesos de adaptación del deportista deben ser orientados al desarrollo, la valoración, el control y al análisis, por un grupo interdisciplinario de profesionales, que relacionen la información recolectada con: la capacidad funcional y los mecanismos de adaptación ante situaciones de solicitud máxima; la participación de las diferentes vías metabólicas de la producción de la energía necesaria para la actividad o el rendimiento físico-deportivo; la definición de su intensidad, la valoración de los mecanismos y la dinámica de la respuesta adaptativa, entre otros (Delgado, 2011; Campos, 2012).

Además de lo anterior, Pancorbo & Blanco (1990) y Murcia *et al.* (2004) manifiestan que la realización del control del entrenamiento, a partir de los estadios de crecimiento, en relación con los diversos resultados de competición del deportista, se cuidará su salud, redundando en el mejoramiento del proceso, orientándolo para la consecución de los logros propuestos.

Con base en los argumentos expuestos, del por qué es importante la aplicación de pruebas de control durante los diferentes periodos de preparación del deportista escolar, se consideró necesario determinar si a los deportistas que participaron a los IV Juegos Deportivos Escolares Centroamericanos y del Caribe les fueron aplicadas pruebas de control, además de establecer el tipo de pruebas aplicadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El tipo de estudio correspondió a un enfoque cuantitativo de corte transversal y de alcance descriptivo. Fueron encuestados por conveniencia 233 deportistas (102 hombres y 131 mujeres), debido a que no fue posible determinar los datos totales de los deportistas participantes en el evento.

La técnica empleada fue la encuesta, elaborada con base en una amplia referencia bibliográfica sobre la Teoría y Metodología del Entrenamiento Deportivo y bases de datos relacionados con trabajos de investigación científica, como Google

Académico, Redalyc, SciELO, Latindex, PubMed y Sport Discuss, además de páginas digitales sobre Educación Física y Deporte. La encuesta constaba de 26 preguntas, afines con seis tópicos de interés, que para efectos del presente artículo y en relación con el control de entrenamiento deportivo, se preguntó:

- 1) ¿A lo largo del proceso le han hecho pruebas de manera regular? Si – No;
- 2) ¿Cuáles son la pruebas más utilizadas?: A. Medidas corporales, B. Pruebas físicas, C. Habilidades deportivas, D. Valoraciones Médico deportiva, E. Valoración psicológica, que fueron cruzadas con alguna variables de interés, como: a) zona de residencia Rural – Urbana; b) tipo de institución educativa Pública – Privada; c) pertenece a liga deportiva: Si – No.

La encuesta fue elaborada por el grupo investigador, sometida a juicio de expertos nacionales y ajustada con base en una prueba piloto, realizada a deportistas no participantes en los juegos; ya que la muestra no fue probabilística ni representativa, no se pretende hacer inferencia de los resultados.

El tratamiento de los datos fue mediante la utilización del programa SPSS versión 17, utilizando frecuencia relativa y absoluta, promedio, desviación típica en algunas variables y chi-cuadrado para la significancia, cuando se cruzaron variables.

Los encuestados firmaron un consentimiento informado, en el cual, se les garantizaba la confidencialidad y el uso de la información, con fines académicos; además, la libertad para desistir de contestar alguna(s) preguntas o toda la encuesta, sin que eso tuviera consecuencia alguna. Se tuvo presente la Resolución 8430/1993 emitida por el Ministerio de Salud de la República de Colombia, Art. 11, dado que la solución del instrumento no implicaba riesgo para los participantes en el estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características demográficas de la población: Se evaluaron 233 deportistas, 102 hombres (43,8%) y 131 mujeres (56,2%), cuyo promedio de edad era de $16,94 \pm 0,78$ y $16,81 \pm 0,75$ y edad deportiva de $7,32 \pm 3,32$ y $7,21 \pm 3,25$, para hombres y mujeres, respectivamente. Al agrupar por deportes, se registró que el 16,7% eran de resistencia; 30,9% de fuerza-velocidad; 24,9% de conjunto y 27,5% de combate.

Aplicación de pruebas de control por parte de los entrenadores durante el periodo de formación de los deportistas: Durante el proceso de formación del deportista y, específicamente, en la planificación del entrenamiento deportivo,

se tienen en cuenta una gran variedad de elementos físicos, psicológicos, técnicos, tácticos e intelectuales, que se controlan y evalúan; por eso el control es considerado como el más importante (Ramos, 2001; Zhelyazkov, 2006), puesto que son evidencias de cómo va el proceso, determina los puntos fuertes y débiles de la preparación (Campos, 2012; Delgado, 1995; Jiménez *et al.* 2012) e identifica el verdadero potencial de rendimiento del deportista (Lanaro & Silveira, 2001; Pearson *et al.* 2006).

En el proceso de formación y de planificación del entrenamiento del deportista es indispensable realizar diagnósticos iniciales, que indiquen cómo se encuentra el joven en sus primeras etapas, para la planeación adecuada de las cargas (Faigenbaum *et al.* 2001; Urdanpilleta *et al.* 2013), siendo importante y determinante el papel del entrenador en los controles y en el seguimiento, para el alcance de los objetivos propuestos (Morales, 2005; Pérez, 2008; Burgess & Naughton, 2010; Pankhurst *et al.* 2013). Es así como al momento de preguntar al deportista escolar si en su proceso de formación les habían realizado algún tipo de pruebas de control (Figura 1), se halló que cerca de nueve de cada diez deportistas referenció que sí se le habían aplicado.

En esta investigación de Centro Americanos y del Caribe, no se presentan diferencias significativas ($p < 0,05$) en la aplicación de las pruebas, teniendo en cuenta el género, lo que indica que a ambos grupos les realizan controles, indistinta-

mente de su sexo. Estas respuestas tienen consonancia con lo que se evidenció en los entrenadores, quienes asistieron a los deportistas en juegos Suramericanos Medellín - 2010, donde la mayoría empleaba pruebas de control. Estos resultados tienen estrecha relación con lo descrito por Alzate *et al.* (2012), donde al 9,7%, no les hacían pruebas de control.

Como investigadores y con base en los autores anteriores (Alzate *et al.* 2012), comprendemos que, según lo encontrado, en el ámbito de América Latina, se presentan semejanzas en las propuestas de planificación deportiva, de características económicas, administrativas y formativas en torno a los procesos de formación deportiva y, específicamente, con el control del entrenamiento deportivo.

Se observa así, que se siguen presentando, en algunos entrenadores, dificultades para aplicar controles, pues se refleja en los resultados que no existe un seguimiento adecuado y continuo a los deportistas, para determinar cuál es su estado de preparación y de rendimiento, en relación a los propósitos planteados y que va en contra de llevar a cabo un proceso con objetividad, pues no hay previsión científica de los entrenadores, para conocer las características presentadas en el proceso y desde su inicio (Borin *et al.* 2007a), por posibles causas como: falta de conocimiento y reconocimiento de la importancia de los controles deportivos para los procesos y falencias y ausencias de infraestructuras, de materiales y de equipos adecuados, para la aplicación de los controles.

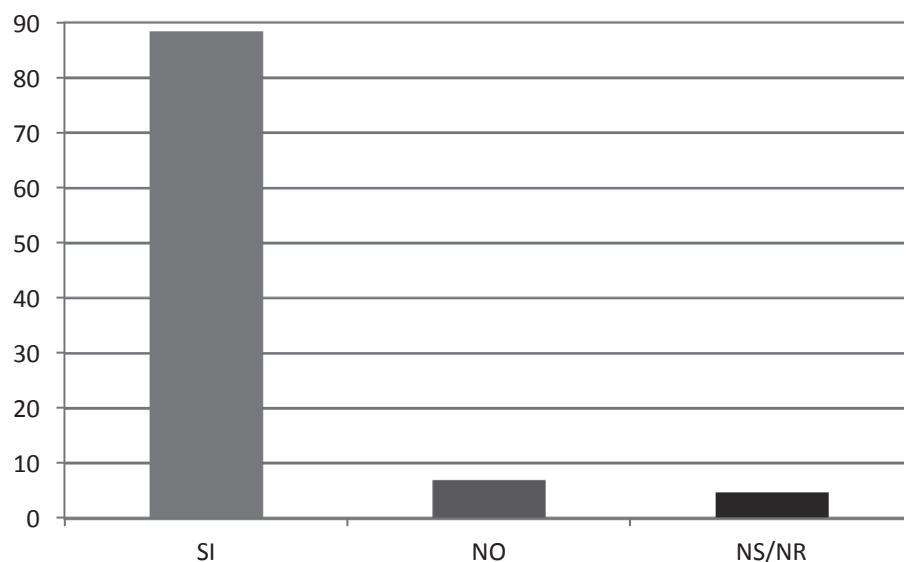


Figura 1. Porcentaje de deportistas, a quienes les fueron aplicadas pruebas de control, durante su proceso de formación.

Aspectos de la preparación del deportista escolar evaluados con las pruebas: Con relación a los aspectos de la preparación evaluados con las pruebas de control de los escolares deportistas (Figura 2), no a todos les aplicaron test de control, para determinar qué influencia estaba ejerciendo el plan de entrenamiento. Se debe tener en cuenta que, en las diferentes instituciones educativas, los deportistas escolares reciben la clase de educación física y solo algunos asisten o pueden asistir a escuelas de formación deportiva.

Es así, como se muestra en la figura 2, que a solamente al 14% les fueron aplicados la totalidad de las pruebas de control, entre ellas, médicas, antropométricas, deportivas, físicas y psicológicas, si se compara con los resultados presentados por Alzate *et al.* (2012), donde 11% de los entrenadores encuestados aplicaban la totalidad de éstas; se puede evidenciar, entonces, una leve diferencia, sin ser estadísticamente significativa, a favor de los escolares deportistas.

Al momento de cruzar las variables grupo de deporte con tipo de pruebas aplicadas, se hallaron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) en deportivas, donde el grupo de deporte que aplica con más frecuencia este tipo de pruebas son los de combate, con 58,7%, seguidas de pelota, con 52,6% y, en último lugar, los de tiempo y marca, con 34,6%; asimismo, se reportaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en médicas, donde el grupo de deportes que aplica con más frecuencia este tipo de pruebas son los de combate, con 47,6%, seguidas de tiempo y marca, con 32,7% y, con menor frecuencia, los de pelota, con 22,8%; por último, se encontraron diferencias significativas en las antropométricas, donde los deportes de combate siguen aplicando –con

mayor regularidad- este tipo de pruebas, con 42,9%, seguido de tiempo y marca, con 37,5% y, finalmente, los de pelota, con 19,3%.

Se encontró, además, que son realizadas, con mayor frecuencia, pruebas a los deportistas que pertenecen a ligas deportivas en sus respectivos países, que a aquellos que no dependen, evidenciándose diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) en pruebas físicas ($p = 0,004$), seguidas de médicas y psicológicas ($p = 0,006$) y, en último lugar, con diferencias significativas, están las antropométricas ($p = 0,033$).

No se notó significancia entre el lugar de residencia (rural o urbana) en relación a la aplicación de pruebas de control, de forma general, ni con cada una de ellas.

Con los datos anteriores, se puede evidenciar una posible falta de conciencia de los entrenadores sobre la importancia de realizar pruebas de control de los procesos de planificación y del entrenamiento deportivo o también de la deficiencia en el apoyo y la asignación de recursos, para contratar, elaborar y aplicar los controles; además, en el proceso de selección y de clasificación a los eventos deportivos, en la diversidad de deportes y sus características o, incluso, de que algunos entrenadores y su equipo, no lo consideran necesario (Alzate *et al.* 2012), a pesar de ser deportistas y entrenadores de talla internacional.

Varios autores, como Platonov (2001), Gómez (2002), Zhelyazkov (2006) y Yanci & Los Arcos (2013) rescatan la importancia del control del proceso de entrenamiento, como algo definitivo, para determinar el estado del deportista y del

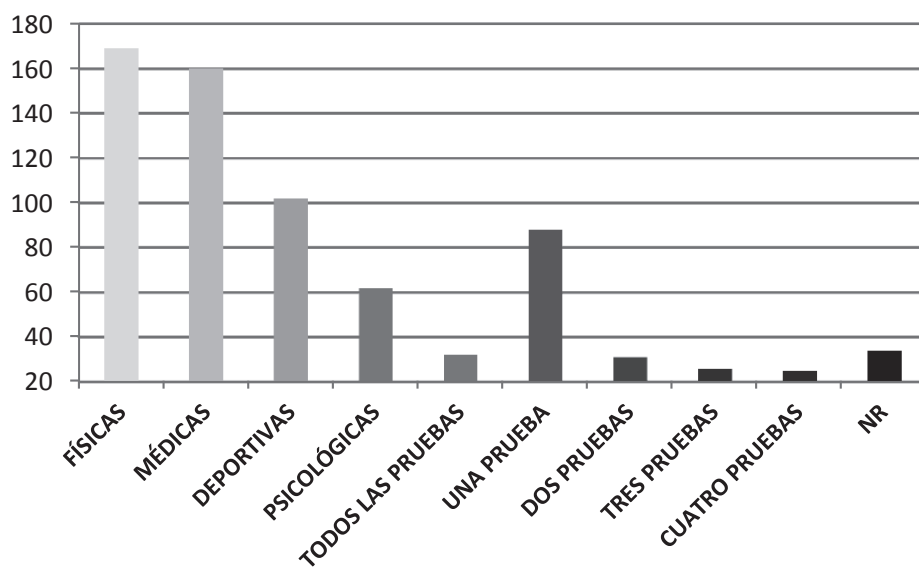


Figura 2. Aspectos de la preparación del deportista escolar evaluados con las pruebas (número de respuestas).

mismo proceso, mediante el análisis y la estructuración para garantizar el mejoramiento del entrenamiento y la consecución de altos logros, durante la competencia.

Según los encuestados, las pruebas de control que más se realizan son las físicas, seguidas de las médicas y, luego, las antropométricas (Figura 2), dándole así una amplia relevancia a los aspectos de la preparación física y fisiológica. En relación a lo anterior, se considera que existe una valoración del aspecto de la salud del deportista, como una manera de descubrir posibles problemas y contraindicaciones para la práctica deportiva, como: el atraso motor; problemas sicomotores, como el desvío de columna vertebral; enfermedades relacionadas con el Sistema Nervioso Central, cardio-vasculares, orgánicas y las relacionadas con el sentido vestibular (sentidos), entre otras (Lanaro & Silveira, 2001).

Después de las anteriores pruebas, en escala de aplicación, se encuentran las deportivas, como se puede evidenciar en la figura 2; las que menos se aplican son las psicológicas, lo que permite pensar en un desconocimiento o falta de interés o la no presencia del profesional respectivo para realizar los test, reflejando la poca importancia que tiene este aspecto por parte de los entrenadores, dentro de la preparación del deportista, situación que se considera delicada, pues este último interfiere positiva o negativamente en el proceso, ya que se pueden valorar y controlar otros aspectos, como los trazos de personalidad, los niveles de ansiedad, de motiva-

ción y de estrés, la autoconfianza, entre otras (González, 1997; Santos & Pereira, 1997; Nicolai *et al.* 2004; Machado, 2011).

Asimismo, cuando se hace la comparación entre el número de pruebas aplicadas, se reflejó que el 37% solo utiliza una prueba de todas las referenciadas, demostrando, de esta manera, que no se presenta una planificación y estructuración de los controles dentro del proceso del entrenamiento deportivo, lo cual, contribuiría en el alcance de altos logros.

Medallero obtenido por parte de los deportistas, a quienes se le aplicaron las pruebas de control: Para hacer el análisis de las medallas obtenidas por países, en relación con la aplicación de las pruebas, se conformaron tres grupos de Naciones, teniendo en cuenta que hubo una diferencia en el tamaño de las delegaciones, a las cuales, se les aplicó el instrumento: los primeros tres: Colombia, Venezuela y Puerto Rico; los tres siguientes: México, Guatemala y Panamá y, por último, República Dominicana, Costa Rica y Nicaragua.

Comparando esta información con la aplicación de las pruebas de control durante el proceso de entrenamiento, se pudo evidenciar que el primer grupo, con un total de 57,5% de las pruebas realizadas, logró el 58,4% de las medallas de oro, otorgadas en las justas; seguido del grupo 2, con el 24% de las pruebas aplicadas, logró el 8,2% del medallero dorado y, por último, el grupo 3, con el 6,9% de pruebas aplicadas, obtuvo el 6,0%, de las medallas de oro (Figura 3).

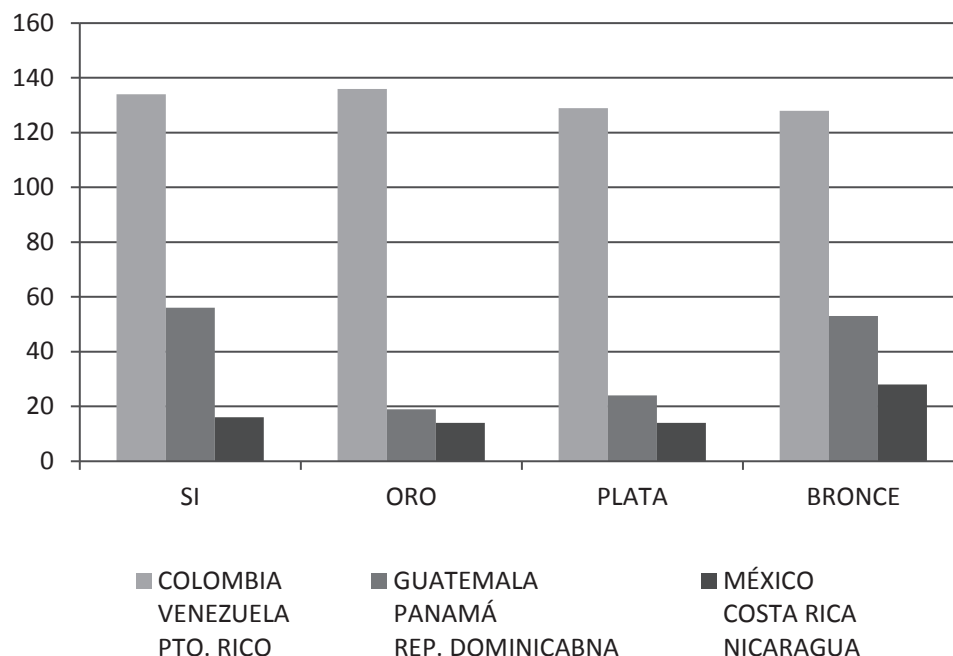


Figura 3. Medallas obtenidas por parte de los deportistas escolares, a quienes se les aplicó las pruebas de control (número de respuestas).

Según los datos del medallero, se evidencia la utilidad y la relación entre la aplicación de las pruebas de control y los resultados obtenidos por los deportistas, permitiendo reorientar el proceso en busca de los objetivos propuestos, teniendo en cuenta la maduración del deportista escolar, a quien se le deben realizar test o pruebas, que correspondan a sus características. Cabe anotar, que además de la utilidad de las pruebas de control, hace parte de un conjunto de actividades no menos importantes, como lo son la nutrición, el entrenamiento, el perfil del entrenador, los recursos disponibles del deportista, la motivación y otros, que pueden influir en el proceso.

Se presentó una similitud con los resultados mostrados por Alzate *et al.* (2012), donde el 90,3% de los entrenadores que respondieron positivamente a la pregunta, sobre la aplicación de pruebas de control, obtuvieron 88,3% de las medallas de oro; lo anterior, se relaciona con las medallas obtenidas, pues se evidenció que el grupo de entrenadores que aplican una o más pruebas tuvieron un mayor porcentaje de medallas de oro, que aquellas que solo aplicaron una sola prueba.

Agradecimientos: A los estudiantes de licenciatura en educación física y deportes de la Universidad del Quindío, Armenia. **Financiación:** La investigación fue financiada por la Vicerrectoría de Investigaciones y Postgrados de la Universidad de Caldas, Manizales, Colombia. **Conflictos 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

- ALZATE S, D.A.; AYALA Z., C.F.; MELO B., L.G. 2012. Control del entrenamiento deportivo en Juegos Suramericanos Medellín 2010. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia). 15(Supl.):87-95.
- BORIN, J.; GOMES, A.; DOS SANTOS, G. 2007a. Preparação desportiva: aspectos do controle da carga de treinamento nos jogos coletivos. Rev. da Educação Física/UEM. (Brasil). 18 (1): 97-105. Disponible desde internet en: <http://eduem.uem.br/ojs/index.php/RevEducFis/article/view/3321/2391> (con acceso 26/6/2015).
- BORIN, J.P.; PRESTES, J.; ALFANO M., N. 2007b. Caracterização, Controle e Avaliação: Limitações e Possibilidades no Âmbito do Treinamento Desportivo. Rev. Treinam. Desport. (Portugal). 8(1):6-11.
- BURGESS, D.J.; NAUGHTON, G.A. 2010. Talent development in adolescent team sports: a review. Int. J. Sports Physiol. Perform. (US). 5(1):103-116.
- CALDERÓN, J.; BENITO, P.; MELÉNDEZ, A.; GONZÁLEZ, M. 2011. Control biológico del entrenamiento de resistencia. Rev. Internacional de Ciencias del Deporte. (España). 2(2):65-87. Disponible desde Internet en: <http://www.cafyd.com/REVISTA/art5n2a06.pdf> (con acceso 3/03/2014).
- CAMPOS V., M. 2012. Control den entrenamiento en fútbol: posibilidades de actuación. Rev. Entrenam. Deportivo RED. (España). Disponible desde internet en: <http://revistaentrenamientodeportivo.com/?tag=control-entrenamiento> (con acceso 10/03/2015).
- CAÑADAS, M.; IBÁÑEZ, S.J. 2010. La planificación de los contenidos de entrenamiento de baloncesto en equipos de iniciación. Rev. Ciencias Deporte E-balonmano.com (España). 6(1):49-65. Disponible desde Internet en: <http://www.e-balonmano.com/ojs/index.php/revista/index> (con acceso 15/04/2014).
- CUADRADO-REYES, J.; CHIROSA, R.L.; CHIROSA, R.I.; MARTIN-TAMAYO, I.; AGUILAR-MARTÍNEZ, D. 2012. La percepción subjetiva del esfuerzo para el control de la carga de entrenamiento en una temporada en un equipo de balonmano. Rev. Psicología del Deporte. (España). 21(2):331-339. Disponible desde Internet en: <http://ddd.uab.cat/record/105919> (con acceso 25/6/2015).
- DELGADO, M. 1995. Fundamentación anatómico funcional del rendimiento y del entrenamiento de la resistencia del niño y del adolescente. Rev. Motricidad: Eur. J. Human Movement (España). 1:97-110. Disponible desde internet en: <https://doaj.org/article/23b23b0984f54346b04e02e05010bfb2> (con acceso 24/06/2015).
- DELGADO, M.A. 2011. Evaluación funcional. Rev. Psicopatología Clínica, Legal y Forense. (España). 11:143-166. Disponible desde Internet en: <http://efisica-517-arcodelgado.blogspot.com/2011/10/valoracion-funcional.html> (con acceso 12/03/2014).
- FAIGENBAUM, A.D.; LOUD, R.L.; O'CONNELL, J.; GLOVER, S.; O'CONNELL, J.; WESTCOTT, W.L. 2001. The Effects of Different Resistance Training Protocols on Muscular Strength and Endurance Development in Children. J. Strength Cond. Res. (US). 5(4):459-465.

12. FREIRE, J.B. 2003. *Pedagogia do Futebol*. Autores Associados (Brasil). 98p.
13. GÓMEZ, C.P. 2002. Control del proceso de entrenamiento deportivo de alta competencia. *Rev. Digital EFdeportes*. (Argentina). Disponible desde Internet en: <http://www.efdeportes.com/efd55/entren.htm>. (con acceso 7/03/2014).
14. GONÇALVES, C.E.B.; RAMA, L.M.L.; FIGUEIREDO, A.B. 2012. Talent identification and specialization in sport: an overview of some unanswered questions. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* (US). 7(4):390-393.
15. GONZÁLEZ, J.L. 1997. *Psicología del deporte*. Biblioteca Nueva (España). 261p.
16. JIMÉNEZ-REYES, P.; CUADRADO-PEÑAFIEL, V.; GONZÁLEZ-BADILLO, J.J. 2012. Aplicación del CMJ para el control del entrenamiento en las sesiones de velocidad. *Rev. Cultura, ciencia y deporte* (España). Disponible desde Internet en: http://www.erevistas.csic.es/ficha_articulo.php?url=oai:ojs.ccd.ucam.edu:article/37&oai_iden=oai_revista936 (con acceso: 24/06/2015).
17. LANARO, F.P.; SILVEIRA B., M.T. 2001. Detecção, seleção e promoção de talentos esportivos em ginástica rítmica desportiva: um estudo de revisão. *Rev. Paulista Educ. Física (Brasil)*. 15(2):154-168.
18. MACHADO, A.P. 2011. Bases metodológicas da preparação física. *Ícone Editora* (Brasil). 248p.
19. MARTIN, D.; NICOLAUS, J.; OSTROWSKI, CH.; ROST, K. 2004 *Metodología general del entrenamiento infantil y Juvenil*. Paidotribo (España). 512p.
20. MORALES, A.A. 2005. La preparación del deportista: control y evaluación de la unidad de entrenamiento. *Rev. Digital EFdeportes* (Argentina). Disponible desde Internet en: <http://www.efdeportes.com/efd86/control.htm> (con acceso 12/03/2014).
21. MURCIA, P.N.; TABORDA CH., J.; ANGEL, Z.L. 2004. Escuelas de formación deportiva y entrenamiento deportivo infantil. *Kinesis* (Colombia). 210p.
22. NAVARRO, F.; RIVAS, A. 2001. Planificación y Control del Entrenamiento en Natación. *Gymnos* (España). 153p.
23. NICOLAI, R.A.H.; DE ROSE, J.D.; SILVEIRA, B.M.T. 2004. Stress e nível competitivo: considerações sobre jovens praticantes de futsal. *Rev. Bras. Ciências e Movimento*. (Brasil). 12(4):83-87.
24. PANCORBO, A.; BLANCO, J. 1990. Consideraciones sobre el entrenamiento deportivo en la niñez y la adolescencia. *Arch. Medicina Deporte*. (Cuba). 7(27):309-314.
25. PANKHURST, A.; COLLINS, D.; MACNAMARA, Á. 2013 Talent development: linking the stakeholders to the process. *J. Sports Sci* (Gran Bretaña). 31(4):370-380.
26. PEARSON, D.T.; NAUGHTON, G.A.; TODORE, M. 2006. Predictability of physiological testing and the role of maturation in talent identification for adolescent team sports. *J. Sci. Med. Sport* (Australia). 9(4):277-287.
27. PÉREZ G., E. 2008. Las pruebas o tests en el deporte. *Rev. Digital EFdeportes* (Argentina). Disponible desde internet en: <http://www.efdeportes.com/efd126/las-pruebas-o-tests-en-el-deporte.htm> (con acceso 12/03/2014).
28. PLATONOV, V.N. 2001. *Teoría General del Entrenamiento Deportivo Olímpico*. Paidotribo (España). 686p.
29. RAMOS B., S. 2001. *Entrenamiento de la Condición Física*. Kinesis (Colombia). 180p.
30. REILLY, T. 2001. Assessment of sports performance with particular reference to field games. *Eur. J. Sport Science* (Gran Bretaña). 1(3):1-12
31. SANTOS, S.G. dos; PEREIRA, S.A. 1997. Perfil do nível de ansiedade-traço pré-competitiva de atletas de esportes coletivos e individuais do Estado do Paraná. *Rev. Movimento* (Brasil). 4(6):3-13.
32. SERRATO R., M. 2008. *Medicina del deporte*. Universidad del Rosario (Colombia). 484p.
33. THIESS, G.; TSCHIENE, P.; NICKEL, H. 2004, *Teoría y metodología de la competición deportiva*. Paidotribo (España). 232p.
34. URDANPILLETA, A.; MARTINEZ-SANZ, J.; LOPEZ-GRUESO, R. 2013. Valoración Bioquímica del entrenamiento: Herramienta para el dietista-nutricionista deportivo. *Rev. Española Nutr. Humana Dietética* (España). 17(2):73-83.

35. VASCONCELOS R., A. 2000. Planificación y Organización del Entrenamiento Deportivo. Paidotribo (España). 198p.
36. VIRU, A.; VIRU, M. 2003. Análisis y Control del Rendimiento Deportivo. Paidotribo (España). 286p.
37. WEINECK, J. 2005. Entrenamiento Total. Paidotribo (España). 688p.
38. YANCI IRIGOYEN, J.; LOS ARCOS LARUMBE, A. 2013. Evolución del rendimiento aeróbico y anaeróbico en futbolistas profesionales tras la pretemporada. Rev. Cult. Ciencia y Deporte (España). Disponible desde Internet en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=163028753006> (con acceso: 24/06/2015).
39. ZHELYAZKOV, T. 2006. Teoría y metodología del entrenamiento deportivo Feriva (Colombia). 458p.

Recibido: Marzo 25 de 2014
Aceptado: Agosto 3 de 2015

Cómo citar:

Alzate S., D.A.; Ayala Z., C.F.; Melo B., L.G. 2015. Control del entrenamiento deportivo en deportistas escolares. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 321-328.

EL CONCEPTO DE SOSTENIBILIDAD EN AGROECOLOGÍA

THE CONCEPT OF SUSTAINABILITY IN AGROECOLOGY

Luis Fernando Gómez¹, Leonardo Alberto Ríos-Osorio², María Luisa Eschenhagen Durán³

¹Ingeniero Químico, M.Sc., Departamento de Ciencias Sociales y Humanas. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, calle 222 No 54-37, Bogotá, D.C., Colombia, e-mail: luis.fgomez@udca.edu.co; ²Bacteriólogo, Ph.D., Escuela de Microbiología. Universidad de Antioquia, Medellín-Colombia, e-mail: leonardo.rios@udea.edu.co; ³Licenciada en Ciencias Sociales, Ph.D., Escuela de Ciencias Sociales. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín-Colombia, e-mail: marialuisa.eschenhagen@upb.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 329-337, Julio-Diciembre, 2015

RESUMEN

Dentro de la teoría de las ciencias ambientales, se ha dicho que ellas tienen como propósito lograr la sostenibilidad de diferentes sistemas de referencia. El objetivo de la presente investigación es determinar los planteamientos que existen alrededor de la sostenibilidad y su lugar dentro de la teoría agroecológica. Se realizó una revisión sistemática en bases de datos científicas y se complementó con revistas especializadas y libros del campo de la agroecología. Se encontró, que la agroecología plantea como objetivo la sostenibilidad, pero no se presenta claridad en el sistema de referencia, proponiendo los agroecosistemas, los sistemas alimentarios, la agricultura, el desarrollo y el desarrollo rural.

Palabras clave: Agricultura sustentable, agroecosistemas, desarrollo rural, soberanía alimentaria.

SUMMARY

Scholars have established sustainability as the goal of environmental sciences. The objective of this research was to establish definitions regarding the concept of sustainability and its place within agroecology theory. For that, a systematic review was conducted in global scientific databases, complemented with specialized journals and books. It was found that there is no agreement on the system of reference, so sustainable agriculture, development, rural development, as well as sustainability of agroecosystems, and of food systems are proposed as goals of agroecology. Also, there is no consensus on the kind of sustainability agroecology embraces, but integral sustainability has a broader acceptance.

Key words: Sustainable agriculture, agroecosystems, rural development, food sovereignty.

INTRODUCCIÓN

Desde su planteamiento, como desarrollo sostenible en el Informe Brundtland, en 1987, el concepto de sostenibilidad ha adquirido un papel central dentro de las ciencias ambientales, hasta el punto de ser considerado el principio de acción teleológico de éstas (Dilworth, 2009), lo que significa, que el conocimiento y la comprensión –obtenidos en este tipo de ciencias– es visto como un medio para lograr la sostenibilidad.

A pesar de ello, las revisiones bibliográficas que han buscado caracterizar a la agroecología, es decir, la ciencia que estudia los sistemas de producción con seres vivos desde una perspectiva sistémica y transdisciplinaria, no se han detenido en este aspecto; por ejemplo, Wezel & Soldat (2009), se centran en el objeto de estudio, mientras Tomich *et al.* (2011) analizan las diferentes disciplinas que confluyen en el campo de la agroecología, al igual que los problemas a futuro que ella debe enfrentar. Esto ha llevado a que aún no se presenten estudios sistemáticos ampliamente referenciados, que hagan un esfuerzo de establecer qué se entiende por sostenibilidad dentro de la agroecología y el papel que ella cumple dentro de esta ciencia; esto es relevante, porque aún no existe un consenso alrededor de lo que se debe entender por sostenibilidad.

Dentro de la actual discusión sobre la sostenibilidad, se pueden reconocer cuatro acepciones ampliamente utilizadas. En primer lugar, está la definición de desarrollo sostenible, que comprende la satisfacción de las necesidades actuales de la humanidad, sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras de la especie; segundo, está la sostenibilidad débil, que hace referencia al aumento o conservación del nivel actual del capital global, por lo que es una aproximación economicista a este concepto; en

tercer lugar, se encuentra la sostenibilidad fuerte, en la que prima la sostenibilidad ecológica, es decir, que las relaciones de explotación de la biosfera no superen su capacidad de renovación y, por último, está la sostenibilidad integral, que promulga un equilibrio o niveles satisfactorios en las esferas económica, ecológica y social (Luffiego & Rabadán, 2000).

Además, se ha señalado que es necesario articular el concepto de sostenibilidad a un sistema de referencia, pues es a partir de éste que cobra sentido. Así, no se habla de sostenibilidad en abstracto sino de construcciones sostenibles, ganadería sostenible, ciudades sostenibles, entre otros (Ríos-Osorio *et al.* 2013a).

Asimismo, Sikor & Norgaard (1999) han advertido que las implicaciones de la sostenibilidad varían en función de si se aborda desde un marco científico convencional o uno constructivista; desde el primero, se considera que la sostenibilidad es un concepto objetivo, que se puede definir desde la ciencia, mientras que el enfoque constructivista, afirma que este concepto comprende juicios de valor, por lo que es necesario establecer con comunidades locales lo que se debe sostener, cómo y por quién. En consecuencia, se ha señalado que la reflexión conceptual de la sostenibilidad comprende dos aspectos: uno positivo y uno normativo; la sostenibilidad positiva establece qué se entiende por sostenibilidad dentro de una teoría, teniendo en cuenta que no existe una sola acepción del término, mientras el segundo, determina qué debe ser la sostenibilidad, señalando el sistema de referencia y los elementos que componen la sostenibilidad, al igual que la manera para alcanzarla (Ríos-Osorio *et al.* 2013a).

El objetivo de la presente revisión sistemática es determinar los planteamientos que existen alrededor de la sostenibilidad y su lugar dentro del discurso agroecológico, a nivel teórico. Para ello, se comienza con las definiciones generales de sostenibilidad, para luego pasar a los sistemas de referencia, que se han establecido dentro de la agroecología, como principio de acción teleológico u objetivo de ésta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión sistemática de literatura en las bases de datos globales Science Direct, Jstor, Springer Link, Dialnet y Academic Search Complete, utilizando como término de búsqueda, agroecología; se consideraron elegibles los artículos que contenían el término de búsqueda en el título. A los artículos elegibles, se les aplicaron los siguientes criterios de inclusión, para su revisión completa: artículos publicados entre enero de 2005 y febrero de 2015; artículos publicados en idiomas inglés, español o portugués y artículos de reflexión o teóricos. A su vez, se descartaron aquellos artículos que no seguían la estructura IMRAD, propia de un artículo original, pero que se centraban en una región específica.

Los artículos hallados fueron complementados con artículos de reflexión, teóricos o resúmenes de ponencias, publicados en Revista Brasileira de Agroecología y Agroecología de la Universidad de Murcia –publicaciones especializadas–, con el fin de hacer más comprensiva la búsqueda, teniendo en cuenta, en la relevancia, que Brasil y Latinoamérica registran diversidad de publicaciones, en el campo de la agroecología, al igual que con libros, editados en el mismo período, de 2005 y febrero de 2015.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Definición de sostenibilidad: Es claro, en los textos estudiados, que la agroecología tiene como objetivo la sostenibilidad, lo que concuerda con la caracterización de ciencias ambientales, de Dilworth (2009); sin embargo, los textos estudiados muestran que dentro de la agroecología no existe un consenso acerca de qué se debe entender por sostenibilidad ni desde dónde se debe aproximar. La agroecología, como muchos de los discursos académicos que han surgido a raíz de la crisis ecológica, ha cuestionado la epistemología de la ciencia convencional, lo que incluye su pretensión de universalidad y de neutralidad (Borsatto & Carmo, 2012). En consecuencia, autores como Gutiérrez *et al.* (2008), Warner (2008) y Silva & De Biase (2012) disertan de la necesidad de un enfoque constructivista de la sostenibilidad, en el que se reconozca que ésta no responde a un criterio neutral que se pueda establecer *a priori* y para todos los casos, sino que debe ser contextual y producto de discusiones entre las diversas partes afectadas, por lo que no es posible dar una definición única desde la teoría; no obstante, en los textos estudiados son recurrentes definiciones canónicas de la sostenibilidad, como el desarrollo sostenible o la sostenibilidad integral, mientras que la mención al constructivismo es tratada en menor medida. Se puede afirmar que dichas definiciones, al ser generales, poseen un rasgo abierto, que permiten su empleo dentro de un enfoque constructivista; sin embargo, ese no es el caso en varios de los textos estudiados; por ejemplo, Purvis *et al.* (2012), quienes parten de un sentido integral de la sostenibilidad, claramente, enmarcan la dimensión económica dentro de la epistemología económica neoclásica, al sostener que la sostenibilidad se logra mediante la adopción de modelos productivos competitivos. Asimismo, autores que explícitamente no parten de esta epistemología, no se apartan completamente de ella, al conservar concepciones propias de la economía liberal; tal es el caso de Guzmán & Alonso (2007), quienes entienden la sostenibilidad como explotación de los recursos naturales, que no arriesga su disponibilidad para las generaciones futuras, lo que reproduce el sentido de naturaleza, como recurso de la economía liberal. Igualmente, Martin & Sauerborn (2013) definen la agricultura sostenible, como la articulación de las dimensiones ecológica, social, económica, mediante los conceptos de solidez ambiental, rentabilidad económica

y equidad social, los cuales, de nuevo, se pueden interpretar como enmarcados dentro de una visión económica neoclásica del bienestar social y ambiental.

Por su parte, las posiciones críticas de la epistemología hegemónica, no exhiben un acuerdo alrededor de los aspectos o las dimensiones que se deben considerar para desarrollar un sentido de la sostenibilidad, realmente alternativo o radical; por ejemplo, el aspecto de género y la incorporación del feminismo o ecofeminismo dentro del discurso transdisciplinario de la agroecología en las dimensiones social y económica de la sostenibilidad integral es considerado fundamental por Papuccio (2007) y Siliprandi (2010), pero no es mencionado en la gran mayoría de los textos estudiados. Igualmente, Rech (2006), Gliessman (2007) y Cox (2014a; 2014b) realizan un particular énfasis en la necesidad de considerar la dimensión ética de la sostenibilidad, pero no es un aspecto estructural de las demás propuestas, aquí estudiadas. De la misma forma, Sans (2007) cambia las dimensiones habituales de la sostenibilidad integral, para las dimensiones social y económica, bajo las categorías de producción de alimentos inocuos, que comprende la calidad y la seguridad alimentaria y equipara el desarrollo rural a la viabilidad económica y social de la población rural.

Además, estas posiciones críticas no siempre adoptan la epistemología alternativa, establecida dentro de la teoría agroecológica. La sistémica, ha sido una de las bases epistemológicas de la agroecología, lo que significa, en el caso de la sostenibilidad, que sus componentes no deben ser analizados de manera aislada sino en función de las relaciones que establecen con el resto del proceso de sostenibilidad (Gomes, 2005; Muro, 2007; Borsatto & Carmo, 2012); sin embargo, no todas las aproximaciones son sistémicas dentro de la teoría agroecológica; por ejemplo, Raza *et al.* (2012), se ocupan únicamente de la sostenibilidad del suelo y del recurso agua dentro de la dimensión ecológica, sin entrar a establecer las relaciones de estos componentes con las otras dimensiones o con los demás elementos dentro de la dimensión ecológica. Por su parte, Timmerman & Félix (2015), se centran en el concepto de trabajo sostenible dentro de la dimensión económica, afirmando que es sostenible si logra mantener un mínimo de trabajos de calidad, particularmente, en el área rural, sin articular este término a otros elementos de la actividad económica o de las esferas social y ecológica.

Por otro lado, muchas de las propuestas de sostenibilidad dentro de la agroecología no parten de un enfoque constructivista, sino que, simplemente, no proporcionan una definición explícita de sostenibilidad ni tratan el asunto del universalismo de la epistemología convencional, por lo que dejan abierta la opción de una interpretación hegemónica de este término. Tal es el caso de Funes-Aguilar & Monzote (2006),

quienes adoptan el término de desarrollo sostenible para su propuesta de agricultura sostenible, pero no proporcionan una definición clara del primero, que permita dilucidar una epistemología alternativa, en su elaboración teórica. Igualmente, Pérez & Soler (2013) y Lemanceau *et al.* (2015), se adhieren a la agricultura sostenible como fin de la agroecología, pero no proporcionan una definición; esto es un claro descuido teórico, pues no existe una definición canónica. Precisamente, Sarandón & Flores (2009) advierten que al no existir un consenso es necesario un planteamiento explícito del marco de evaluación, en el que se establezca la definición de agricultura sostenible adoptada y los criterios que se consideran se deben cumplir, para lograr dicha sostenibilidad.

Sistema de referencia: Al igual que sucede con la definición de sostenibilidad, no existe un consenso en torno a cuál es el sistema de referencia fundamental de la agroecología. Esta divergencia, se puede agrupar en dos tendencias generales, en función de lo que se considera debe perseguir la ciencia agroecológica.

La primera tendencia, se centra en los sistemas de producción con seres vivos. El punto de partida es que éstos deben ser gestionados a partir de criterios basados en la ecología (Bello *et al.* 2010; Weiner *et al.* 2010; Gliessman, 2013); sin embargo, el enfoque se ha ido ampliando y hoy se puede hablar de tres niveles jerárquicos dentro de esta tendencia: el primer nivel es el agroecosistema o sistema de producción con seres vivos (Peireira *et al.* 2006; Parra, 2013; Lemanceau *et al.* 2015), que se ha definido, habitualmente, como el proceso de circulación de materia y energía, a través de un conjunto de organismos para la producción de biomasa (Sevilla, 2006; Gliessman, 2007; Martin & Sauerborn 2013); no obstante, León (2014) señala que si la agroecología se va a enmarcar dentro de un pensamiento ambiental, el elemento social o cultural debe estar implícito dentro de la definición de agroecosistema; por esto, dicho autor propone una definición que tenga en cuenta las relaciones simbólicas, sociales, económicas y políticas, que se encuentran involucradas en los procesos de producción con seres vivos.

Dentro del enfoque de agroecosistemas, Gutiérrez *et al.* (2008) anotan que un agroecosistema se puede considerar sostenible cuando satisface unas metas productivas sin comprometer la organización de los sistemas, a partir de los cuales, genera su operación de distinción y sin depender de insumos ajenos a su entorno inmediato; además, agregan que un sistema en esta situación debe ser resiliente y adaptable. Con respecto a la dimensión social, dichos autores señalan que es sostenible, si su organización se puede mantener en el tiempo, mediante relaciones equitativas y que aporten a la reproducción social y biológica del grupo generador. Para alcanzar esto, Gutiérrez *et al.* (2008) apuntan que se deben buscar relaciones en el entorno social, que disminuyan prác-

ticas de consumo excesivo y de generación de pobreza, las cuales, son ambiental y socialmente no sostenibles, respectivamente. De manera similar, Altieri (2009) sostiene que para lograr la sostenibilidad de los agroecosistemas es necesario realizar cambios estructurales, a nivel político, cultural, económico y social, en el entorno social; sin embargo, no es claro, en este autor, que propugne por un cambio profundo de la epistemología convencional, que conduzca a un sistema civilizatorio con esferas económicas, políticas y culturales, diferentes a las propias de la modernidad ortodoxa.

El segundo nivel de la tendencia productivista es la agricultura, donde se presentan dos tipos de definiciones de agricultura sostenible: una general y una específica; en el primer grupo, se encuentran Funes-Aguilar & Monzote (2006), quienes escriben que la agricultura sostenible es aquella que busca generar una producción en el tiempo, a partir de la aplicación de la ecología a la producción agraria. Igualmente, Rocha & Siman (2007) y Martin & Sauerborn (2013) proporcionan una definición general, partiendo del concepto de desarrollo sostenible, para anotar que la agricultura sostenible es aquella forma de producción con seres vivos en la que se satisfacen las necesidades humanas presentes, sin comprometer la capacidad del sistema agrario, de satisfacer las necesidades de las generaciones futuras.

Por otro lado, se han dado definiciones más específicas de la agricultura sostenible; por ejemplo, Peireira *et al.* (2006), la definen como aquella centrada en cinco elementos: el sostenimiento a largo plazo de los recursos naturales y el rendimiento agrícola; mejor compatibilidad entre la agricultura y el potencial de los agroecosistemas; disminución del uso de insumos externos y fuentes de energía no renovables; generación de alimentos y renta adecuados y satisfacción de las necesidades sociales de la población rural. Por su parte Gliessman (2007) señala que la agricultura sostenible debe tener un bajo impacto ambiental negativo, asegurar la renovación del suelo, no agotar los cuerpos de agua, operar a partir de insumos locales, mantener la biodiversidad silvestre y la agrobiodiversidad, permitir el control local de los recursos agrícolas y generar procesos de acceso y de apropiación de conocimientos, prácticas y tecnologías agrícolas. Por su parte, Kershner (2012), se ciñe a la definición dada por la Ley Agraria de 1990, de Estados Unidos, que señala que la agricultura sostenible es aquella capaz de satisfacer los requerimientos humanos de recursos; mejorar las condiciones del entorno natural del cual depende la agricultura; hacer un uso óptimo, tanto de energía no renovable como de los recursos provenientes de la finca, al igual, que integra, cuando es pertinente, los ciclos y los controles naturales; hacer viable la economía de la finca y mejora la calidad de vida de los agricultores y de la sociedad como un todo.

Respecto a cómo lograr la sostenibilidad agraria, Cox (2014a)

sostiene que es necesario un cambio en la mentalidad de las personas que, en el caso de la agricultura, implica una identificación de las personas con el territorio y los seres vivos que lo habitan. Esta conciencia debe conducir a una nueva visión del mundo, en el que no se de una escisión entre el ser humano y los demás seres vivos y, por lo tanto, se entienda que la sostenibilidad no es para los seres humanos sino para la biosfera. Además, Cox (2014b) apunta que un cambio hacia la agricultura sostenible debe abandonar la obsesión de la agricultura convencional por el rendimiento económico, al igual que debe incorporar otras metodologías y epistemologías, en las que se dé un papel explícito a los valores y a la espiritualidad, enmarcándose, claramente, en una epistemología distinta, a la de la modernidad hegemónica.

De manera similar, varios autores resaltan la importancia de generar una agricultura desde abajo, es decir, a partir del conocimiento local, unidades productivas familiares y en beneficio de las productoras. En este sentido, Guzmán & Alonso (2007) anotan que un sistema agrario sostenible debe permitir la autonomía de los productores y productoras, la aceptabilidad cultural de las tecnologías y debe generar procesos equitativos de distribución de los beneficios. Por su parte, Rosset & Martínez-Torres (2012) prefieren hablar agricultura campesina sostenible, que presenta, entre sus objetivos, la soberanía alimentaria en vez de la articulación de la producción agraria al mercado y anotan que ésta se logra a partir del ingenio, la innovación y el conocimiento de los campesinos.

Dentro de la tendencia centrada en la producción ha surgido un enfoque, desde el 2003, que sostiene que para alcanzar el objetivo de la sostenibilidad integral de la agricultura, se debe cambiar el foco de la sostenibilidad de los agroecosistemas a la sostenibilidad de los sistemas alimentarios, es decir, a todo el sistema de producción, de distribución y de consumo de alimentos (Gliessman, 2007; De Schutter, 2012; Borsatto & Carmo, 2013; Calle *et al.* 2013). Aunque este enfoque pretende ser más comprensivo al afirmar que la producción no es sostenible si el resto de la red económica no es sostenible, tiene el problema de reducir la producción con seres vivos a la alimentación, lo que simplifica, considerablemente, los bienes y servicios que las poblaciones humanas obtienen de la biosfera.

Para lograr un sistema alimentario sostenible, varios autores escriben sobre la necesidad de cambiar los hábitos alimenticios, con el fin que los individuos y las poblaciones humanas adopten patrones de dieta sostenibles (Wezel & David, 2012; Pérez & Soler 2013). A su vez, otros autores mencionan que se deben estudiar y reconfigurar las relaciones de poder que existen, a través de todo el sistema alimentario, desde el campo de cultivo hasta la mesa. Para esto, es necesario crear políticas e instituciones que estén enfocadas a la implementación de sistemas alimentarios sostenibles, que

involucran el aseguramiento de un buen nivel de vida de los productores, al igual que el derecho a la alimentación (De Schutter, 2012; González, 2012; Méndez *et al.* 2013).

La segunda tendencia sobre el tipo de sostenibilidad que debe perseguir la agroecología está representada por aquellas propuestas que hacen un énfasis mayor en las poblaciones rurales, cambiando el foco de la producción al desarrollo. Aquí, se hace una articulación más explícita las dimensiones social y económica de la sostenibilidad integral, planteando que, tanto la degradación ambiental como la pobreza, no son fenómenos sostenibles.

Dentro de esta tendencia, se plantean dos sistemas de referencia: el desarrollo sostenible y el desarrollo rural sostenible. Ambos privilegian el sector rural, resaltando la necesidad de la participación campesina y su autonomía para lograr el objetivo del desarrollo sostenible, pero, el segundo, es más enfático, al establecer el desarrollo rural sostenible como el objetivo de la agroecología (Machado & Carmo, 2007; Pappuccio, 2007; Andrade & Casali, 2011). Asimismo, la tendencia desarrollista hace un énfasis en la pobreza y en el hambre, por lo que conceptos, como soberanía y seguridad alimentaria, se vuelven centrales, dentro de su teoría de la sostenibilidad (Altieri, 2009; Ferguson *et al.* 2009; Sámano, 2013). Además, se habla de la necesidad de incorporar una agroecología política, en la que se encuentren herramientas jurídicas, institucionales y de organización social, que permitan implementar modelos de producción con seres vivos sostenibles (Garrido, 2012; González, 2012; Calle *et al.* 2013).

La mayoría de autores enmarcados en esta tendencia parten de una concepción constructivista del desarrollo, afirmando que debe ser un proceso particular de cada sociedad. De igual forma, agregan que un verdadero desarrollo se logra a través de su construcción participativa, en la que se privilegie la autonomía, los conocimientos locales y los sistemas de producción de tipo familiar, en el sector rural (Funes-Aguilar & Monzote, 2006; Warner, 2008; Calle *et al.* 2013); sin embargo, esta resignificación del desarrollo no considera la carga epistemológica del concepto de desarrollo que, para algunos autores de otros campos del ecologismo, conduce a una reproducción de la epistemología de la economía y la política convencionales (Sachs, 1996; Latouche, 2003). De esto son conscientes Gutiérrez *et al.* (2008), quienes se oponen a la idea de desarrollo como concepto estructurador de la teoría agroecológica, aduciendo que es uno de los meta relatos de la modernidad, que no permite superarla, pues en el fondo sigue manteniendo las promesas de esta forma de vida, las cuales, son el control sobre la naturaleza, la abundancia material, las organizaciones políticas centralizadas eficientes y democráticas, la paz y la justicia y una cultura superior.

De la misma forma, se puede anotar que, a pesar del distanciamiento de esta propuesta de los discursos de la modernidad y de las ciencias convencionales, el desarrollismo no logra superar el antropocentrismo moderno, que también se evidencia en la gran mayoría de autores, de la tendencia productivista. Exceptuando Rech (2006) y Cox (2014a; 2014b), en los discursos de sostenibilidad de la agroecología, no hay estrategias que se ocupen de los seres vivos no humanos, como miembros de la comunidad ética, que esta ciencia pretende construir. Igualmente, a excepción de Pappuccio (2007) y Siliprandi (2010), tampoco hay una mención de las relaciones de poder en torno al género dentro de la búsqueda de equidad, dentro de la dimensión social de la sostenibilidad integral.

Resiliencia: Al concepto de sostenibilidad, se le han otorgado diversos atributos, a través de su desarrollo teórico. Dentro de la agroecología, Guzmán & Alonso (2007) recogen los planteados por el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sostenibilidad MESMIS: productividad, estabilidad, resiliencia, equidad social, autonomía, y adaptabilidad cultural; por su parte, Gutiérrez *et al.* (2008) mencionan estabilidad, resiliencia, adaptabilidad y productividad, eficiencia y eficacia en la producción; González (2012) y González & Caporal (2013) plantean los mismos del MESMIS, aunque no incluyen la adaptabilidad cultural. Aunque estos atributos son tratados en mayor o menor medida por la mayoría de textos consultados, la resiliencia merece especial interés, ya que Álvarez-Salas *et al.* (2014) proponen la resiliencia socioecológica de los agroecosistemas, como el objeto de estudio de la agroecología, argumentando que responde mejor a las problemáticas y a los fenómenos estudiados por la agroecología, al igual que a su objetivo de la sostenibilidad de los agroecosistemas, que los agroecosistemas en sí.

Si bien es cierto que la resiliencia se menciona principalmente en relación al cambio climático, es importante resaltar que la resiliencia socioecológica es un concepto diferente a resiliencia. Este último, se ha definido, habitualmente, como la capacidad de un sistema para mantener su organización frente a perturbaciones (Nicholls, 2013). Por el contrario, Ríos-Osorio *et al.* (2013b) definen la resiliencia socioecológica de los agroecosistemas, como la capacidad que tienen estos últimos para mantener su organización y unos niveles satisfactorios de producción, tras una perturbación sin poner en riesgo la organización de los sistemas sociales y biológicos, que constituyen su entorno.

Uno de los aspectos más llamativos de esta nueva propuesta es que hace más explícito el objetivo de la agroecología, pues muestra que no es una ciencia que tiene como fin el conocimiento y la comprensión de los agroecosistemas, sino la sostenibilidad de éstos y parte del supuesto que, estudiando su

resiliencia socioecológica, se puede alcanzar más fácilmente el objetivo de la sostenibilidad de los agroecosistemas. Aunque son pocos los textos que se suscriben a este nuevo enfoque y todos se enmarcan dentro de la agroecología de agroecosistemas, la definición de resiliencia socioecológica es extrapolable a los otros sistemas de referencia existentes dentro de la agroecología y, claramente, no entra en pugna con su objetivo de la sostenibilidad integral.

En conclusión, el concepto de sostenibilidad en agroecología muestra las mismas dificultades epistemológicas que se dan en el marco general de los debates ecologistas y ambientalistas. Por un lado, existe la discusión de si es posible establecer una definición universal, objetivo del término. Aunque la agroecología, de manera general, está a favor de un enfoque constructivista, no siempre lograr superar el universalismo de la modernidad ortodoxa al reproducir discursos de ella, como la economía de mercado, el derecho, el desarrollo o la organización política alrededor de instituciones formales centralistas, como el Estado-Nación.

Por otro lado, la agroecología –a su interior- no ha podido generar un consenso alrededor de cuál es el sistema que se debe sostener. Esta indefinición, tanto del concepto de sostenibilidad como de su sistema de referencia, se puede interpretar como una cualidad del enfoque constructivista, propio de la agroecología, ya que permite cierta flexibilidad, al mismo tiempo, que rechaza, explícitamente, el reduccionismo y el universalismo, propios de la epistemología científica convencional, pero los textos estudiados muestran que, muchas veces, se da por una falta de diálogo entre las distintas propuestas teóricas o por una carencia de rigor teórico, a la hora de abordar el concepto de sostenibilidad; no obstante, existen puntos de convergencia dentro de las distintas propuestas teóricas agroecológicas. En primer lugar, existe un interés general en darle cabida a discursos marginales, como el conocimiento tradicional y los saberes populares; segundo, se presenta un consenso, en que la agroecología no puede ser universalista y, por lo tanto, debe haber apertura en sus planteamientos teóricos, como es el de la sostenibilidad; sin embargo, se reconoce la necesidad de unos mínimos, rechazando el relativismo ingenuo del todo, vale a favor de propuestas, donde el bienestar de las poblaciones rurales y la sostenibilidad ecológica sean criterios que tienen que estar incluidos en cualquier sentido de sostenibilidad, elaborado al interior de la ciencia agroecológica; en tercer lugar, existe un consenso en que la agroecología y su concepto de sostenibilidad deben partir de concepciones no reduccionistas y disciplinares de estos campos, por lo que se ha hablado de enfoques, como el sistémico y la transdisciplinariedad y, por último, es claro que la agroecología todavía necesita avanzar en la construcción de una postura autorreflexiva, donde haya una constante revisión de los discursos teóricos que se van construyendo, con el fin de

alcanzar un trasfondo común, que permita evaluar su validez y su consistencia, como práctica científica racional. Esto parece reproducir la epistemología de la ciencia convencional, pero mientras que no se propongan medios alternativos para evaluar estos rasgos, la agroecología debe seguir aceptando ciertos elementos de la imagen heredada de la ciencia.

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. ALTIERI, M.A. 2009. Escalonando la propuesta agroecológica para la soberanía alimentaria. *Agroecología*. (España). 4:39-48.
2. ÁLVAREZ-SALAS, L.M.; POLANCO-ECHEVERRY, D.N.; RÍOS-OSORIO, L.A. 2014. Reflexiones acerca de los aspectos epistemológicos de la agroecología. *Cuad. Desarro. Rural*. (Colombia). 11:55-74.
3. ANDRADE, F.M.C.; CASALI, V.W.D. 2011. Homeopatía, agroecología e sustentabilidade. *Rev. Bras. Agroecología*. 6(1):49-56.
4. BELLO, A.; JORDÁ, C.; TELLO, J.C. 2010. *Agroecología y producción ecológica*. Catarata. (Madrid). 77p.
5. BORSATTO, R.S.; CARMO, M.S. 2012. Agroecología e sua epistemologia. *Interciencia*. (Venezuela). 37(9):711-716.
6. BORSATTO, R.S.; CARMO, M.S. 2013. A Agroecologia como um campo científico. *Rev. Bras. Agroecología* 8:4-13.
7. CALLE, A.; GALLAR, D.; CANDÓN, J. 2013. Agroecología política: la transición social hacia sistemas agroalimentarios. *Rev. Econ. Crítica*. (España). 16:244-277.
8. COX, T.E.B. 2014a. Grafting metaphysics: how transpersonal agroecology bear fruit with process metaphysics as its roots. *Process Stud.* (Estados Unidos). 43(2):104-128.
9. COX, T.E.B. 2014b. Transpersonal Agroecology: the metaphysics of alternative agricultural theory. *J. Transpersonal Psychol.* (Estados Unidos). 46(1):35-57.

10. DE SCHUTTER, O. 2012. Agroecology, a tool for the realization of the right to food. En: Lichtfouse, E. (ed). *Agroecology and strategies for climate change*. Springer (Dordrecht). p.1-16.
11. DILWORTH, C. 2009. General principles. En: Boersema, J.J.; Reijnders, L. (eds). *Principles of environmental sciences*. Springer Science/Business Media B.V. (Dordrecht). p.75-83.
12. FERGUSON, B.G.; MORALES, H.; GONZÁLEZ, A.; ÍÑIGUEZ, F. de J.; MARTÍNEZ, M.E.; McAFEE, K.; NIGH, R.; PERFECTO, I.; PHILPOTT, S.M.; SOTO, L. 2009. La soberanía alimentaria: cultivando nuevas alianzas entre campo, bosque y ciudad. *Agroecología*. 4:49-58.
13. FUNES-AGUILAR, F.; MONZOTE, M. 2006. Sistemas agroecológicos y su papel en los países del Tercer Mundo. *Av. Invest. Agropec. (México)*. 10(3):5-27.
14. GARRIDO, F. 2012. Ecología política y agroecología: marcos cognitivos y diseño institucional. *Agroecología*. 6:21-28.
15. GLIESSMAN, S.R. 2007. *Agroecology. The ecology of sustainable food systems*. CRS Press. (Boca Raton). 384p.
16. GLIESSMAN, S.R. 2013. Agroecología: plantando raíces de la resistencia. *Agroecología*. 8(2):19-26.
17. GOMES, J.C.C. 2005. Bases epistemológicas da agroecología. En: Aquino, A.M.; Assis, R.L. (eds). *Agroecologia. Princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável*. Embrapa Informação Tecnológica (Brasília, DF). p.71-99.
18. GONZÁLEZ, M. 2012. Algunas notas sobre agroecología y política. *Agroecología*. 6:9-21.
19. GONZÁLEZ, M.; CAPORAL, F.R. 2013. Agroecología y política. ¿Cómo conseguir la sustentabilidad? Sobre la necesidad de una agroecología política. *Agroecología*. 8(2):35-43.
20. GUTIÉRREZ, J.G.; AGUILERA, L.I.; GONZÁLEZ, C.E. 2008. Agroecología y sustentabilidad. *Convergencia*. (México). 46:51-87.
21. GUZMÁN, G.I.; ALONSO, A.M. 2007. La investigación participativa en agroecología: una herramienta para el desarrollo sustentable. *Ecosistemas*. (España). 16(1):24-36.
22. KERSHEN, D.L. 2012. The contested vision for agriculture's future: Sustainable Intensive Agriculture and Agroecology. *Creighton Law Rev. (Estados Unidos)*. 46:591-618.
23. LATOUCHE, S. 2003. Decrecimiento y posdesarrollo. El pensamiento creativo contra la economía del absurdo. *El Viejo Topo*. (España). 150p.
24. LEMANCEAU, P.; MARON, P.A.; MAZURIER, S.; MOUGEL, C.; PIVATO, B.; PLASSART, P.; RANJARD, L.; REVELLIN, C.; TANDY, V.; WIPF, D. 2015. Understanding and managing soil biodiversity: a major challenge in agroecology. *Agron. Sustain. Dev. (Francia)*. 35(1):67-81.
25. LEÓN, T. 2014. Perspectiva ambiental de la agroecología. *La ciencia de los agroecosistemas*. Universidad Nacional de Colombia. (Bogotá). 398p.
26. LUFFIEGO, M.; RABADÁN, J.M. 2000. La evolución del concepto de sostenibilidad y su introducción en la enseñanza. *Enseñan. Cienc. (España)*. 18(3):473-486.
27. MACHADO, R.; CARMO, M.S. 2007. A Agroecologia na construção do desenvolvimento rural sustentável. *Rev. Bras. Agroecologia*. 2(1):511-514.
28. MARTIN, K.; SAUERBORN, J. 2013. *Agroecology*. Springer Science/Business Media B.V. (Dordrecht). 330p.
29. MÉNDEZ, V.E.; BACON, C.M.; COHEN, R. 2013. La agroecología como un enfoque transdisciplinar, participativo y orientado a la acción. *Agroecología*. 8(2):9-18.
30. MURO, P. 2007. La investigación en agroecología: transdisciplinariedad y multidimensionalidad. *Rev. Bras. Agroecologia*. 2(1):570-575.
31. NICHOLLS, C.I. 2013. Enfoques agroecológicos para incrementar la resiliencia de los sistemas agrícolas al cambio climático. En: Nicholls, C.I.; Ríos-Osorio, L.A.; Altieri, M.A. (eds). *Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático*. CYTED. (Medellín). p.18-29.
32. PAPIUCCIO, S. 2007. El enfoque de género en la agroecología: un aporte clave para alcanzar la sustentabilidad. *Rev. Bras. Agroecologia*. 2(1):1649-1653.
33. PARRA, R. 2013. La agroecología como un modelo económico alternativo para la producción sostenible

- de alimentos. *Orinoco Pensam. Prax.* (Venezuela). 1(3):24-36.
34. PEIREIRA, L.C.; SILVEIRA, M.A. da; NETO, F.L. 2006. Agroecología e aptidão agrícola das terras: as bases científicas para uma agricultura sustentável. *Rev. Bras. Agroecologia.* 1(1):823-826.
35. PÉREZ, D.; SOLER, M. 2013. Agroecología y ecofeminismo para decolonizar y despatriarcalizar la alimentación globalizada. *Rev. Int. Pensam. Polít.* (España). 8:95-113.
36. PURVIS, G.; DOWNEY, L.; BEEVER, D.; DOHERTY, M.L.; MORAHAN, F.J.; SHERIDAN, H.; McMAHON, B.J. 2012. Development of a sustainably-competitive agriculture. En: Lichtfouse, E. (ed). *Agroecology and strategies for climate change.* Springer. (Dordrecht). p.35-65.
37. RAZA, A.; FRIEDEL, J.K.; BODNER, G. 2012. Improving water use efficiency for sustainable agricultura. En: Lichtfouse, E. (ed). *Agroecology and strategies for climate change.* Springer. (Dordrecht). p.167-211.
38. RECH, C.M. 2006. Ecosofia: um principio elementar à Agroecologia. *Rev. Bras. Agroecologia.* 1(1):1399-1400.
39. RÍOS-OSORIO, L.A.; CRUZ-BARREIRO, I.C.; WELSH-RODRÍGUEZ, C.M. 2013a. The concept of sustainable development from an ecosystem perspective: history, evolution, and epistemology. En: Yañez-Arancibia, A.; Dávalos, R.; Day, J.W.; Reyes, E. (eds). *Ecological dimensions for sustainable development.* WIT Press. (Southampton). p.29-45.
40. RÍOS-OSORIO, L.A.; SALAS-ZAPATA, W.; ESPINOSA-ALZATE, J.A. 2013b. Resiliencia socioecológica de los agroecosistemas. Más que una externalidad. En: Nicholls, C.I.; Ríos-Osorio, L.A.; Altieri, M.A. (eds). *Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático.* CYTED. (Medellín). p.60-76.
41. ROCHA, J.M.; SIMAN, R.F. 2007. Agroecologia: um contraponto à produtividade insustentável da agricultura convencional. *Rev. Bras. Agroecologia.* 2(1):29-32.
42. ROSSET, P.; MARTÍNEZ-TORRES, M.E. 2012. Rural social movements and agroecology: context, theory, and process. *Ecol. Soc.* (Canada). 17(3):17. Disponible desde Internet en: <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05000-17031747>.
43. SÁMANO, M.A. 2013. La agroecología como una alternativa de seguridad alimentaria para las comunidades indígenas. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4(8):19-28.
44. SACHS, W. (ed.). 1996. *Diccionario del desarrollo. Una guía del conocimiento como poder.* PRATEC. (Perú). 399p.
45. SANS, F.X. 2007. *Agroecología. Ecosistemas.* (España). 16(1):1-2.
46. SARANDÓN, S.J.; FLORES, C.C. 2009. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas. *Agroecología.* 4:19-28.
47. SEVILLA, E. 2006. *De la sociología rural a la agroecología.* Icaria. (Barcelona). 255p.
48. SIKOR, T.O.; NORGAARD, R.B. 1999. Principles for sustainability: protection, investment, cooperation, and innovation. En: Köhn, J. (ed). *Sustainability in question. The search for a conceptual framework.* Edward Elgar. (Cheltenham). p.49-65.
49. SILIPRANDI, E. 2010. Mujeres y agroecología. Nuevos sujetos políticos en la agricultura familiar. *Invest. Fem.* (España). 1:125-137.
50. SILVA, R.D.; DE BIASE, L. 2012. Na encruzilhada dos saberes e práticas: inserções antropológicas sobre estranhamento e alteridade no interior da Agroecologia. *Rev. Bras. Agroecologia.* 7(2):3-18.
51. TIMMERMANN, C.; FÉLIX, G. 2015. Agroecology as a vehicle for contributive justice. *Agric. Hum. Values* (Países Bajos). Disponible desde Internet en: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10460-014-9581-8>. Doi: 10.1007/s10460-014-9581-8
52. TOMICH, T.P.; BRODT, S.; FERRIS, H.; GALT, R.; HORWARTH, W.R.; KEBREAB, E.; LEVEAU, J.H.J.; LIPTZIN, D.; LUBELL, M.; MEREL, P.; MICHELMORE, R.; ROSENSTOCK, T.; SCOW, K.; SIX, J.; WILLIAMS, N.; YANG, L. 2011. Agroecology: a review from a global-change perspective. *Ann. Rev. Environ. Resour.* (Estados Unidos). 36:193-222.
53. WARNER, K.D. 2008. Agroecology as participatory science: emerging alternatives to technology transfer extension practice. *Sci. Technol. Hum. Values.* (Estados Unidos). 33(6):754-777.

54. WEINER, J.; ANDERSEN, S.B.; WIBKE, K.-M. W.; GRIEPENTROG, H.W.; OLSEN, J.M. 2010. Evolutionary agroecology: the potential for cooperative, high density, weed-suppressing cereals. *Evol. Appl.* (Estados Unidos). 3:473-479.
55. WEZEL, A.; DAVID, C. 2012. Agroecology and the food system. En: Lichtfouse, E. (ed). *Agroecology and strategies for climate change*. Springer. (Dordrecht). p.17-33.
56. WEZEL, A.; SOLDAT, V. 2009. A quantitative and qualitative historical analysis of the scientific discipline of agroecology. *Int. J. Agric. Sustain.* (Reino Unido). 7:3-18.

Recibido: Marzo 31 de 2015

Aceptado: Octubre 13 de 2015

Cómo citar:

Gómez, L.F.; Ríos-Osorio, L.A.; Eschenhagen Durán, M.L. 2015. El concepto de sostenibilidad en agroecología. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 329-337.

EVALUACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS Y UNO BIOLÓGICO PARA EL MANEJO DE *Phytophthora* spp. EN NARANJO 'SALUSTIANA' INJERTADO EN PORTAINJERTO SUNKI

EVALUATION OF CHEMICAL PRODUCTS AND A BIOLOGICAL ONE TO MANAGE *Phytophthora* spp. IN 'SALUSTIANA' ORANGE GRAFTED ON SUNKI ROOTSTOCK

Johana Pabón-Villalobos¹, Jairo Castaño-Zapata²

¹Ingeniera Agrónoma, cM.Sc. Fitopatología, Departamento de Producción Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas, calle 65 No 26-10, Manizales, Colombia, e-mail: johanapv1125@hotmail.com; ²Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Profesor Titular, Departamento de Producción Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas, calle 65 No 26-10, Manizales, Colombia, e-mail: jairo.castano_z@ucaldas.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 339-349, Julio-Diciembre, 2015

RESUMEN

Phytophthora spp., cuyo hábitat es el suelo, está presente en la mayoría de los huertos de cítricos del mundo, causando pérdidas que pueden oscilar entre 10 y 30%. Para reducir los daños ocasionados por esta enfermedad en plantaciones cítricas, se evaluaron productos químicos y uno biológico. El estudio, se llevó a cabo en la finca "El Cuervo", ubicada en la vereda Juntas, municipio de Neira, Caldas, en un cultivo de naranjo variedad Salustiana, injertado sobre un patrón Sunki de siete años de edad, afectado por *Phytophthora* spp. Las unidades experimentales, se seleccionaron teniendo en cuenta dos grados de ataque de la enfermedad: árboles ligera y severamente afectados. Se emplearon nueve tratamientos aplicados al suelo y uno inyectado al tallo; se utilizó una planta por cada grado de ataque y cinco repeticiones, en un diseño completamente al azar, en arreglo factorial, donde los factores fueron los tratamientos y los grados de ataque de la enfermedad. Se evaluó número de raíces, peso seco de raíces, número de frutos y peso de frutos. El mejor tratamiento fue fosetil + propamocarb inyectados al tallo, con un número de raíces 7,20, peso seco de raíces de 28,54g, número de frutos de 1.467,20 unidades/ha y un peso de frutos de 421,40kg/ha, resultados que hacen de fosetil + propamocarb, inyectados al tallo, una alternativa viable, para lograr la recuperación progresiva del sistema radical de los naranjos, ligeramente afectados por *Phytophthora* spp.

Palabras clave: Cítricos, pudrición radical, Oomycetes, fungicidas, *Trichoderma*.

SUMMARY

Phytophthora spp., whose habitat is the soil, is present in most citrus orchards in the world, causing losses that can range from 10 to 30%. In order to reduce the damage caused by this disease in citrus plantations, it was evaluated several chemical products and a biological one. The study was conducted at the "El Cuervo" located at the Juntas village, municipality of Neira Caldas, in a plantation of orange of 7 years old, established with the variety Salustiana, grafted on Sunki, affected by *Phytophthora* spp. The experimental units were selected based on two disease stages: slightly and severely affected trees. Nine treatments applied to the soil were used and one injected the stem, a plant for each stage of attack and five replicates in a completely randomized design in factorial arrangement, where the factors were the treatments and disease stages. It was evaluated number of roots, root dry weight, number of fruits and fruit weight. The best treatment was fosetyl + propamocarb stem injected, with a number of roots 7.20, root dry weight of 28.54g, number of fruits of 1467.20 units/ha and fruits weighing 421.40kg/ha, results that make fosetyl + propamocarb injected the stem a viable alternative to achieve the gradual recovery of the root system of the orange trees slightly affected by *Phytophthora* spp.

Key words: Citrus, root rot, Oomycetes, fungicides, *Trichoderma*.

INTRODUCCIÓN

Entre los problemas fitosanitarios más limitantes del cultivo del naranjo, se encuentra *Phytophthora* spp., un patógeno que habita en el suelo donde se mantiene, mediante infección repetida de las raíces fibrosas, capaz de ocasionar la muerte de plántulas, pudrición de raíces absorbentes y secundarias, pudrición de la base del tallo y aún de los frutos (Erwin & Ribeiro, 1996), daños que reducen los rendimientos y la calidad de la fruta, causando pérdidas anuales, en el ámbito mundial, sobre patrones susceptibles, que oscilan entre 10 y 30%, tanto en árboles jóvenes como en adultos (Timmer *et al.* 2000; Gusmao *et al.* 2008; Mounde *et al.* 2009).

De acuerdo con Medina (2000), Mounde *et al.* (2009) e ICA (2012), el manejo de *Phytophthora* spp. en cítricos, se basa en prácticas que incluyen el uso de patrones resistentes, como mandarina cleopatra, citrange carrizo, citrumelo swingle, naranjo trifoliado y limón volkameriana, entre otros; así como medidas preventivas, tales como el establecimiento de drenajes, poda, desinfección de herramientas, la preparación del suelo, el riego, la fertilización y el manejo de malezas. En plantaciones establecidas, la aplicación de fungicidas o mezclas de fungicidas con diferentes mecanismos de acción, resulta ser una de las mejores opciones, para controlar los daños originados por este patógeno (ICA, 2012).

García *et al.* (2008) indican que hasta 1970, los fungicidas más utilizados incluían al caldo bordelés y otros derivados del cobre, además de las phthalamidas y los ditiocarbamatos, productos de uso preventivo, que funcionan por contacto en la superficie de la planta; cuando el microorganismo penetra los tejidos, queda fuera del alcance de dichas moléculas, es decir, estos productos pueden prevenir una infección, pero no erradicar una existente (Tuttle, 2004; FRAC, 2007). Posteriormente, el manejo de *Phytophthora* spp., se basó en el uso de fungicidas sistémicos, característica que les permite tener acceso a las estructuras del patógeno e impedir su avance, existiendo moléculas de movimiento translaminar, como cymoxanil, dimetomorf, propamocarb, de arriba hacia abajo (basipétalo) o de abajo hacia arriba (acropétalo), como metalaxil, benalaxil y oxadixil o en ambos sentidos, como los fosfitos (Azevedo, 2007; FRAC, 2007).

Respecto al manejo biológico, Smith *et al.* (1990) y Silva *et al.* (2008) reportaron que algunas especies de *Trichoderma*, como *T. harzianum* y *T. stromaticum*, producen gran cantidad de sustancias fungistáticas contra *Phytophthora* spp., capaces de afectar las paredes celulares y el interior de éstas, reduciendo su desarrollo y causando su destrucción; sin embargo, Cotes (2014), señala que, hasta la fecha, solo existen algunos productos biológicos en el mercado

con ingrediente activo a base de *Trichoderma* que, en su mayoría, no se encuentran registrados.

Los fenómenos climáticos por los que atraviesa Colombia han amenazado gravemente las plantaciones de cítricos, debido a un aumento en la frecuencia de las precipitaciones, lo que ha incrementado los contenidos de humedad en el aire y en el suelo, favoreciendo la incidencia de *Phytophthora* spp., que limita la capacidad productiva del cultivo, la calidad y el rendimiento de las cosechas; es por ello, que esta investigación tuvo como fin establecer un manejo adecuado y eficiente, que permita reducir las pérdidas ocasionadas por *Phytophthora* spp., en cultivos tan importantes, como el naranjo dulce.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio, se llevó a cabo en la finca “El Cuervo”, ubicada en la vereda Juntas, municipio de Neira - Caldas, con una altura de 955msnm, temperatura promedio de 23,4°C, precipitación anual de 2.340mm y humedad relativa de 79%. Se empleó un cultivo de cítricos de siete años de edad, correspondiente a la variedad Salustiana, injertada sobre el patrón Sunki, susceptible a *Phytophthora* spp., sembrado a una distancia de 6m, entre surcos y 7m, entre plantas; las unidades experimentales correspondieron a un árbol de naranjo, que fue previamente calificado, teniendo en cuenta dos grados de ataque de la enfermedad: árboles ligeramente afectados y árboles severamente afectados (Figura 1).

Tratamientos. Se emplearon diez tratamientos (Tabla 1), con una planta por cada grado de ataque de la enfermedad y cinco repeticiones, para un total de 100 unidades experimentales, en un diseño completamente al azar (DCA), en arreglo factorial, donde los factores fueron los tratamientos y los dos grados de ataque de la enfermedad. La mayoría de los tratamientos, se aplicaron al suelo, con regadera alrededor de la planta (10L de solución/planta), en las dosis recomendadas por el fabricante y siguiendo sus instrucciones. Fosetil + propamocarb, se inyectó al tallo, para lo cual, fue perforado con taladro manual en dos puntos de su perímetro, en forma de bisel, a una profundidad de 5cm y a una altura de 1m del suelo; luego, con una jeringa desechable, se inyectó el fungicida en los orificios. La frecuencia de los tratamientos, así como las dosis empleadas, se encuentran descritas en la tabla 1.

Variables de respuesta: Número de raíces. Se evaluó, a través de siete muestreos, en el transcurso de un año, en cada unidad experimental; el primero, antes de la aplicación de los productos; el segundo, 30 días después; el tercero, a los 60 días y los cuatro restantes, se efectuaron cada dos meses (Tabla 1), para lo cual, se hicieron huecos de 30cm de ancho x 50cm de largo x 20cm de profundidad, en






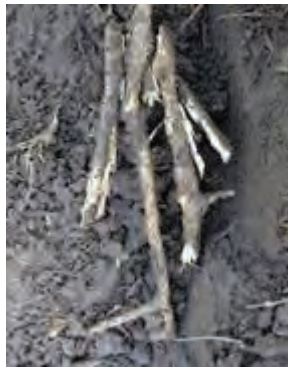
GRADO	1 Planta sana	2 Planta ligeramente afectada por <i>Phytophthora</i> spp.	3 Planta severamente afectada por <i>Phytophthora</i> spp.
DESCRIPCIÓN	Árbol vigoroso, gran número de brotes sanos y vigorosos; el follaje presenta una tonalidad verde y sus hojas alcanzan un buen tamaño; carga frutal adecuada y de buen calibre. El sistema radicular presenta un gran número de raicillas ausencia de raíces necrosadas.	Follaje escaso, clorosis leve y la mayoría de las veces las nervaduras se tornan amarillas, se producen pocos brotes, carga frutal baja, la planta presenta un aspecto decaído. Raíces poco abundantes, ausencia de raíces absorbentes.	Falta de vigor, gran número de ramas secas, defoliación progresiva, crecimiento reducido y clorosis generalizada hojas pequeñas, amarillentas, ausencia de carga frutal. Raíces necróticas y quebradizas, ausencia de raicilla absorbentes.
SÍNTOMAS			
			

Figura 1. Grados de ataque de *Phytophthora* spp., asociados con la pudrición de raíces sobre naranjo ‘Salustiana’ injertado en portainjerto Sunki.

Tabla 1. Tiempos, en los cuales, se realizó el muestreo de raíces, cosecha de frutos y aplicación de los tratamientos.

Actividades		Dosis/ha	Meses												
			0	1	2	3	4	5*	6*	7	8	9	10	11	12
Muestreo de raíces				X	X			X		X		X		X	
Cosecha de frutos			X			X			X			X			X
Aplicación de tratamientos	T1	(Fósforo + Potasio + Aminoácidos libres) + (Iodocitrato de cobre)	11,2 L + 11,2 L	X	X				X	X			X	X	
	T2	Fosetil aluminio	14 Kg	X	X				X	X			X	X	
	T3	Fosetil + Propamocarb (inyección al tallo)	2,8 L	X			X			X			X		
	T4	Fosetil + Propamocarb (al suelo)	4,9 L	X	X				X	X			X	X	
	T5	(Fosetil + Propamocarb) + (CaO + Carbono orgánico oxidable + Ácidos carboxy) + (Auxinas + Citoquininas + Ácidos carboxy + Carbono orgánico oxidable + Fósforo bioactivado)	4,9 L+10 L+1 L	X	X				X	X			X	X	
	T6	Dimetomorf + Clorotalonil	12 Kg	X	X				X	X			X	X	
	T7	Oxadixil + Macozeb	8 Kg	X	X				X	X			X	X	
	T8	Benalaxil + Clorotalonil	40 Kg	X	X				X	X			X	X	
	T9	<i>Trichoderma harzianum</i>	56 L	X	X				X	X			X	X	
	T10	Testigo													

*Las aplicaciones de los productos durante estos meses fueron quincenales, a excepción de fosetil + propamocarb (inyección al tallo) en el que fueron trimestrales.

tres puntos de la zona de la gotera, en donde se contó el número de raíces. Peso seco (g) de raíces. Una vez contadas las raíces, se cortaron y se depositaron en bolsas plásticas; posteriormente, se lavaron y se dejaron secar al aire; luego, se llevaron a un horno graduado a una temperatura de 80°C, por un periodo de 48h; transcurrido este tiempo, se pesaron en una balanza analítica. Número y peso (kg) de frutos. Cada tres meses, se procedió a cosechar las unidades experimentales, contabilizando el número de naranjas, que se pesaron con ayuda de una báscula digital. Detección de *Phytophthora* spp. Con el fin de verificar la presencia de *Phytophthora* spp., se utilizaron inmunocintas de Agdia® (2010), específicas para la detección de especies de este patógeno. Del último muestreo, se extrajo con un bisturí, por cada unidad experimental, una muestra de raíces, que se depositó en la bolsa para extracción y con una varilla de cuarzo, se frotó suavemente; posteriormente, se introdujo la inmunocinta y transcurridos 5 min fue retirada; el resultado se interpretó como negativo, si solo la línea C apareció en la inmunocinta y positivo, si la línea T hizo presencia en color rosado o púrpura. Relación costo-beneficio. Durante este estudio, se registraron los costos de aplicación de los productos químicos y el biológico.

Análisis estadístico. A las variables evaluadas, se les realizó análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan al 5 % de probabilidad, con ayuda del paquete estadístico R Project versión 2.15.0 (R Project, 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de raíces. El análisis de varianza para número de raíces, indicó diferencias estadísticas entre tratamientos y grados de ataque de la enfermedad ($p < 0,01$); la prueba de Duncan al 5%, mostró que el mejor promedio fue para fosetil + propamocarb inyectados al tallo, con 7,20 raíces (Tabla 2), resultados que coinciden con Mc Millan & Tepper (1985), quienes al intentar manejar a *P. cinnamomi* en aguacate, mediante inyecciones al tallo de fosetil aluminio, observaron una recuperación progresiva de los árboles tratados. El método de inyección permitió a estos fungicidas ser absorbidos por el sistema vascular y llegar, progresivamente, a todos los tejidos, a través del xilema y el floema, para inhibir el crecimiento y la esporulación de *Phytophthora* spp. (Cacciola & Di San Lio, 2008).

Tabla 2. Efecto de los tratamientos sobre las variables evaluadas en naranjo 'Salustiana' injertado en portainjerto Sunki, durante el muestreo y la cosecha final.

Tratamiento	VARIABLES DE RESPUESTA			
	Número de raíces	Peso seco de raíces	Número de frutos	Peso de frutos
(Fósforo + Potasio + Aminoácidos libres) + (Iodocitrato de cobre)	5,167 abc*	18,460 b	327,60 c	43,48 c
Fosetil aluminio	4,667 cd	20,553 b	330,40 c	43,17 c
Fosetil + Propamocarb (inyección al tallo)	7,200 a	28,537 a	1.467,20 a	421,40 a
Fosetil + Propamocarb (al suelo)	3,967 cd	17,653 b	389,20 c	77,72 c
(Fosetil + Propamocarb) + (CaO + Carbono orgánico oxidable + Ácidos carboxy) + (Auxinas + Citoquininas + Ácidos carboxy + Carbono orgánico oxidable + Fósforo bioactivado)	4,967 bc	17,930 b	266,00 c	50,40 c
Dimetomorf + Clorotalonil	6,933 ab	20,683 b	243,60 c	38,08 c
Oxadixil + Macozeb	5,967 abc	24,637 ab	839,44 b	182,00 ab
Benalaxil + Clorotalonil	6,067 abc	20,960 b	425,60 c	51,12 c
<i>Trichoderma harzianum</i>	4,867 bcd	17,846 b	372,40 c	72,80 c
Testigo	2,900 d	10,803 c	243,60 c	49,14 c

*Letras diferentes denotan diferencias significativas entre tratamientos, según la prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

En cuanto a la aplicación de *Trichoderma harzianum*, el número de raíces fue de 4,86, un valor que al ser comparado con el obtenido por el testigo, indicó diferencias estadísticas mínimas (Tabla 2); esto, se atribuye a que los productos biológicos son de acción preventiva y para ejercer un buen manejo de *Phytophthora* spp., requieren la presencia de grandes cantidades de inóculo alrededor de la planta, además de su presencia previa a la del patógeno (Tuset *et al.* 1997; Pérez *et al.* 2004). Como se observa en la tabla 3, el número de raíces, por cada grado de ataque de la enfermedad, mostró diferencias estadísticas, siendo el promedio más alto para los árboles ligeramente afectados, lo que refleja la poca efectividad de las aplicaciones, cuando la enfermedad se encuentra en un estado avanzado.

Peso seco de raíces. El análisis de varianza indicó diferencias estadísticas entre tratamientos, grados de ataque ($p < 0,01$) y la interacción tratamiento por grado de ataque de la enfermedad ($p < 0,01$); el mejor tratamiento, según la prueba Duncan al 5% de probabilidad, fue fosetil + propamocarb inyectados al tallo, con un peso seco de 28,54g (Tabla 2), demostrando que estas moléculas son capaces de inhibir el crecimiento y la esporulación de *Phytophthora* spp., actuando como una toxina, además de estimular los mecanismos de defensa en la planta, mediante la producción de fitoalexinas en los puntos potenciales de infección, evitando así la necrosis del tejido cortical de las raicillas absorbentes (Fenn & Coffey, 1985; Guest & Bompeix, 1990; Erwin & Ribeiro, 1996; Tuset *et al.* 2003).

Se resalta la efectividad de oxadixil + mancozeb, que no produjo incrementos significativos en el número de raíces, pero sí lo hizo en el peso seco, alcanzando un promedio de 24,63g, valor que al ser comparado con el de fosetil + propamocarb inyectados, mostró una diferencia de 3,90g (Tabla 2); esto permite inferir, que estos ingredientes son una alternativa viable en el manejo de la pudrición de raíces, resultados que coinciden con las observaciones de Gisi *et al.* (1985), quienes afirman que existe un efecto sinérgico de oxadixil, cuando se aplica en mezcla con mancozeb.

El tratamiento con *T. harzianum* no logró resultados positivos en cuanto a esta variable; obtuvo un promedio de 17,84g, valor que indicó mínimas diferencias respecto al testigo, el cual, presentó un promedio de 10,80g (Tabla 2); al respecto, Coffey (1991), Erwin & Ribeiro (1996) y Romero (2004) aseguran que el éxito de los biocontroladores está relacionado con los principios de exclusión, erradicación, protección e inmunización, que permiten reducir la tasa de incremento del patógeno, creando un ambiente desfavorable, dentro de un plan de manejo integrado.

En relación a los grados de ataque de la enfermedad, los naranjos ligeramente afectados mostraron un promedio de 22,83g (Tabla 3), un valor significativo basado en el hecho que, solo las aplicaciones de fosetil + propamocarb inyectados al tallo y oxadixil + mancozeb, fueron efectivas para detener el avance de *Phytophthora* spp. en las raíces; en los árboles severamente afectados, la media fue de 16,78 g, que indica la ineficacia de los tratamientos, a medida que avanza la enfermedad (Tabla 3).

Al analizar la interacción tratamiento*grado de ataque de la enfermedad, se observó que fosetil + propamocarb inyectados al tallo, detuvieron la pudrición de raíces en naranjos ligeramente afectados por el patógeno, logrando el incremento más significativo en el peso seco (34,53g) (Figura 2A). Este resultado reafirma la efectividad de estos ingredientes activos y también la del método empleado; coincide con Darvas *et al.* (1984) y Mc Millan & Tepper (1985), quienes trabajando en el manejo de *P. cinnamomi*, en aguacate, aseguran que dicho producto controla eficazmente esta enfermedad; de otro lado, Piccone *et al.* (1988), Coffey (1991) y Latorre *et al.* (1998) concuerdan en que al tratar de recuperar árboles afectados por *Phytophthora* spp., los tratamientos con fosetil aluminio resultan ser más efectivos que aquellos que utilizan otros ingredientes, sobre todo, si se realizan en inyección al tallo, debido a que una cantidad reducida de raíces dificulta la absorción del producto, cuando se utilizan otros métodos. Referente a oxadixil + mancozeb, el promedio fue de 29,93g, evidenciando una recuperación

Tabla 3. Efecto de los tratamientos sobre las variables evaluadas en naranjo 'Salustiana' injertado en portainjerto Sunki, en árboles ligera y severamente afectados por *Phytophthora* spp.

	Árboles ligeramente afectados	Árboles severamente afectados
Número de raíces	6,460 a*	4,080 b
Peso seco de raíces (g)	22,829 a	16,784 b
Número de frutos	157,47 a	50,62 b
Peso de frutos (kg)	26,60 a	10,75 b

*Letras diferentes denotan diferencias significativas, según la prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

parcial del sistema radical, no tan efectiva como la de fosetil + propamocarb inyectados al tallo (Figura 2A); para los demás tratamientos, las medias oscilaron entre 24,06 y 18,67g, sin diferencias estadísticas entre sí; los valores más bajos fueron para fosetil + propamocarb aplicados al suelo

y el testigo con 14,10g y 12,17g, respectivamente (Figura 2A). La interacción, además mostró que cuando los árboles han sido severamente afectados, no es efectivo ninguno de los productos; es de resaltar, que para este grado de ataque, el promedio más bajo fue para el testigo con 9,43 g (Figura 2A).

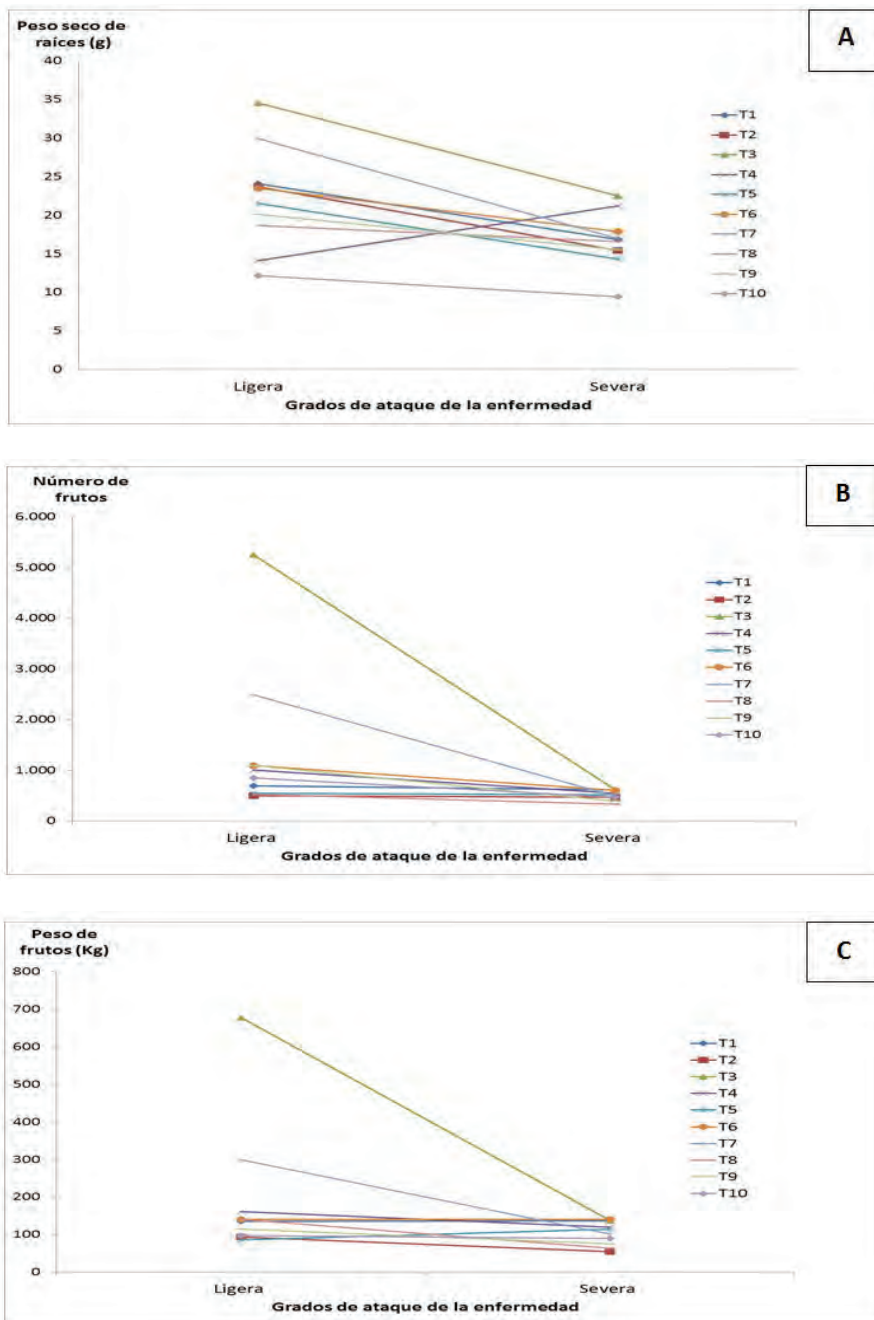


Figura 2. Interacción tratamiento*grado de ataque de la enfermedad A. Variable dependiente peso seco de raíces. B. Variable dependiente número de frutos. C. Variable dependiente peso de frutos. T1. Fósforo + potasio + aminoácidos libres + iodocitrato de cobre; T2. Fosetil - aluminio; T3. Fosetil + propamocarb (inyectados al tallo); T4. Fosetil + propamocarb (aplicados al suelo); T5. Fosetil + propamocarb + CaO + carbono orgánico oxidable + ácidos carboxy + auxinas + citoquininas + ácidos carboxy + carbono orgánico oxidable + fósforo bioactivado; T6. Dimetomorf + clorotalonil; T7. Oxadixil + mancozeb; T8. Benalaxil + clorotalonil; T9. *Trichoderma harzianum*; T10. Testigo.

En general, se puede inferir que si *Phytophthora* spp. es detectado oportunamente, la mejor opción para recuperar el vigor de los naranjos es el uso de fosetil + propamocarb en inyección al tallo; asimismo, que la respuesta a las aplicaciones de productos, tanto químicos como biológicos, varía dependiendo del grado de ataque de la enfermedad.

Número de frutos. El análisis de varianza reveló diferencias estadísticas entre tratamientos, grado de ataque de la enfermedad ($p < 0,01$) y la interacción tratamiento*grado de ataque ($p < 0,01$). La prueba de Duncan al 5% de probabilidad indicó que el tratamiento con fosetil + propamocarb inyectados al tallo, logró el mayor número de frutos (1.467 unidades/ha), promedio que difirió significativamente del testigo (243,60 unidades/ha) (Tabla 3) y que, si bien es cierto es un número bajo, se debe tener en cuenta que eran árboles en proceso de recuperación. Las medias obtenidas durante todo el experimento con fosetil + propamocarb inyectados al tallo permiten deducir que los efectos de esta mezcla, en cuanto producción, solo se aprecian a través del tiempo, lo que coincide con Delgado *et al.* (1991), quienes al evaluar fosetil aluminio sobre el rendimiento de pomelos variedad Marsh reportaron incrementos de hasta 1.200 unidades/ha, luego de dos años consecutivos de dicha aplicación; igualmente, Coffey & Guillemet (1984), al trabajar con aguacate cultivar Fuerte afectado severamente por *P. cinnamomi*, consiguieron incrementar la producción, pasando de 34 a 132 unidades/planta, 36 meses después de tratar los árboles con fosetil aluminio.

En cuanto a oxadixil + mancozeb, el promedio fue de 839 unidades/ha, valor que difirió del obtenido con fosetil + propamocarb inyectados al tallo en casi un 50% (Tabla 2); si se tienen en cuenta las variables peso y número de raíces, se puede concluir que estos ingredientes, solo lograron una recuperación de los naranjos, a nivel radical.

Para *T. harzianum*, la media fue de 372 unidades/ha, con mínimas diferencias, respecto al testigo absoluto (Tabla 2).

En relación a los grados de ataque hubo diferencias estadísticas significativas; los árboles ligeramente afectados presentaron un promedio de 157,47 unidades/ha (Tabla 4), un valor bajo, dado que la mayoría de productos no detuvieron el avance de la enfermedad. En los árboles severamente afectados, la media fue de 50,62 unidades/ha, indicando una vez más lo inefectivas que resultan las aplicaciones cuando el patógeno ha avanzado en el interior de los tejidos.

Al analizar la interacción, se apreció que el número de frutos aumentó con fosetil + propamocarb inyectados al tallo, pero solo en árboles ligeramente afectados, alcanzando un promedio de 5.252 unidades/ha (Figura 1B), resultados que concuerdan con Darvas *et al.* (1984), quienes reportaron

en aguacate variedad Fuerte ligeramente afectado por *P. cinnamomi* incrementos progresivos, de hasta el 50%, luego de la aplicación de fosetil aluminio en inyección al tallo. Una mejoría en el sistema radical de las plantas, como lo afirman Taiz & Zeiger (2006), permite una mayor absorción de nutrientes de la solución del suelo, los cuales, pueden ser utilizados para la emisión de hojas y la formación y desarrollo de flores y frutos. De otro lado, el tratamiento con oxadixil + mancozeb produjo 2.494 unidades/ha, un número relativamente bajo, que evidencia una recuperación parcial del sistema radical. En cuanto a *T. harzianum* y el testigo el promedio fue de 1.097 y 851 unidades/ha, respectivamente, valores similares entre sí; el resto de los tratamientos presentaron medias, que fluctuaron entre 504 y 1.500 unidades/ha (Figura 2B); de la interacción, además se pudo concluir, que cuando los naranjos han sido severamente afectados por *Phytophthora* spp., ningún producto es efectivo para incrementar el número de frutos.

Peso de frutos. Un año después de haberse iniciado las aplicaciones de los productos químicos y el biológico *T. harzianum* para el manejo de la *Phytophthora* spp., el análisis de varianza mostró diferencias significativas entre tratamientos, grados de ataque de la enfermedad ($p = 0,01$) y la interacción tratamiento*grado de ataque ($p = < 0,0021$); la prueba de Duncan al 5% de probabilidad indicó que la mejor media fue para el tratamiento con fosetil + propamocarb inyectados al tallo, con una producción de 421,40 kg/ha (Tabla 2), mostrando un efecto positivo de estos ingredientes, aunque no deja de ser un peso bajo; sin embargo, cabe resaltar que las aplicaciones de fungicidas están dirigidas, inicialmente, a optimizar el sistema radical y, una vez éste ha sido restablecido, en casi su totalidad, mejorará notablemente la absorción de nutrientes y agua, lo que, al final, repercutirá en los rendimientos (Delgado *et al.* 1991; Gimenez, 1991). El segundo mejor peso fue para oxadixil + mancozeb, tratamiento con el cual se logró una producción de 182kg/ha, un valor bajo, teniendo en cuenta que es casi la mitad del alcanzado con fosetil + propamocarb inyectados al tallo (421,40kg/ha) (Tabla 2). Los resultados de esta aplicación, tanto en el peso como el número de frutos, no fueron satisfactorios y solo mostraron una recuperación parcial, a nivel radical, lo que permite concluir que oxadixil + mancozeb pueden ser efectivos, cuando la enfermedad se encuentra en sus etapas iniciales o cuando se emplean en el manejo preventivo.

Los rendimientos para los naranjos tratados con *T. harzianum* fueron de 72,80kg/ha sin diferencias estadísticas frente al testigo, con el que se obtuvo 49,14kg/ha (Tabla 2); es evidente que el producto biológico no pudo detener el avance del patógeno, a través del ápice de las raíces y como se había mencionado, para alcanzar buenas cosechas es necesario lograr, inicialmente, la recuperación del sistema radical, hecho que a largo plazo permitirá una mayor producción.

Los promedios por cada grado de ataque de la enfermedad evidenciaron diferencia estadísticas; la mayor media fue para los árboles ligeramente afectados, con 26,60kg/ha y los naranjos severamente afectados presentaron una producción baja, 10,75kg/ha (Tabla 3).

Si se analiza la interacción tratamiento*grado de ataque de la enfermedad, se concluye que fosetil + propamocarb inyectados al tallo fue el único que mostró incrementos significativos en la producción (678kg/ha) (Figura 2C), pero solo en árboles ligeramente afectados. En relación a lo anterior, Pegg *et al.* (1987) reportaron que en aguacate, la efectividad de los fosfonatos solo se aprecia un año después de la primera aplicación y transcurridos dos años es cuando se elevan los rendimientos, hasta 5,5t/ha; de otro lado, Coffey & Guillerment (1984), al trabajar con el cultivar Fuerte en aguacate, lograron una transición de 6,3 a 29,2kg/árbol, luego de 36 meses del tratamiento con fosetil aluminio, lo que permite deducir, que si bien es cierto que fosetil + propamocarb inyectados al tallo logran recuperar el sistema radical de los naranjos, éste es un proceso lento. Para oxadixil + mancozeb, se observó una producción de 300kg/ha, es decir, 50% menos de la lograda con fosetil + propamocarb inyectados al tallo (678kg/ha) (Figura 2C) y que al compararse con el número y peso seco de raíces, demuestra que la mezcla de estos ingredientes activos pueden restituir el sistema radical de los naranjos, aunque los incrementos en los rendimientos lleguen a ser casi imperceptibles. Referente a los árboles severamente afectados por *Phytophthora* spp., ninguno de los tratamientos permitió obtener aumentos del peso de frutos, pues tal como lo afirman Piccone *et al.* (1988) y Coffey (1991), la efectividad de los fungicidas para el manejo de este patógeno, se encuentra condicionada al estado inicial de los árboles tratados.

Detección de *Phytophthora* spp. En cuanto a los árboles ligeramente afectados, las inmunocintas detectaron la presencia del patógeno en solo uno de los naranjos tratados con fosetil + propamocarb en inyección al tallo, seguido de oxadixil + mancozeb, con dos naranjos y, finalmente, fosetil + propamocarb, aplicados al suelo, fosetil + propamocarb + CaO + carbono orgánico oxidable + ácidos carboxy + auxinas + citoquininas + ácidos carboxy + carbono orgánico oxidable + fósforo bioactivado y dimetomorf + clorotalonil, con cuatro árboles cada uno; para el testigo, la prueba fue positiva en los cinco naranjos empleados. Lo anterior valida los resultados del presente trabajo y ratifica a fosetil + propamocarb en inyección al tallo, como una de las mejores alternativas, para el manejo de la pudrición de raíces en cítricos.

En los árboles severamente, los tratamientos con fosetil + propamocarb en inyección al tallo, citoquininas + ácidos

carboxy + carbono orgánico oxidable + fósforo bioactivado, dimetomorf + clorotalonil y oxadixil + mancozeb indicaron la presencia de *Phytophthora* spp., en cuatro de los cinco naranjos utilizados, a excepción de fosetil + propamocarb aplicados al suelo, en el que se detectó al patógeno en tres de los árboles y el testigo, en el que la prueba fue positiva, para los cinco árboles. La mezcla de fosetil + propamocarb en inyección al tallo es solo efectiva en naranjos ligeramente afectados.

Costos. La mezcla de fosetil + propamocarb inyectada al tallo fue el tratamiento más económico, con un costo total de \$1.338.400, debido a que el método inyección al tallo, permitió reducir el volumen de agua empleado, la frecuencia de aplicación, el costo total de los jornales y, por consiguiente, los costos variables (CV) (Tabla 4); el tratamiento más costoso fue *T. harzianum*, con \$8.307.200, valor que se debe, en parte, a que fueron necesarios alrededor de 56 L/ha de producto, para una sola aplicación (Tabla 4).

Teniendo en cuenta la producción promedio anual y el precio de comercialización de la naranja Salustiana, durante el 2013, que fue de \$730/ kg, se calculó el beneficio bruto (BB), la diferencia entre el BB y los CV, dando como resultado la relación costo-beneficio (CB) (Tabla 4) y observándose que ninguna de las aplicaciones fue capaz de brindar al agricultor un beneficio económico, un indicador de suma importancia al momento de seleccionar la estrategia a emplear, para el manejo de un patógeno; por lo cual, se procedió a realizar una proyección de los rendimientos, pero solo para fosetil + propamocarb inyectados al tallo, debido a que fue el único tratamiento con el que se obtuvo diferencias significativas, en las variables evaluadas.

La proyección, se realizó para cuatro años, así que, considerando la producción promedio anual del testigo y la de fosetil + propamocarb, se estimó un incremento del 161%, es decir, que para el 2014 - 2015 y 2016 sería de 1.986,23 – 3.197,99 y 5.148,76kg/ha, respectivamente; sin embargo, estos valores son bajos, si se comparan con los de un huerto sano a los diez años de edad, en el que los rendimientos son de aproximadamente 51.613kg/ha; de la proyección, además se infirió que durante el 2014 - 2015 y 2016 la relación costo-beneficio puede llegar a ser positiva, logrando valores de \$70.797 - \$1.077.771 y \$2.746.246, respectivamente, pero no se obtendría un retorno económico para el agricultor.

Conflictos 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. **Financiación:** Este estudio fue financiado por Agronuevomundo y las empresas Ankor S.A.S., Bayer®, Cheminova®, FMC®, Innovak® y Proficol®.

Tabla 4. Costo-beneficio de la aplicación de los productos químicos y el biológico *Trichoderma harzianum*, para el manejo de *Phytophthora* spp. en naranjo 'Salustiana' injertado en portainjerto Sunki.

Tratamiento	Producción promedio anual (kg/ha)	BB (\$)	CV (\$)	CB (\$)
(Fósforo + Potasio + Aminoácidos libres) + (Iodocitrato de cobre)	636,40	464.572	5.619.000	-5.154.428
Fosetil aluminio	666,05	486.217	3.603.200	-3.116.983
Fosetil + Propamocarb (inyección al tallo)	1.233,68	900.586	1.338.400	-437.814
Fosetil + Propamocarb (al suelo)	739,05	539.507	3.964.400	-3.424.893
(Fosetil + Propamocarb) + (CaO + Carbono orgánico oxidable + Ácidos carboxy) + (Auxinas + Citoquininas + Ácidos carboxy + Carbono orgánico oxidable + Fósforo bioactivado)	585,92	427.723	5.753.200	-5325477
Dimetomorf + Clorotalonil	503,20	367.336	2.851.200	-2.483.864
Oxadixil + Macozeb	732,70	534.870	3.251.200	-2.716.330
Benalaxil + Clorotalonil	510,40	372.592	5.648.967	-5.276.375
<i>Trichoderma harzianum</i>	403,06	294.233	8.307.200	-8.012.967
Testigo	471,10	343.930	0	343.930

BIBLIOGRAFÍA

- AGDIA®. 2010. Agdia releases easy-to-use ImmunoStrip® for detection of *Phytophthora* species. Disponible desde Internet en: www.agdia.com (con acceso 22/09/2013).
- AZEVEDO, L. 2007. Fungicidas sistêmicos: práctica e teoría. 1ª ed. Ed. EMOPI. (Campinas). 283p.
- CACCIOLA, O.; DI SAN LIO, G. 2008. Management of citrus diseases caused by *Phytophthora* spp. In: Ciancio, K.; Mukerji, J. (eds). Integrated Management of Diseases Caused by Fungi, Phytoplasma and Bacteria. Springer (Italy). p.2-25.
- COFFEY, M. 1991. Cause and diagnosis of avocado root rot. California Grower. 15(3):17-23.
- COFFEY, M.; GUILLEMET, F. 1984. Chemical control of *Phytophthora cinnamomi* on avocado rootstocks. Am. Phytopath. Soc. 68(11):956-958.
- COTES, A. 2014. Control biológico de enfermedades de plantas en Colombia. En: Bettiol, W.; Rivera, M.; Mondino, P.; Montealegre, A.; Colmenárez, Y. (eds). Control biológico de enfermedades de plantas en América Latina y el Caribe. Ed. Universidad de Uruguay. p.169-179.
- DARVAS, J.; TOERIN, C.; MILNE, D. 1984. Control of Avocado Root Rot by Trunk Injection with Phosethyl-Al. Plant Disease. 68:691-693.
- DELGADO, R.; SUÁREZ, M.; CASAMAYOR, R. 1991. Efectos del fosetil-Al en cítricos. Influencia sobre los rendimientos. Rev. Interam. Cienc. Agrícolas Turrialba. 41(4):488-492.
- ERWIN, D.; RIBEIRO, O. 1996. *Phytophthora* diseases worldwide. Am. Phytopath. Soc. (St. Paul. Minnesota). 562p.
- FENN, M.; COFFEY, M. 1985. Further evidence for the direct mode of action of phosetyl-Al and phosphorous acid. Phytopath. 75:1064-1068.
- FUNGICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE – FRAC-. 2007. QoI working group. Disponible desde interne en: <http://www.frac.info> (con acceso 23/08/2007).
- GARCÍA, H.; MARÍN, M.; JARAMILLO, S.; COTES, M. 2008. Sensibilidad de aislamientos colombianos de *Phytophthora infestans* a cuatro fungicidas sistêmicos. Agr. Col. 26(1):47-57.
- GIMENEZ, I. 1991. Ensayos sobre la translocación en plantas de fungicidas sistêmicos. Boletín de Sanidad Vegetal Plagas. (España). 17:497-518.

14. GISI, U.; BINDER, H.; RIMBACH, E. 1985. Synergistic interactions of fungicides with different modes of action. *Transact. Brit. Mycol. Soc.* 85:299-306.
15. GUEST, D.; BOMPEIX, G. 1990. The complex mode of action of phosphonates. *Austral. Plant Path.* 19(4):113-115.
16. GUSMAO, J.; BROETTO, F.; SALIBE, A.; FEICHTENBERG, E. 2008. Alteração na actividade de peroxidase e concentração de fenóis em microtangerinas (*Citrus spp.*) infecadas por *Phytophthora parasítica*. *Braz. J. Biosciences.* 6:1-5.
17. ICA. 2012. Manejo fitosanitario del cultivo de los cítricos (*Citrus*). Ed. Produmedios (Colombia). 24p.
18. LATORRE, B.; ANDRACA, F.; BESOAIN, X. 1998. Tristeza del palto. *Aconex.* 59:18-23.
19. Mc MILLAN, R.; TEPPER, B. 1985. Avocado stem injection of fosetyl-Al for control of *Phytophthora* root rot. *Proc. Fl. State Hort. Soc.* 98:143-144.
20. MEDINA, Y. 2000. *Phytophthora*: Características, diagnóstico y daños que provoca en algunos cultivos tropicales. Medidas de control. Disponible desde Internet en: <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/1060/cuf0022s.pdf> (con acceso 23/08/2012).
21. MOUNDE, L.; ATEKA, E.; KIHURANI, A.; WASILWA, L.; THURANIRA, E. 2009. Occurrence and distribution of citrus gummosis (*Phytophthora spp.*) in Kenya, Africa. *J. Hort. Sci. Biotechn.* 2:56-68.
22. PEGG, K.; WHILEY, A.; LANGDON, P.; SARANAH, J. 1987. Comparison of phosetyl-Al, phosphorus acid and metalaxyl for long-term control of *Phytophthora* rot of avocado. *Austral. J. Exp. Agr.* 27:471-474.
23. PÉREZ, A.; ARANGÜREN, M.; LUZBET, R.; RÍOS, M. 2004. Empleo de *Trichoderma sp.* para el control de lesiones causadas por *Phytophthora spp.* en troncos y ramas en árboles de pomelo Ruby Red. *Centro Agrícola. (Cuba).* 3 (4):102-103.
24. PICCONE, M.; WHILEY, A.; PEGG, K. 1988. Trunk injection. *Austral. Hort.* 1:5-7.
25. ROMERO, F. 2004. Manejo integrado de plagas: Las bases, los conceptos su mercantilización. Ed. Universidad Autónoma de Chapingo (Mexico). 103p.
26. R PROJECT. 2014. Version 2.15.0. Development core team: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Berkeley, USA. ISBN 3-900051-07-0. Disponible desde Internet en: <http://www.r-project.org> (con acceso 21/02/2014).
27. SILVA, K.; REBOUÇAS, T.; PEREIRA, M.; SILVA, D.; SÃO, A.; SABIN, C. 2008. Atividade antagônica *in vitro* de aislados de *Trichoderma spp.* ao fungo *Phytophthora citrophthora*. *Agron.* 29(4):749-754.
28. SMITH, V.; WILEOX, F.; LLARMAN, G. 1990. Potential for biological control of *Phytophthora* root and crown rots of apple by *Trichoderma sp.* and *Gliocladium sp.* *Phytopath.* 80(9):880-885.
29. TAIZ, L.; ZEIGER, G. 2006. Fisiología Vegetal. Ed. Universitat Jaume. (España). p 84-92.
30. TIMMER, L.; GARNSEY, S.; GRAHAM, J. 2000. Compendium of citrus diseases. APS Press (St. Paul. Minnesota). 128p.
31. TUSET, J.; HINAREJOS, C.; MIRA, J.; MARTÍNEZ, J.; CEBOLLA, V. 1997. Actividad y eficacia del control integrado de los hongos del suelo y de la conservación de los cítricos mediante antagonistas microbiológicos y sustancias antifúngicas naturales. Disponible desde Internet en: <http://www.inia.es/gcontrec/Proyectos/resultados-97/Agricola/sc94-034.pdf> (con acceso 12/03/2014).
32. TUSET, J.; PEÑA, I.; GARCÍA, J. 2003. Efecto fungitóxico del ácido fosforoso en naranjo dulce a la infección con zoosporas de *Phytophthora citrophthora*. *Bol. San. Veg. Plagas.* 29: 413-420.
33. TUTTLE, M. 2004. What ares fungicides? Disponible desde internet en: <http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/topics/Pages/fungicides.aspx> (con acceso 11/06/2015).

Recibido: Mayo 4 de 2015

Aceptado: Septiembre 9 de 2015

Cómo citar:

Pabón-Villalobos, J.; Castaño-Zapata, J. 2015. Evaluación de productos químicos y uno biológico para el manejo de *Phytophthora spp.* en naranjo 'Salustiana' injertado en portainjerto Sunki. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 339-349.

EFFECTIVIDAD DE LA MARMOLINA COMO MINERAL INERTE EN EL CONTROL DE *Hypothenemus hampei* (FERRARI) (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) DURANTE LA CONSERVACIÓN DE SEMILLAS

EFFECTIVENESS OF MARMOLINA AS AN INERT MINERAL IN THE CONTROL OF *Hypothenemus hampei* (FERRARI) (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) DURING STORAGE OF COFFEE SEEDS

Yandy Rodríguez Ledesma¹, Claribel Suárez Pérez², Justo Antonio Rojas Rojas³, Raúl Mirabal García⁴,
Yasel López López⁵, Erismany Molina Moreno⁶.

¹ Ingeniero Agrónomo. Máster en Ciencias Agrícolas. Centro Universitario Fomento. Máximo Gómez 103. Fomento, Sancti Spíritus. Cuba. CP: 62500. E-mail: yledesma@uniss.edu.cu; ² Ingeniero Agrónomo, Doctora en Ciencias Pedagógicas. Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez". Ave de los Mártires. Número 360, Sancti Spíritus. CP 60100. E-mail: claribel@uniss.edu.cu; ³ Ingeniero Agrónomo, Doctor en Ciencias Agrícolas Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez". Ave de los Mártires. Número 360, Sancti Spíritus. CP 60100 e-mail: justo@uniss.edu.cu; ⁴ Ingeniero Agrónomo. Máster en Ciencias Agrícolas. Estación de Protección de plantas (EPP). Carretera circunvalante, Fomento, Sancti Spíritus. CP: 62500; ⁵ Ingeniero Agrónomo, Máster en Ciencias Agrícolas Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez". Ave de los Mártires. Número 360, Sancti Spíritus. CP 60100. E-mail: yasel@uniss.edu.cu; ⁶ Ingeniero Agrónomo, Máster en Ciencias Agrícolas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez". Ave de los Mártires. Número 360, Sancti Spíritus. CP 60100.

Rev. U.D.C A Act. & Div. Cient. 18(2): 351-358, Julio-Diciembre, 2015

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la efectividad de la marmolina, como polvo inerte en el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae), durante el período de conservación de las semillas, se determinó el efecto anti-insecto, mortalidad, porcentaje de pérdida de peso y germinación. Se utilizó un diseño completamente al azar, en un arreglo de 4 tratamientos y 3 dosis. Los tratamientos, se evaluaron en dosis de 0,46g; 0,81g; 1,74g y un control (sin polvo), con tres réplicas, cada uno. Se realizó un análisis de varianza en el paquete estadístico statgraphics versión 5.0. Para el cálculo de mortalidad, todos los datos obtenidos fueron transformados en $\arcsin(x/100)^{0.5}$. La marmolina, se adhiere con facilidad a la cutícula del insecto, debido a su alta superficie específica $14\text{m}^2\text{g}^{-1}$ y actúa matándolo, mediante un proceso físico de desecación y debido a su composición química. Según los resultados, se obtuvieron valores de mortalidad de 100%, a los 7 días, con las tres dosis empleadas. Entre mayor es la dosis de marmolina utilizada en las semillas menor será el ataque del insecto a las mismas y, entonces, menor el porcentaje de peso de la muestra. La marmolina aplicada

a las semillas, para el control de la broca del café, no afecta la germinación de las semillas almacenadas, por un periodo de 10 meses.

Palabras clave: Café, germinación, polvo mineral, marmolina, semillas almacenadas.

SUMMARY

In order to assess the effectiveness of marmolina as inert dust in the control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae) during the period of seed storage, its anti-insect effect, borer mortality, seed percentage of weight loss and germination was determined. The design was completely randomized 4 treatments and 3 doses. Treatments were evaluated in dose of 0.46g; 0.81g; 1.74g and a control (without dust) with three replicates each one. An analysis of variance was performed with the statistical package Statgraphics version 5.0. To calculate mortality, all data were transformed into $\arcsin(x/100)^{0.5}$. Marmolina sticks to the insect cuticle due to its high specific surface $14\text{m}^2\text{g}^{-1}$ and works by killing the insect by physical drying process due to the presence of various

chemical. According to the results a 100% mortality at 7 days after the treatment was obtained with the three doses. Marmolina applied to seeds for the control of the coffee berry borer does not affect the germination of seeds stored for a period of 10 months.

Key words: Coffee, germination, mineral powder, marmolina, stored seeds.

INTRODUCCIÓN

La broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae) constituye el principal problema fitosanitario del café en todo el mundo (Bustillo *et al.* 2008; Díaz-Vicente *et al.* 2014) y, actualmente, para Cuba. Según, Bustillo (2005), Bustillo-Pardey (2006), Vázquez *et al.* (2005) y Cintrón-Valdés & Grillo-Ravelo (2009), su daño fundamental radica en que para establecerse y reproducirse, desarrolla galerías en el interior de los frutos, afectando, tanto el rendimiento como la calidad del producto agrícola y, de manera específica, compromete la germinación, así como la viabilidad de la semilla, cuando ésta es afectada, durante el periodo de conservación. Al respecto, Pérez *et al.* (2013) mencionan que el Manejo Integrado de la Broca (MIB) es una estrategia o plan de acción para reducir el daño y las pérdidas económicas que ocasiona la plaga al cultivo; por tanto, el éxito en el manejo y en el control de la broca del café depende de la acción conjunta, entre una buena asesoría técnica, el desarrollo de las medidas de control preventivas por parte del productor y, según Díaz-Vicente *et al.* (2014), de la investigación de alternativas viables en la producción.

Arrubla *et al.* (2009) plantean que, actualmente, para lograr un mayor efecto de los insecticidas y reducir su impacto ambiental negativo, existe la tendencia a disminuir su uso en la aplicación, para el control de las plagas; sin embargo, en este sentido, la alternativa más viable es la de utilizar productos naturales, como polvos vegetales, aceites naturales o polvos minerales inertes, específicamente, sobre las semillas para el control de plagas, durante el almacenamiento del fruto.

Muchos son los autores que se refieren a la importancia de garantizar la viabilidad de la semilla en este periodo (Levy *et al.* 1989; Arizaleta *et al.* 2002) y, otros, a aspectos, como la humedad y las condiciones de envases (Ortuño & Echandi, 1980; Barboza & Herrera, 1990; Días & Barrios, 1993), descuidando el hecho que el ataque de plagas insectiles es un elemento muy importante a tener en cuenta, debido a que afectan y complican los diferentes fines que se pudiesen dedicar para la misma, como son su venta o posterior consumo.

Existe poca información referente a la conservación y al almacenamiento de las semillas de café y, sobre todo, con polvos minerales; sin embargo, en la literatura se

reseña, como característica importante (Arizaleta *et al.* 2005), que dichas semillas se deterioran rápidamente al ser almacenadas. Dada la importancia económica y social del cultivo del café para Latinoamérica y otros países, conjuntamente con el alto deterioro que presentan las semillas durante el almacenamiento por la afectación de la broca del café y según Quispe-Condori *et al.* (2014), constituye razón suficiente para justificar un interés marcado hacia este cultivo y todo lo relacionado con el mismo.

Según, Uribarr *et al.* (2014), el café es uno de los productos agrícolas cultivado en gran extensión en el mundo. En Cuba, se considera de gran importancia, no solo por su influencia en el producto interno bruto sino por su relevancia social, al constituir fuente de sustento de un amplio segmento de la población (Pérez *et al.* 2013).

En la actualidad, existe una tendencia de carácter mundial hacia la búsqueda de métodos alternativos, que proporcionen resultados en el control de insectos en almacenes y que disminuyan las pérdidas económicas, pero sin los riesgos que implica el uso de plaguicidas de alta toxicidad, para el hombre y el medio ambiente (Silva *et al.* 2004), como la aplicación de diferentes polvos inertes.

Por lo anteriormente expuesto, constituyó objetivo de la investigación, evaluar la efectividad de la marmolina en el control de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae), como polvo mineral inerte, durante la conservación de semillas de café.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo, se realizó en el laboratorio de la Estación de Protección de Plantas (EPP), ubicada en el municipio Fomento, provincia Sancti Spíritus, Cuba Central.

Se utilizó un diseño completamente al azar, en un arreglo de 4 tratamientos y 3 dosis. Los tratamientos, se evaluaron en dosis de 0,46 g; 0,81 g; 1,74 g y un control (sin polvo), con tres réplicas, cada uno. Para el experimento, se utilizaron adultos de broca del café, recolectados en cosecha y clasificados en la EPP.

La marmolina, se obtuvo en el corta-bloques, ubicado en el municipio Fomento, Sancti Spíritus y perteneciente a la empresa Mármoles Centro (Cuba). La caracterización química del compuesto, se realizó en los laboratorios de la Empresa Geominera del Centro (Villa Clara, Cuba). El volumen de producción de marmolina de la empresa en este municipio es de 1,56m³ semanales, aproximadamente.

Debido a que no se encontraron antecedentes de investigaciones previas acerca del uso de la marmolina en la conser-

vación de semillas, se decidió adoptar, para nuestros estudios, la metodología propuesta por autores que han realizado trabajos con polvos inertes, semejantes al de nuestra investigación, sobre otras plagas de almacenes.

Para estimar la toxicidad en cada uno de los tratamientos, se determinaron las siguientes variables:

Efecto anti-insecto: Para su evaluación, se adoptó la metodología propuesta por Lagunes & Rodríguez (1989), la cual, se realizó mezclando polvo, a razón de 0,46g; 0,81g; 1,74g con 35g de semillas de café, debido al pequeño tamaño del insecto, en frascos plásticos estériles de 285g. Después de aplicada la marmolina a la muestra, se agitó bruscamente, para lograr una adhesión homogénea del polvo a las mismas. Luego, se procedió a su infestación, con 54 insectos adultos de *H. hampei*; esta variable, se determinó, para conocer el periodo de tiempo en que el polvo era capaz de matar los insectos y los efectos que causaba sobre los mismos y, para ello, se realizaron evaluaciones diarias.

La mortalidad, se evaluó a diario, después de realizada la infestación y se cuantificaron los insectos vivos y muertos en cada tratamiento y sus repeticiones.

Porcentaje de mortalidad: Se calculó utilizando la fórmula de Abbott (1925):

$$\% M = \frac{(m_e - m_b)}{(n - m_b)} \times 100$$

Donde:

M = Mortalidad

m_e = mortalidad en el tratamiento

m_b = mortalidad en el blanco

$$m_e = \frac{r}{n} \quad m_b = \frac{r'}{n}$$

r = Insectos muertos en el tratamiento

r' = Insectos muertos en el blanco

n = Número de individuos

Porcentaje de pérdida de peso de los granos (Pp): Fue cuantificado, a partir de los 7 días de la infestación, contabilizando el número de semillas sanas y dañadas. Para su estimación, se utilizó la fórmula propuesta por Adams & Schulten (1976) y mencionada por Silva *et al.* (2004):

$$Pp = 100 (N_{gd}/N_{tg}) \times C$$

Donde:

Pp es la pérdida de peso (%)

N_{gd}: número de granos dañados

N_{tg}: número total de granos

C es 0,125, si la semilla es almacenada como grano suelto.

Índice de germinación de las semillas: Se realizó una prueba de germinación de las semillas tratadas, para verificar si la marmolina influía en el poder germinativo. Para ello, se escogieron al azar 10 semillas por tratamiento de 35g, en cada repetición del experimento. Luego, se colocaron en placas de Petri con papel de filtro humedecido; éstas, fueron sometidas a un proceso de pre germinación durante 24 horas y se realizaron dos repeticiones por tratamiento en el tiempo.

Análisis estadístico: Todos los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza en el paquete estadístico Statgraphics para Windows versión 5.0. Para la mortalidad, todos los datos obtenidos fueron transformados en arc sen (x/100)^{0.5}. Los datos obtenidos en el porcentaje de germinación fueron sometidos a análisis de varianza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la evaluación del efecto anti-insecto de la marmolina (Figura 1), se pudo comprobar que, a partir de las 12 horas de aplicado el polvo, causó efecto mortal sobre los insectos, alcanzando los mejores resultados a los tres días, con una dosis de 1,74 g y 0,81g, donde, a partir de este período de tiempo, se registraron los mayores niveles de muertes. Lo que difiere del control donde se registraron niveles de muertes muy inferiores a los encontrados en los tratamientos.

Estos resultados son superiores a los reportados por González Ferreira & Gómez López (2006), quienes al utilizar tierra diatomeas en tres concentraciones (0,1%; 0,5%; 1%), obtuvieron 1,67%; 5,0% y 26,0% de insectos muertos, a los 10 días. Los resultados obtenidos en el presente trabajo difieren con el de los autores mencionados, debido a las concentraciones utilizadas por ellos, que en este estudio fueron superiores y difieren, también, en cuanto a la composición química de los compuestos utilizados, lo que pudo haber influido, directamente, sobre las muertes de los insectos.

La marmolina es un compuesto que se obtiene tras el corte y el procesamiento del bloque de mármol; es un polvo mineral, que posee químicamente CaO (55%), Ca CO₃ (98,1%) y MgO (95%), los cuales, tienen un efecto desecante abrasivo y actúan sobre el insecto, mediante un proceso físico de desecación abrasión, deshidratándolo y absorbiendo el agua de la cutícula cerosa externa, que protege al insecto de la desecación, al penetrar en las membranas inter-segmentales, después de entrar en contacto con los mismos. La alúmina y el sílice, nanoestructurada con composición química AL₂O₃-14%, SiO₂-10%, presente en el polvo, poseen características insecticidas; además, se caracterizan por partículas de 40-60nm y una superficie específica de 14m².g⁻¹, actuando sobre el insecto, en principio, sobre la base de carga electrostática

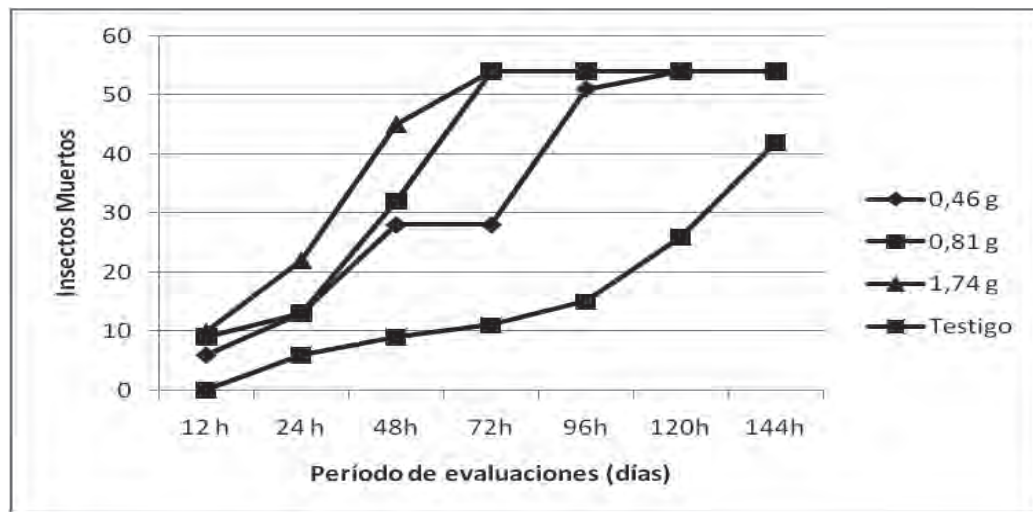


Figura 1. Efecto anti-insecto de la marmolina, a través del tiempo.

de las partículas y fenómenos de triboelectrificación (Stadler *et al.* 2010). Esto también coincide con Cook *et al.* (2008), quienes plantearon que las pequeñas partículas de polvo actúan a través de la absorción de las ceras cuticulares de los insectos.

En este trabajo, se obtuvo 100% de mortalidad, a partir de los 5 días de evaluación, con las tres dosis en estudio (Figura 2), lo que difiere, significativamente, con respecto al control, donde se registró un 37,7% de mortalidad, al término de los 15 días de evaluación.

Este resultado supera el obtenido por Silva *et al.* (2004), quienes utilizando una mezcla de *Peumus boldus* Molina:cal (50%-50%) al 1% de concentración sobre *Sitophilus zeamais*, obtuvieron un 97,7% de mortalidad de insectos y coincide con Pérez *et al.* (2012), quienes al comparar los efectos de PAO-2 (2g) y zeolita (2g) sobre insectos en almacenes, obtuvieron 100% de mortalidad, a los 15 días, debido a que la zeolita y la tierra diatomeas, en principio, poseen compuestos similares al de esta investigación y son materiales minerales inertes; sin embargo, los resultados de

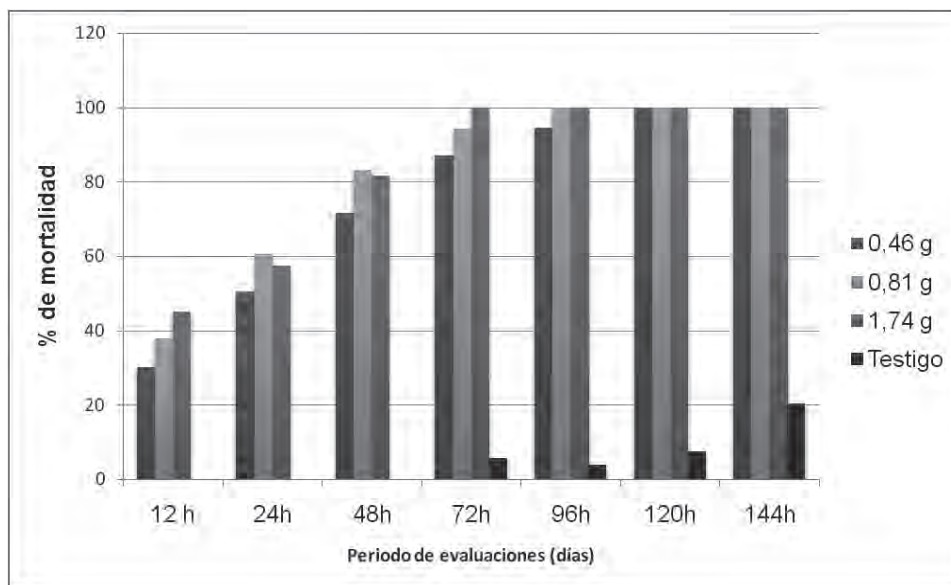


Figura 2. Mortalidad de los insectos, durante distintas etapas de evaluación.

este estudio difieren con el autor mencionado anteriormente, en cuanto a la dosis utilizada, siendo la de esta investigación, de mejores resultados. Debemos destacar que Pérez *et al.* (2012) utilizaron una dosis de polvo zeolita más alta, que la utilizada en este estudio.

Supera los resultados obtenidos por Silva *et al.* (2004), quienes obtuvieron, con tierra de diatomeas, en sus tres concentraciones (0,1% p/p, 1% p/p, 2% p/p), 76,9%, 92,6% y 98,8% de mortalidad, respectivamente, entre 21 y 28 días. Debido a la baja efectividad de la tierra diatomeas, por poseer menor número de compuestos químicos con respecto al polvo utilizado en esta investigación, lo que trae como consecuencia que, para lograr niveles de mortalidad aceptables en menor tiempo, se utilicen dosis más altas de tierra diatomeas, aspecto que no coincide con los de nuestro estudio, donde con dosis bajas, se obtienen resultados satisfactorios, en menor número de días.

También supera los resultados de este último autor, con diferentes concentraciones de carbonato de calcio (1% y 2% p/p), los cuales, causaron 70,2 y 84,2% de mortalidad: 31,8%, con CaO, a 0,1% p/p de concentración y 19,7% de mortalidad, con talco, al 1,0% p/p de concentración, sobre insectos en almacenes. Los resultados obtenidos en nuestro trabajo difieren con el del autor, debido a las concentraciones utilizadas que, en este estudio, fueron superiores y difieren, también, en cuanto a la composición química de los compuestos. Debemos señalar que el autor mencionado anteriormente utilizó una dosis de un solo compuesto químico sobre el insecto y, en el caso de este trabajo, se aplicó una dosis compuesta con varios elementos químicos sobre el insecto, lo cual, sin dudas, influyó sobre la diferencia de resultados.

Durante el estudio, se observó que a las 4 horas después de estar en contacto *H. hampei* con la marmolina, comenzaron los efectos en el insecto, manifestando estos síntomas de pérdida de su capacidad de movimiento. También, se comprobó, tanto en los experimentos como en sus réplicas, que los insectos al morir manifestaban alas extendidas. Este hecho post mortem es causado por la afectación desecante de la marmolina a los músculos, específicamente, los de la locomoción, que salen del tórax, se disponen hacia la base de las alas y provocan la expansión y la retracción de las mismas.

Como lo planteado por Lagunes & Vázquez (1994), un tratamiento prometedor debe ocasionar el 50% de mortalidad; según el criterio de este autor, se considera efectiva la marmolina en sus tres dosis (0,46g; 0,81g; 1,74g), en el control de *H. hampei*, durante el periodo de conservación de semillas.

Pérdida de peso de las semillas (Pp): El tratamiento que menos pérdida de peso arrojó, se registró con una dosis de 1,74g, donde se determinó un valor 0,0% Pp, debido a que no se encontraron semillas afectadas, lo que significativamente difiere con respecto al testigo, donde se obtuvo un valor de 6,5% Pp, al encontrarse 19 semillas afectadas del total utilizado.

Este resultado es superior al publicado por Pérez *et al.* (2012), quienes obtuvieron 2,34% de valor Pp, a una concentración de 1% (p/p). Los resultados difieren, por la diferencia de concentraciones utilizadas por los autores, siendo más efectiva la marmolina, por el número de abrasivos que posee. Además, desde el punto de vista granulométrico, la marmolina es de menor tamaño de partícula, lo que posibilita que se adhiera mucho más a la superficie externa del insecto y también a la semilla de café, a la cual, el insecto afecta lo que influye en su protección.

No siendo así para las demás dosis utilizadas, donde los valores encontrados fueron de 1,8% Pp, con 0,46 g y 0,4% Pp, con 0,81g, lo que arroja como resultado que entre mayor es la dosis de marmolina utilizada el valor del nivel de afectación a la semilla es más cercano a cero.

El análisis estadístico demostró una diferencia significativa entre las medias, con un nivel de significación de 5% (0,05%). Estadísticamente, los resultados arrojan que entre mayor número de insectos muertos menos será el número de semillas afectadas.

Germinación: La prueba de germinación, se realizó a los 10 meses de efectuados los tratamientos. El análisis de varianza ejecutado no mostró diferencia significativa (P-1.36364), debido a que el P-value no es inferior a 0,05; ninguno de los factores tiene efecto estadísticamente significativo en los tratamientos, para un nivel de confianza del 95,0%, lo que significa que ninguna de las dosis utilizadas en el estudio afecta la germinación. Según se puede observar en la figura 3, los valores determinados en el control no difieren grandemente a los obtenidos en los tratamientos. Además, los valores obtenidos para todos los tratamientos están cercanos a 90% de germinación, que es un nivel muy próximo, al exigido para la exportación de semillas.

Resultados similares fueron obtenidos por Silva *et al.* (2004), quienes evaluaron cal, caolín, talco, tiza, carbonato de calcio, tierra de diatomeas y ceniza de carbón de espino, en la germinación de semillas de maíz. Los valores de germinación también estuvieron cercanos a los reportados por Pérez *et al.* (2012), quienes evaluaron la zeolita, como polvo inerte en la germinación de semillas de garbanzo.

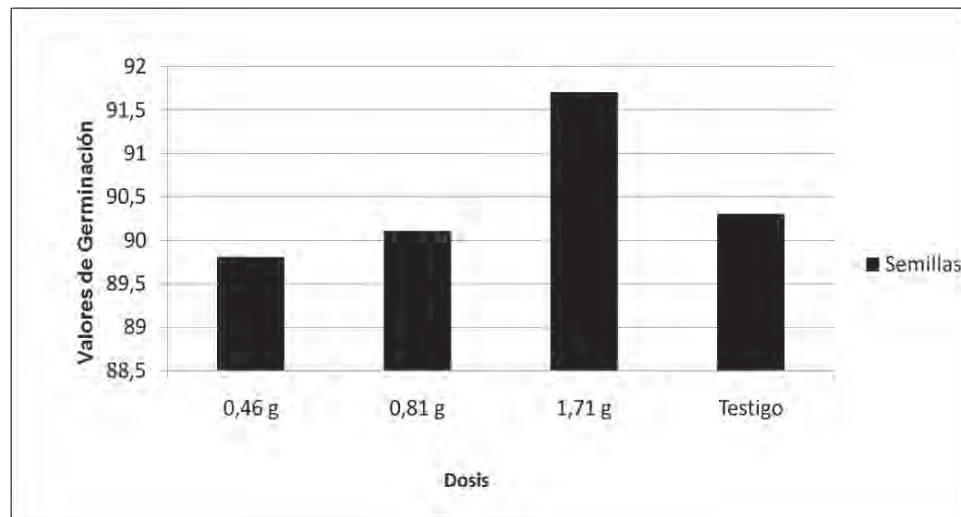


Figura 3. Porcentaje de germinación de semillas de café tratadas con marmolina, como polvo inerte.

La marmolina demuestra el poder anti-insecto sobre insectos coleópteros: Curculionidae, como material inerte, al disminuir la población de *H. hampei*, en semillas almacenadas.

Se evidencian las posibilidades de uso de este producto en el manejo de plagas en almacenes, provenientes de un material, abundantes en Cuba. El avance en esta investigación contribuye a reducir el empleo de insecticidas químicos, lo que es de especial importancia, en el mercado de productos orgánicos.

Es una alternativa, además, promisoría para el control de plagas de insectos, por tratarse de un producto natural; en cuanto a su composición química, eficaz, por la baja dosificación; seguro para el hombre y el ambiente, desde el punto de vista de su escasa reactividad química; con reducidas probabilidades de provocar resistencia a corto o mediano plazo, debido a su mecanismo de acción, basado en fenómenos físicos y no bioquímicos.

En la literatura consultada, no se encontraron referencias acerca de investigaciones en semillas de café (*C. arabica*) con productos naturales, durante su conservación, ni tampoco del efecto de la marmolina sobre la broca del café (*H. hampei*); sin embargo, esta plaga fue susceptible a los efectos de este polvo. Elemento importante, debido a que es el primer estudio que se realiza (Cuba) para el control de la broca en semillas de café, en condiciones de almacenamiento.

Se puede agregar, además, que se consideró efectiva la marmolina en sus tres dosis (0,46g; 0,81g; 1,74g), en el

control de *H. hampei*, durante el período de conservación de café. Entre mayor la dosis de marmolina utilizada en las semillas menor fue el ataque del insecto a las mismas y, entonces, menor el porcentaje de pérdida de peso de la muestra.

Este polvo mineral aplicado a las semillas para el control de la broca del café no afectó la germinación de las semillas almacenadas, por un periodo de 10 meses.

Conflictos de intereses: Este trabajo fue elaborado y revisado con la participación de todos los autores, como equipo integrado de investigadores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Este estudio resultó del diagnóstico realizado durante la aplicación del Proyecto Agrocadena Alimentaria para la producción de granos en el Municipio Fomento, el cual, cuenta con financiamiento de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE).

BIBLIOGRAFÍA

1. ABBOTT, W.S. 1925. A method for computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entom. 18:265-267.
2. ADAMS, J.M.; SCHULTEN, G.G.M. 1976. Losses caused by insects, mites and microorganisms. In: Harris, K.L.; Lindblad, C.J. (Compiladores). Postharvest grain loss assessment methods. AACC. p.83-93.

3. ARIZALETA, M.; PIRE, R.; PARÉS, J. 2002. Efecto de la fertilización con N-P-K sobre el contenido foliar y el crecimiento del cafeto (*Coffea arabica* L.) en etapa de vivero, en la población de Villanueva, Estado Lara, Venezuela. *Rev. Café y Cacao*. 3(2):57-61.
4. ARIZALETA, M.; MONTILLA, J.; PARES, J. 2005. Efecto del almacenamiento de las semillas de cafeto (*Coffea arabica* L. var. Catuai amarillo) sobre la emergencia. *Rev. Fac. Agron.* 22(3). Disponible desde Internet en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-78182005000300001&script=sci_arttext (con acceso 21/01/2015).
5. ARRÚBLA, P.F.; CÁRDENAS, M.; POSADA, F.J. 2009. Adherencia de las esporas de *Beauveria bassiana* formuladas en polvo y líquido sobre la broca del café. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 11(1):123-133.
6. BARBOZA, R.; HERRERA, J. 1990. El vigor en la semilla de café y su relación con la temperatura de secado, el contenido de humedad y las condiciones de almacenamiento. *Agr. Costarricense*. 14(1):1-8.
7. BUSTILLO-PARDEY, A.E. 2006. Una revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei*, en Colombia. *Rev. Col. Ent.* 32(2):101-116.
8. BUSTILLO, A.E. 2005. El papel del control biológico en el manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). *Rev. Acad. Col. Cienc. Exac. Fís. Nat.* 29(110):55-69.
9. BUSTILLO, A.E.; BENAVIDES, M.P.; OROZCO, H.J.; POSADA, F.J. 2008. Manejo Integrado de la broca del Café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Caldas, Chinchiná, Cenicafé, 134p.
10. CINTRÓN-VALDÉS, B.; GRILLO-RAVELO, H. 2009. Dinámica poblacional de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae) durante la postcosecha del café en Topes de Collantes, y Jibacoa. *Centro Agrícola*. 36(2):71-76.
11. COOK, D.A.; WAKEFIELD, M.E.; BRYNING, G.P. 2008. The physical action of three diatomaceous earths against the cuticle of the flour mite *Acarus siro* L. (Acari: Acaridae). *Pest Manag. Sci.* 64:141-146.
12. DÍAS, M.; BARRIOS, A. 1993. Conservação de sementes de café (*Coffea arabica* L.) en diferentes embalajes. *Bragantia*. 15(2):197-202.
13. DÍAZ-VICENTE, J.M.; PÉREZ-QUINTANILLA, J.N.; MAGALLANES, R.; CEDEÑO, R.; PINSON-RINCÓN, E.P.; DE COSS-FLORES, M.E.; CABRERA-ALVARADO, M.E. 2014. Control biológico de la broca del café *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae) con diferentes dosis del hongo *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Moniliales: Moniliaceae) en Unión Juárez, Chiapas, México. *Vedalia*. 15:15-21.
14. STADLER, T.; BUTELER, M.; WEAVER, D.K. 2010. Nanoinsecticidas: Nuevas perspectivas para el control de plagas. *Rev. Soc. Entomol. Argent.* 69(3-4):149-156.
15. GONZÁLEZ FERREIRA, M.L.; GÓMEZ LÓPEZ, V. 2006. Evaluación de la mortalidad de adultos de *Sitophilus zeamays* (Coleoptera: Curculionidae) ocasionada por diferentes concentraciones de Tierra de Diatomeas y pimienta negra (*Piper nigrum*) en maíz almacenado. *Invest. Agr. (Paraguay)*. 8(2):45-49.
16. LAGUNES, T.A.; RODRÍGUEZ, J.C. 1989. Grupos toxicológicos de insecticidas y acaricidas. In: Temas selectos de manejo de insecticidas agrícolas. (Tomo 1), CONACYT/Montecillo, Edo. México. p.24-106.
17. LAGUNES, T.A.; VÁZQUEZ, N.M. 1994. El Bioensayo en el Manejo de Insecticidas y Acaricidas. CONACYT / Montecillo, Edo. de México. 159p.
18. LEVY, F.; FASUOLI, I.; GALLO, P. 1989. Estudios de germinación de sementes de *Coffea canephora* almacenadas en diferentes condiciones. Instituto Brasileiro do Café. Directora de Producto. p.159-160.
19. ORTUÑO, F.; ECHANDI, Z. 1980. Efecto de condiciones de almacenamiento sobre la viabilidad y vigor de la semilla de café (*Coffea arabica* L.). *Agron. Costarricense*. 4(2):149-159.
20. PÉREZ, J.C.; ORIELA, P.; RAMÍREZ, S.; SÚRIS, M. 2012. Evaluación de productos naturales para el control de *Lasioderma serricorne* (F.) (Coleoptera: Anobiidae) sobre garbanzo (*Cicer arietinum* L.) en condiciones de laboratorio. *Rev. Protección Veg.* 27(1). Disponible desde Internet en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522012000100005 (con acceso 14/01/2015).
21. PÉREZ, N.; CASTELLANOS, L.; JIMÉNEZ, R. 2013. Impacto de la entrada de la broca del café

- (*Hypothenemus hampei* Ferrari) en la Empresa Municipal agropecuaria de Fomento. Rev. Centro Agrícola. 40(1):5-9.
22. QUISPE-CONDORI, R.; LOZA-MÚRGUÍA, M.; MARZAMAMANI, F.; GUTIÉRREZ, R.; RIQUELME, C.; ALIAGA, F.; FERNÁNDEZ, C. 2014. Trampas artesanales con atrayentes alcohólicos en el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari 1867) en la Colonia Bolinda, Caranavi. J. Selva Andina Biosphere. 3(1):2-14.
23. SILVA, G.; GONZÁLEZ, P.; HEPP, R.; CASALS, P.; BÚSTOS, T. 2004. Control de *Sitophilus zeamais* Motschulsky con polvos inertes. Agrociencia. 38(5):529-536. Disponible desde Internet en: www.redalyc.org/revista.oa?id=302 (con acceso 28/01/2015).
24. URRIBARRÍ, A.; ZABALA, A.; SÁNCHEZ, J.; ARENAS, E.; CHANDLER, C.; RINCÓN, M.; GONZÁLEZ, E.; AIELLO, C.M. 2014. Evaluación del potencial de la borra de café como materia prima para la producción de biodiesel. Rev. Multiciencias. 14(2):129-139. Disponible desde Internet en: <http://www.redalyc.org/pdf/904/90432601006.pdf> (con acceso 02/06/2015).
25. VÁZQUEZ, L.L.; GARCÍA, R.; PEÑA, E. 2005. Observaciones sobre la presencia de brocas del café (*Hypothenemus hampei*) en los frutos que caen al suelo. Rev. Fitosanidad. (Cuba). 9(2):47-48.

Recibido: Febrero 2 de 2015

Aceptado: Septiembre 7 de 2015

Cómo citar:

Rodríguez Ledesma, Y.; Suárez Pérez, C.; Rojas Rojas, J.A.; Mirabal García, R.; López López, Y.; Molina Moreno, E. 2015. Efectividad de la marmolina como mineral inerte en el control de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae) durante la conservación de semillas. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(12): 351-358.

RESPUESTA DE *Bradyrhizobium japonicum* A LA ADICIÓN DE ALGINATO EN PRESENCIA DE FUNGICIDAS PELETIZADOS EN SEMILLAS DE SOYA

RESPONSE OF *Bradyrhizobium japonicum* TO ALGINATE IN PRESENCE OF PELLETTED FUNGICIDES ON SOYBEAN SEEDS

Felipe Andrés Romero-Perdomo¹, Mauricio Camelo², Ruth Bonilla³

¹ BSc., Investigador profesional. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA-, e-mail: fromerop@corpoica.org.co; ² BSc., Investigador profesional. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria –CORPOICA-, e-mail: mcamelo@corpoica.org.co; ³ Ph.D., Investigadora. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA-, Mosquera/Colombia. Grupo de Investigación de Microbiología de Suelos, Centro de Biotecnología y Bioindustria (CBB), e-mail: rbonilla@corpoica.org.co [Autor para correspondencia]

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 359-364, Julio-Diciembre, 2015

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar la respuesta de un inoculante con base en cepas de *Bradyrhizobium japonicum* a la adición de alginato, en presencia de los fungicidas Carbendazim® y Fludioxonil®, peletizados en semillas de soya. El experimento consistió de ocho tratamientos completamente al azar, con un arreglo factorial 3x2, con tres repeticiones por triplicado. La estimación de sobrevivencia bacteriana, como variable de respuesta, fue realizada en tres tiempos de secado: 0, 24 y 48 horas. Los datos fueron expresados como [Log₁₀ (UFC/mL)]. Los resultados mostraron que los dos fungicidas reducen significativamente ($p < 0.05$) la viabilidad de *B. japonicum*. El fungicida Fludioxonil® presentó mayor efecto inhibitorio que Carbendazim®, con más del 25% de reducción, a las 48 horas. Además, se demostró que el alginato promueve la adherencia sobre las semillas de soya y la protección de las bacterias, disminuyendo la acción inhibitoria ($p < 0.05$), después de las 24 horas. Estos resultados sugieren que la aplicación de polímeros en inoculantes bacterianos representa una alternativa promisorias, para disminuir los efectos nocivos de fungicidas, sobre su viabilidad celular.

Palabras clave: Inoculantes, biopolímeros, Benzimidazol, Fenilpirrol.

SUMMARY

The aim of this research was to determine the response of an inoculant based on strains of *Bradyrhizobium japonicum* with the addition of alginate in presence of Carbendazim®

and Fludioxonil® pelleted fungicides in soybean seeds. The experiment consisted of eight treatments completely randomized with a 3x2 factorial arrangement with three replications by triplicate. Estimation of bacterial survival, as response variable, was performed at three times of drying: 0, 24 and 48 hours. Data were expressed as Log₁₀ (CFU/mL). Results showed that the two fungicides significantly reduce ($p < 0.05$) the viability of *B. japonicum*. Fludioxonil® presented a stronger inhibitory effect than Carbendazim® with more than 25% of reduction at 48 hours. Moreover, it was shown that alginate promotes the adherence over soybean seeds and bacteria protection, diminishing the fungicide inhibitory action ($p < 0.05$) after 24 hours. These results suggest that application of polymers in bacteria inoculants are a promising alternative to reduce negative effects of fungicides over cellular viability.

Key words: Inoculants, biopolymer, Benzimidazole, Phenylpyrrole.

INTRODUCCIÓN

La soya es una leguminosa oleaginosa, que se ha constituido en materia prima esencial en la fabricación de concentrados balanceados, para la alimentación animal y es una buena alternativa para la rotación de cultivos, en el trópico colombiano. El área sembrada de esta especie, a nivel nacional, es aproximadamente de 27.480 hectáreas, con una producción de 53.100 toneladas y un rendimiento de 1,9t/ha (Valencia & Ligarreto, 2010). A pesar de su impacto, su sistema de producción presenta una dependencia a la aplicación de diversos productos químicos, como el Carbendazim® (Me-

til-2- bencimidazol-carbamato) y el Fludioxonil® (4-(2,2-difluoro-1,3-benzodioxol-4-il)pirrol-3-carbonitrilo) (Veloukas *et al.* 2014). Estos son fungicidas comúnmente usados para el control y la prevención de enfermedades causadas por géneros, como *Colletotrichum*, *Penicillium* y *Cladosporium*, que atacan a las semillas y a las plántulas (Jianya *et al.* 2014). Diversas investigaciones han afirmado que algunos fungicidas pueden afectar negativamente la proliferación de microorganismos benéficos del suelo, como las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV) (Ahemad & Khan, 2012a; Miñambres *et al.* 2010; Lo, 2010).

Las BPCV son microorganismos que pueden crecer en o alrededor de los tejidos de las plantas, estimulando su crecimiento por diversos mecanismos, como la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización y la mineralización de fosfato, la producción de indoles, sideróforos, entre otros (Pii *et al.* 2015); por estas razones, dichos microorganismos benéficos han sido considerados como agentes de fertilización biológica. Dentro de los géneros bacterianos más estudiados para promover el crecimiento de la soya, se encuentra *Bradyrhizobium japonicum* (Nguyen *et al.* 2012); su potencialidad, como biofertilizante, ha sido demostrada con reducciones mayores al 70% de fertilización nitrogenada química, representando una alternativa promisoriosa, para el desarrollo sostenible e integrado de este cultivo (Cassán *et al.* 2009).

Dentro de las formulaciones de inoculantes biológicos, se están estudiando el uso de biomateriales, para brindar mayor protección, estabilidad y conservación genética a las cepas (Cortés-Patiño & Bonilla, 2015). Los biomateriales más empleados son los polímeros, como polivinilpirrolidona, goma acacia, carragenina, alginato y polietilenglicol (Rivera *et al.* 2014; Rojas-Tapias *et al.* 2013; Rojas-Tapias *et al.* 2015), que provienen del metabolismo de diversos microorganismos, paredes celulares de las algas marinas y resina de árboles (John *et al.* 2011). Existen varios requisitos para que estos polímeros sean componentes de inoculantes, como: ser no tóxicos y libre de conservantes perjudiciales; proteger a los microorganismos inoculados de competidores de suelo y de factores ambientales y ser lentamente degradables en el suelo y contener suficiente agua para la supervivencia y movimiento de los microorganismos (Bashan *et al.* 2013; Covarrubias *et al.* 2012). Es por esto, que algunos autores han propuesto el uso de polímeros como solución para mitigar el efecto perjudicial producido por fungicidas hacia las BPCV (Romero-Perdomo *et al.* 2015; Dayamani & Brahmprakash, 2014; Giongo *et al.* 2013).

El objetivo del presente estudio fue evidenciar la respuesta de la viabilidad celular de un inoculante, con base en cepas de *B. japonicum*, ante el uso del polímero alginato, en presencia de los fungicidas Carbendazim® y Fludioxonil®, peletizados en semillas de soya, a diferentes tiempos de secado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Microorganismos y condiciones de cultivo: En este estudio, se emplearon las cepas J01 y J96, identificadas molecularmente, con base en sus secuencias 16S rDNA, como *B. japonicum*; las cepas fueron reactivadas en YM (Vincent, 1970). Posteriormente, se realizó un pre inóculo en medio YM, a condiciones estándar: $30 \pm 2^\circ\text{C}$ y 150rpm.

La estandarización del inóculo de cada cepa, se realizó en medio YM líquido, empleando 1% (v/v) de pre inóculo. Las condiciones de incubación estándar fueron: $28 \pm 2^\circ\text{C}$, 96h y 150rpm. La cuantificación de $[\text{Log}_{10} \text{ UFC/mL}]$, se efectuó en medio YM más rojo congo (10mL/L), por la técnica de microgota y diluciones seriadas (Doyle *et al.* 2001). Las placas fueron incubadas en condiciones aeróbicas, a $30 \pm 2^\circ\text{C}$, durante 96h; por último, se mezcló el inóculo de cada cepa, a una relación 1:1.

Respuesta de *B. japonicum* ante la adición de alginato en presencia de Carbendazim y Fludioxonil: Se aplicó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial de 3×2 , compuesto por ocho tratamientos por triplicado (Tabla 1). Los agroquímicos evaluados fueron Carbendazim® (Arysta LifeScience, France) y Fludioxonil® (Syngenta AG, Switzerland) y el polímero empleado fue alginato (Biopolímeros del FMC- Ewing, EE.UU.). La variable de respuesta fue viabilidad celular $[\text{Log}_{10} \text{ UFC/mL}]$ cuantificada, mediante el método de recuento en placa, con diluciones seriadas a las 0, 24 y 48 horas de secado, a $30 \pm 2^\circ\text{C}$.

Tabla 1. Efecto del alginato sobre la interacción fungicida - *B. japonicum*. Tratamientos evaluados.

Identificación	Tratamientos
T1	Testigo químico con Carbendazim®
T2	Testigo químico con Fludioxonil®
T3	Sin fungicida + inoculación sin polímero
T4	Sin fungicida + inoculación con polímero
T5	Carbendazim® + inoculación sin polímero
T6	Carbendazim® + inoculación con polímero
T7	Fludioxonil® + inoculación sin polímero
T8	Fludioxonil® + inoculación con polímero

Inmovilización en polímero: Se usó alginato al 3,0% (m/v) mezclado con agua destilada; la relación del alginato respecto el inóculo de las cepas fue 1:10, respectivamente.

Proceso de peletización: Se desinfectaron las semillas de soya sumergiéndolas en peróxido de hidrógeno 30% y etanol 70% por 10 min cada uno, seguido por enjuagues consecutivos, con agua destilada estéril (Rojas-Tapias *et al.* 2012). Posteriormente, se mezclaron las semillas con los fungicidas Carbendazim® (0,5L de fungicida/kg semilla/L agua) y Fludioxonil® (1,5L de fungicida/kg semilla/L agua); después, se realizó el proceso de secado, a temperatura ambiente, durante 60 minutos y, por último, se procedió a la adhesión *in vitro* de las semillas con el inóculo, con una dosis de 15kg de semilla/L.

Análisis estadístico: Los datos obtenidos fueron analizados a través de ANOVA univariante de multivías y test HSD-Tukey, mediante el paquete estadístico SPSS 17; todos los experimentos, se llevaron a cabo con un 95% de nivel de confianza. Las figuras fueron realizadas con Sigmaplot 11.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados revelaron que los dos fungicidas afectaron significativamente ($p < 0.05$) la viabilidad celular de *B. japonicum*. Una disminución progresiva de la viabilidad, a través del tiempo, se observó en el T5 (Carbendazim® más *B. japonicum* sin alginato) y T7 (Fludioxonil® más *B. japonicum* sin alginato). Resultados diferentes fueron encontrados en T3 (sin fungicida y sin polímero), donde se evidenció que la población bacteriana, se mantuvo constante; los recuentos de viabilidad celular obtenidos en T5 y T7 siempre fueron inferiores respecto a T3. Específicamente, a las 48 horas, se cuantificaron pérdidas de más de dos unidades logarítmicas de biomasa en T5 y T7 respecto al T3 (Figura 1).

Entre los dos fungicidas, el Fludioxonil® afectó más la viabilidad de *B. japonicum*, generando 26% de pérdida celular a las 48 horas de secado. Imfeldt & Vuilleumierb (2012) afirman que los fungicidas pueden generar diferentes efectos en BPCV; por ejemplo, Deshwal *et al.* (2013) y Ahemad & Khan (2012b) reportaron una versatilidad metabólica del género *Bradyrhizobium* sp., para utilizar sustancias aromáticas cloradas, como fuente de energía. En contraste, otras investigaciones indican que el contacto con compuestos, como el benomil, carbendazim y captan, reducen entre un 14-45% las poblaciones de *B. japonicum* (Rubens *et al.* 2009; Mishra *et al.* 2013). De lo poco que se sabe respecto al efecto del Fludioxonil® sobre el metabolismo de BPCV, se ha reportado la inhibición de la síntesis de pirrolnitrina en *Burkholderia* sp. O33 y *Pseudomonas fluorescens* Pf-5 (Keum *et al.* 2010). Posiblemente, su sustancia activa, el Fenilpirrol, afecte mecanismos de intercambios celulares dependientes de la membrana, bloqueando el crecimiento *B. japonicum*, como ocurre a nivel fúngico (Zhang *et al.* 2002).

Por otro lado, la presencia de alginato frente a la interacción semilla-microorganismo-fungicida, también presentó efecto significativo ($p < 0.05$) sobre la biomasa de la cepas. Los resultados encontrados entre T3 y T4 indicaron que el alginato favorece la adherencia entre la superficie de la semilla y el material celular. A la hora 0 de secado, se evidenciaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre estos tratamientos que no contenían fungicida (Figura 1A). Las 0,8 [Log_{10} (UFC/mL)] cuantificadas demás en el T4 están atribuidas a la estructura química del alginato; el alginato es un copolímero compuesto por los ácidos D-manurónico (M) y L-gulurónico (G). Los grupos carboxilos terminales de M y G generan un carácter aniónico a la estructura que le proporciona propiedad mucoadherente (Lee & Mooney, 2012).

Otro efecto ejercido por el alginato, se evidenció entre los tratamientos 5 y 6 y 7 y 8. Las [Log_{10} (UFC/mL)] cuantificadas reflejaron una protección por parte de este polímero sobre *B. japonicum*; el efecto protector del alginato hacia el Carbendazim® fue observado entre T5 y T6. Existieron diferencias significativas ($p < 0.05$) a las 48 horas de secado entre estos dos tratamientos (Figuras 1B y 1C), donde la biomasa celular fue mayor en 31% en presencia de alginato; asimismo, los resultados con Fludioxonil® entre T7 y T8 mostraron un comportamiento similar. La protección del alginato frente a la acción perjudicial de este fungicida sobre la biomasa fue del 25%, a las 48 horas. Según Gombotz & Wee (2012), el efecto protector del alginato depende de la viscosidad y de la fuerza relativa del gel; el carácter viscoso está relacionado con el peso molecular y la fuerza de gelificación está definida por la relación entre M/G. El alginato empleado presenta una baja viscosidad (100-300 mPas), pero mayor contenido y longitud de bloques G (57%), que de M (17%), lo que aumenta la fuerza del gel, evitando deformaciones o hidrólisis, por factores externos. Un estudio que corrobora la acción benéfica del uso de polímeros sobre inoculantes biológicos fue el realizado por Pereira *et al.* (2010); en esta investigación, se registró que el polímero, no identificado, del inoculante comercial Stoller® protege la viabilidad de *B. japonicum* CPAC 15 y BR29 y conserva la promoción de crecimiento vegetal ejercida por estas cepas, para el cultivo de soya, en presencia de los fungicidas Tegrin® y Derosal®.

Estos resultados demuestran que el alginato actúa como un agente adherente y protector que mitiga la acción inhibitoria de los fungicidas Carbendazim® y Fludioxonil®, hasta las 24 horas de secado; por tal razón, el uso de polímeros representa una herramienta biotecnológica de gran importancia para disminuir los efectos perjudiciales de agroquímicos sobre grupos microbianos de potencial agroindustrial.

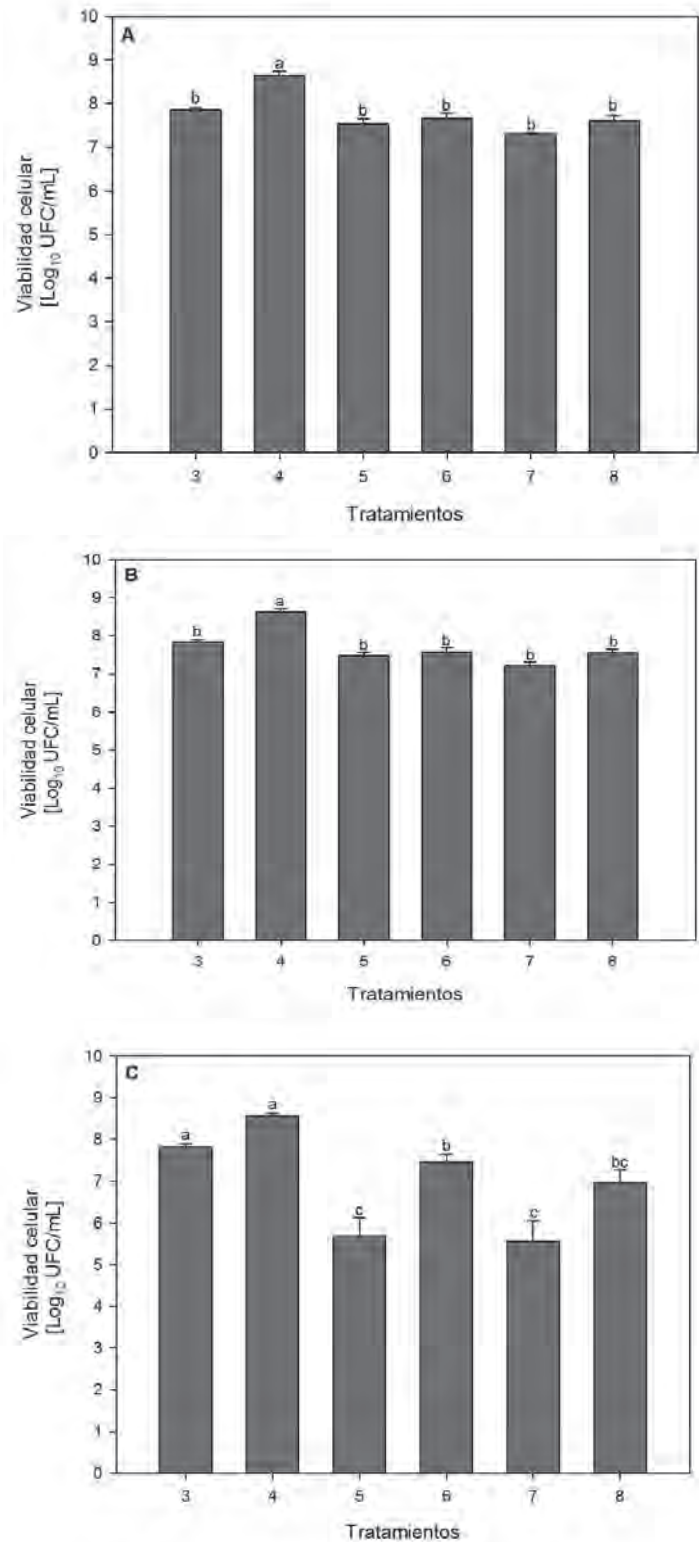


Figura 1. Efecto del polímero sobre la interacción entre fungicida y *B. japonicum*, a través de diferentes tiempos de secado. 1A) hora 0; 1B) hora 24; 1C) hora 48. En los controles químicos (T1 y T2) no se evidenció crecimiento microbiano. La barra de errores representa \pm la desviación estándar. Las letras indican grupos sub-homogéneos obtenido usando el test HSD-Tukey.

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 el Ministerio de Agricultura y Desarrollo dentro de la red de cultivos transitorios y agroindustriales de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.

BIBLIOGRAFÍA

- AHEMAD, M.; KHAN, M.S. 2012a. Alleviation of fungicide-induced phytotoxicity in greengram [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] using fungicide-tolerant and plant growth promoting *Pseudomonas* strain. Saudi J. Biol. Sci. (Saudi Arabia). 19(4):451-459.
- AHEMAD, M.; KHAN, M.S. 2012b. Effect of pesticides on plant growth promoting traits of greengram-symbiont, *Bradyrhizobium* sp. strain MRM6. Bull. Environ. Contam. Toxicol. (United States). 86(4):384-388.
- BASHAN, Y.; BASHAN, L.E.; PRABHU, S.R.; HERNANDEZ, J.P. 2013. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013). Plant and Soil. (Netherlands). 378(1-2):1-33.
- CASSÁN, F.; PERRIGA, D.; SGROYA, V.; MASCIARELLIA, O.; PENNAB, C.; LUNA, V. 2009. *Azospirillum brasilense* Az39 and *Bradyrhizobium japonicum* E109, inoculated singly or in combination, promote seed germination and early seedling growth in corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.). Eur. J. Soil Biol. (Italy). 45:28-35.
- CORTÉS-PATIÑO, S.; BONILLA, R. 2015. Polymers selection for a liquid inoculant of *Azospirillum brasilense* based on the Arrhenius thermodynamic model. Afr. J. Biotechn. (Kenya). 14(33):2547-2553.
- COVARRUBIAS, S.A.; DE-BASHAN, L.E.; MORENO, M.; BASHAN, Y. 2012. Alginate beads provide a beneficial physical barrier against native microorganisms in wastewater treated with immobilized bacteria and microalgae. Appl. Microbiol. Biotechnol. (Germany). 93:2669-2680.
- DAYAMANI, K.J.; BRAHMAPRAKASH, G.P. 2014. Influence of form and concentration of the osmolytes in liquid inoculants formulations of plant growth promoting bacteria. Int. J. Scient. Res. Publ. (Malaysia). 4(7):1-6.
- DESHWAL, V.K.; SINGH, S.B.; KUMAR, P.; CHUBEY A. 2013. Rhizobia unique plant growth promoting Rhizobacteria: A Review. Int. J. Life Scienc. (Nepal). 2(2):74-86.
- DOYLE, M.; BEUCHAT, L.; MONTVILLE, T. 2001. Microbiología de los alimentos fundamentos y fronteras. 1 ed. Ed. Acribia (España). 816p.
- GIONGO, A.; BENEDEZZI, A.; GANO, K.; VARGAS, L.K.; UTZ, L.; PASSAGLIA, L.M.P. 2013. Characterization of plant growth-promoting bacteria inhabiting *Vriesea gigantea* Gaud. and *Tillandsia aeranthos* (Loiseleur) L.B. Smith (Bromeliaceae). Biota Neotrop. (Brazil). 13(3):80-85.
- GOMBOTZ, W.R.; WEE, S.F. 2012. Protein release from alginate matrices. Advanc. Drug Delivery Rev. (Netherlands). 64:194-205.
- IMFELDA, G.; VUILLEUMIERB, S. 2012. Measuring the effects of pesticides on bacterial communities in soil: A critical review. Eur. J. Soil Biol. 49:22-30.
- JIANYA, S.U.; YE-CHENG, W.; SHU-KUN, Z.; XIU-BEI, R. 2014. Antifungal agents against *Aspergillus niger* for rearing rice leaffolder larvae (Lepidoptera: Pyralidae) on artificial diet. J. Econ. Entomol. (United States). 107(3):1092-1100.
- JOHN, R.P.; TYAGI, R.D.; BRAR, S.K.; SURAMPALLI, R.Y.; PREVOST, D. 2011. Bio-encapsulation of microbial cells for targeted agricultural delivery. Crit. Rev. Biotechnol. (United Kingdom). 31:211-226.
- KEUM, Y.S.; LEE, H.R.; KIM, J.H. 2010. Effects of pesticides on the bacterial production of pyrrolnitrin. J. Agric. Food Chem. (Nigeria). 58(9):5531-5537.
- LEE, K.Y.; MOONEY, D.J. 2012. Alginate: Properties and biomedical applications. Progress in Polymer Science. (United Kingdom). 37(1):106-126.
- LO, C.C. 2010. Effect of pesticides on soil microbial community. J. Environ. Sci. Health B. (United Kingdom). 45:348-359.
- MIÑAMBRES, G.G.; CONLES, M.Y.; LUCINI, E.I.; VERDENELLI, R.A.; MERILES, J.M.; ZYGADLO, J.A. 2010. Application of thymol and iprodione to control garlic white rot (*Sclerotium cepivorum*) and its effect on soil microbial communities. World J. Microbiol. Biotechnol. (Netherlands). 26(1):161-170.

19. MISHRA, G.; KUMAR, N.; GIRI, K.; PANDEY, S. 2013. In vitro interaction between fungicides and beneficial plant growth promoting rhizobacteria. *Afr. J. Agr. Res. (Nigeria)*. 8(45):5630-5633.
20. NGUYEN, T.H.N.; BRECHENMACHER, L.; ALDRICH, J.T.; CLAUSS, T.R.; GRITSENKO, M.A.; HIXSON, K.K.; LIBAULT, M.; TANAKA, K.; YANG, F.; YAO, Q.; PAŠA-TOLIĆ, L.; XU, D.; NGUYEN, H.T.; STACEY, G. 2012. Quantitative phosphoproteomic analysis of soybean root hairs inoculated with *Bradyrhizobium japonicum*. *Mol. Cell Proteomics. (United States)*. 11:1140-1155.
21. PEREIRA, C.E.; MOREIRA, F.M. de S.; OLIVEIRA, J.A.; CALDEIRA, C.M. 2010. Compatibility among fungicide treatments on soybean seeds through film coating and inoculation with *Bradyrhizobium* strains. *Agronomy (United States)*. 32(4):585-589.
22. PII, Y.; MIMMO, T.; TOMASI, N.; TERZANO, R.; CESCO, S.; CRECCHIO, C. 2015. Microbial interactions in the rhizosphere: beneficial influences of plant growth-promoting rhizobacteria on nutrient acquisition process. A review. *Biol. Fertil. Soils (Germany)*. 51(4):403-415.
23. RIVERA, D.; OBANDO, M.; BARBOSA, H.; ROJAS-TAPIAS, D.; BONILLA, R. 2014. Evaluation of polymers for the liquid rhizobial formulation and their influence in the Rhizobium-Cowpea interaction. *Universitas Scientiarum. (Colombia)*. 19(3):265-275.
24. ROJAS-TAPIAS, D.; VERA, M.; RIVERA, D.; KLOEPPER, J.; BONILLA, R. 2013. Evaluation of three methods for preservation of *Azotobacter chroococcum* and *Azotobacter vinelandii*. *Universitas Scientiarum. (Colombia)*. 18(2):129-139.
25. ROJAS-TAPIAS, D.; ORTEGA, O.; RIVERA, D.; BONILLA, R. 2015. Preservation of *Azotobacter chroococcum* vegetative cells in dry polymers. *Universitas Scientiarum. (Colombia)*. 20(2):201-207.
26. ROJAS-TAPIAS, D.; MORENO-GÁLVAN, A.; PARDO-DÍAZ, S.; OBANDO, M.; RIVERA, D.; BONILLA, R. 2012. Effect of inoculation with plant growth-promoting bacteria (PGPB) on amelioration of saline stress in maize (*Zea mays*). *Applied Soil Ecology. (Netherlands)*. 61:264-272.
27. ROMERO-PERDOMO, F.A.; MORENO-GALVÁN, A.; CAMELO-RUSINQUE, M.; BONILLA, R. 2015. Efecto de la carragenina sobre *Azotobacter chroococcum* en semillas de algodón peletizadas con un fungicida. *Rev. Agron. Noroeste Argent. (Argentina)*. 35(1):29-32.
28. RÚBENS, J.C.; SILVA, R.; HUNGRIA, M. 2009. Nitrogen fixation with the soybean crop in Brazil: Compatibility between seed treatment with fungicides and bradyrhizobial inoculants. *Symbiosis. (Netherlands)*. 48(1-3):154-163.
29. VALENCIA, R.A.; LIGARRETO, G. 2010. Análisis de la interacción soya-cepa (*Bradyrhizobium japonicum*) x ambiente, en oxisoles de la orinoquia colombiana. *Agron. Col. (Colombia)*. 28(3):361-371.
30. VELOUKAS, T.; KALOGEROPOULOU, K.; MARKO-GLOU, A.N.; KARAOGLANIDIS, G.S. 2014. Fitness and competitive ability of *Botrytis cinerea* field isolates with dual resistance to SDHI and QoI fungicides, associated with several *sdhB* and the *cytb G143A* mutations. *Phytopathology. (United States)*. 104(4):347-356.
31. VINCENT, L.M. 1970. A manual for the practical study of root-nodule bacteria. IBP Handbook no. 15. Ed. Blackwell Scientific (United Kingdom). 164p.
32. ZHANG, Y.; LAMM, R.; PILLONEL, C.; LAM, S.; XU, J.R. 2002. Osmoregulation and fungicide resistance: the *Neurospora crassa os-2* gene encodes a *HOG1* mitogen-activated protein kinase homologue. *Appl. Environ. Microbiol. (United States)*. 68:532-538.

Recibido: Febrero 10 de 2015

Aceptado: Septiembre 16 de 2015

Cómo citar:

Romero-Perdomo, F.A.; Camelo, M.; Bonilla, R. 2015. Respuesta de *Bradyrhizobium japonicum* a la adición de alginato en presencia de fungicidas peletizados en semillas de soya. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 359-364.

DINÁMICA DE LA RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA EN ARREGLOS AGROFORESTALES CON *Hevea brasiliensis* EN EL NORTE DE LA AMAZONIA COLOMBIANA

DYNAMIC OF THE PHOTOSYNTHETICALLY ACTIVE RADIATION IN ARRANGEMENTS AGROFORESTALES WITH *Hevea brasiliensis* IN NORTHERN COLOMBIA AMAZON

Ervin Humprey Durán-Bautista¹, Yimi Katherine Ángel-Sánchez², Juan Carlos Suárez-Salazar³

¹ Ingeniero Agroecólogo, Magister en Agroforestería, Profesor Universidad de la Amazonia, Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería Agroecológica. Sede Principal, calle 17 Diag. 17 Cra. 3F Barrio Porvenir, Florencia-Caquetá, e-mail: e.duran@udla.edu.co; ² Ingeniero Agroecólogo, Magister en Agroforestería. Universidad de la Amazonia. Sede Principal, calle 17 Diag. 17 Cra. 3F Barrio Porvenir, Florencia-Caquetá, e-mail: kangel0529@gmail.com; ³ Ingeniero Agroecólogo, M.Sc. Profesor Universidad de la Amazonia, Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería Agroecológica. Sede Principal, calle 17 Diag. 17 Cra. 3F Barrio Porvenir, Florencia-Caquetá, e-mail: ju.suarez@udla.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 365-372, Julio-Diciembre, 2015

RESUMEN

Los arreglos agroforestales con caucho (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg.) en el departamento del Caquetá, Colombia, son importantes para la economía campesina y cuenta con una área sembrada de 6.017 ha, por ello, se evaluó la influencia de la estructura del arreglo agroforestal de caucho asociado con cacao (*Theobroma cacao* L.) y copoazú (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K. Schum.) sobre la distribución de la radiación fotosintéticamente activa transmitida (fPART), en lotes ubicados en el municipio de Morelia, al sur occidente del departamento. Se seleccionaron lotes de diferentes edades y especies. Se realizó el muestreo de la radiación transmitida en un área de 2.500 m², cuya información fue modelada, utilizando el programa estadístico R 3.1.2, a través del paquete akima. Para la estructura agroforestal, se empleó el simulador forestal SEXi - FS. Los resultados muestran un efecto de la edad del lote sobre la radiación transmitida ($p < 0,0001$), así como una distribución irregular de los individuos al interior del arreglo; como consecuencia de ello, la fPART no está distribuida homogéneamente, generando áreas donde la radiación transmitida es alta y otras, donde es baja. Esta situación plantea la necesidad de mejorar el manejo y la distribución de las especies al interior de los arreglos agroforestales de caucho, para hacerlos más eficientes, en el uso y la distribución de la radiación.

Palabras clave: Sombra, distribución espacial, dosel, caucho natural.

SUMMARY

Agroforestry arrangements with rubber (*Hevea brasiliensis* (Willd. Ex A. Juss.) Müll. Arg.), at the department of Caquetá (Colombia), with a planted area of 6017ha, are important for the rural economy. Therefore, the influence of the rubber agroforestry structure, associated with cocoa (*Theobroma cacao* L.) and copoazú (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K. Schum.) on the distribution of the transmitted photosynthetically active radiation (fPart) in plots, located in the municipality of Morelia in the western southern region of the department was evaluated. Plots of different ages and species were selected. Sampling of the transmitted radiation in an area of 2500m² was made, and the information modeled using the statistical software R 3.1.2, through the akima package. For the agroforestry structure the Sexi FS simulator was employed. The results revealed an effect of plots age on the transmitted radiation ($p < 0.0001$), as well as an irregular distribution of the individuals within the arrangement. As consequence, the fPART is not homogeneously distributed, generating areas where the transmitted radiation is high and others where it is low. This raises the need to improve the management and distribution of species within agroforestry arrangements with rubber, to make them more efficient in the use and distribution of radiation

Key words: Shade, spatial distribution, canopy, natural rubber.

INTRODUCCIÓN

La radiación solar es la principal fuente de energía para la fotosíntesis y juega un papel importante en el crecimiento y en el desarrollo vegetal, especialmente, por su cantidad y su distribución espectral (Farfán *et al.* 2003). La radiación fotosintéticamente activa, se encuentra en una longitud de ondas visibles, entre 400 y 700 μ m, la cual, es capturada y almacenada por las plantas, a través de sus sistemas fotosintéticos (Tsubo & Walker, 2005).

La predicción de las variaciones temporales y espaciales de la intensidad de la radiación en el estrato arbóreo es importante, para definir densidades de siembra de especies, que serán ubicadas en el estrato inferior del arreglo (Talbot & Dupraz, 2012). Por ello, se han desarrollado modelos ecofisiológicos, para simular el crecimiento y la productividad, a partir de la PAR, debido a la incidencia en procesos, como la fotosíntesis (Wilson & Meyers, 2007); sin embargo, los valores de PAR utilizados en estos modelos, se derivan, típicamente, de un pequeño número de estudios empíricos, debido a que esta variable no es evaluada rutinariamente (Wu *et al.* 2010).

Esta falta de datos derivados empíricamente significa que la PAR es estimada como una fracción constante de la banda ancha de la irradiancia solar (R_s), frecuentemente, entre 35 a 50%, dependiendo del tiempo y las condiciones climáticas (Yunlin & Boqiang, 2002). Este método está sujeto a errores derivados de la influencia de temporal climático y variaciones espaciales de la relación entre PAR y R_s (Zhang *et al.* 2000). Otro aspecto que se debe considerar es el diseño no apropiado de los arreglos agroforestales para proveer de sombra a los cultivos del dosel inferior; la PAR se presenta de manera heterogénea, generando parches muy sombreados y otros muy expuestos al sol, afectando el crecimiento y el desarrollo de los cultivos. Ejemplo de ello, son los bajos rendimientos obtenidos en ciertos cultivos, como café y cacao, cuando la sombra es mayor al 50%, superando los requerimientos fisiológicos (DaMatta & Rodríguez, 2007) e inhibiendo el desarrollo de las plantas, ya que se modifica el régimen de la radiación –fotosintéticamente activa-, incidente en calidad y en cantidad (Somarriba & Beer, 2011). Particularmente, en especies leñosas perennes de estrato bajo, como el cacao, un exceso de radiación, por arriba de los 700 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), puede ocasionar efectos fotoinhibitorios temporales o permanentes, de acuerdo a los mecanismos de fotoprotección, que posee la especie (Almeida *et al.* 2014).

El cultivo del caucho en el departamento del Caquetá es importante para la economía campesina, debido al ingreso por venta de material coagulado, obtenido del látex, en un área sembrada de 6.017ha, dada su importancia

económica y los avances en investigaciones sobre las ventajas comparativas de los sistemas agroforestales, frente a las plantaciones en monocultivo, en cuanto a crecimiento, producción y disminución de plagas y enfermedades; en la región, se ha venido promoviendo la conversión de las plantaciones a arreglos agroforestales, donde se asocian con cultivos, como cacao, frutales amazónicos, maderables y bancos de proteína (Sterling *et al.* 2014). Se estudió el arreglo agroforestal de caucho - cacao y cómo influye su estructura sobre la distribución de la radiación fotosintéticamente activa. En este sentido, se esperaría que existan diferencias entre las estructuras agroforestales evaluadas, con el fin de generar aportes en el diseño y en el mejoramiento de estos sistemas productivos, teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la región amazónica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. Los arreglos agroforestales (Cuadro 1), se localizaron en el municipio de Morelia, al sur occidente del departamento del Caquetá, a una distancia de 24 km del municipio de Florencia, ubicado a 1°29'25" N y 75°43'43" O, a una altitud de 258m. El área presenta una precipitación anual promedia de 3.493 mm, un brillo solar de 4,1 horas día⁻¹, temperatura promedia de 24,4°C y humedad relativa promedia de 85,9%.

Diseño experimental. El modelo experimental corresponde a un diseño completamente al azar, con tres tratamientos, que corresponden a los rangos de edad del cultivo y cuatro repeticiones.

Cuantificación de la radiación fotosintéticamente activa. En cada arreglo agroforestal ($n=12$), se ubicaron parcelas de 50 x 50m, donde se registró cada metro, mediante el uso de un Ceptómetro AccuPAR® LP-80 (Decagon devices USA); la radiación fotosintéticamente activa transmitida ($fPAR_t$), ubicando la barra cuántica bajo el dosel; la radiación fotosintéticamente activa incidente (PAR), se determinó con un sensor externo, que se ubicó en un área a plena exposición solar sin presencia de árboles, ni objetos que intervinieran en la medición y, la radiación fotosintéticamente activa interceptada ($fPAR_i$), se calculó por diferencia entre la PAR y la $fPAR_t$. Todas las mediciones fueron realizadas entre las 11:00 y 13:00 horas de días completamente despejados, lapso en que se encuentra la mayor cantidad de flujo fotosintético de fotones y en la época de mínima precipitación, evitando la interferencia e incidencia de la nubosidad.

Medición de variables dasométricas. A cada uno de los árboles de caucho, se le determinó las variables dimensionales, como diámetro a la altura del pecho (dap), altura total (ht), altura de la copa (hc), diámetro de copa y el área de copa (ac). El dap, se midió con cinta métrica que,

Cuadro 1. Arreglos agroforestales de caucho evaluados en la amazonia colombiana.

Edad	Descripción
1 a 7 años	Arreglo agroforestal de caucho (<i>Hevea brasiliensis</i> (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.) diseñado en surcos dobles de 3x3 y 7m entre surcos, espacio en el que se asocia con cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)
7 a 15 años	Arreglo agroforestal con caucho natural (<i>Hevea brasiliensis</i>) en la cohorte superior, asociado con cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) y Marfil (<i>Siparuna decipiens</i> Tul. A.DC.)
mayor a 15 años	Arreglo agroforestal compuesto por árboles de caucho (<i>Hevea brasiliensis</i>), con frutales amazónicos Copoazú (<i>Theobroma grandiflorum</i> (Wild. ex Spring) Schumann) y cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)

para este caso, se transformaron los valores de circunferencia al diámetro, empleando la constante circular; la altura total y del fuste, se calcularon con clinómetro y con cinta métrica; el diámetro de copa, se midió con cinta métrica, promediando dos mediciones perpendiculares de la proyección vertical de las copas sobre el suelo y, el área de copa, se estimó como el área de un círculo, cuyo diámetro (D) es el diámetro promedio de copa (Segura & Andrade, 2007).

Modelamiento de la radiación fotosintéticamente activa y la estructura agroforestal. Para el modelamiento espacial de la PAR, se utilizó el programa estadístico de R versión 3.1.2, a través del package akima, que emplea una lista con los componentes X, Y, Z, de los cuales, representa los valores de Z en un plano biplot, a partir de puntos seleccionados irregularmente, distribuidos en el plano XY (Akima, 2015). Para la estructura agroforestal, se empleó el simulador forestal SEXi – FS, que se centra en las interacciones árbol-árbol, de múltiples especies forestales. Este modelo aplica un enfoque orientado a objetos y brinda la posibilidad de hacer representaciones en tres dimensiones de una parcela, para este caso, de 2.500m², que sirve como base para la simulación. El objetivo principal de este modelo es conseguir una representación dinámica y coherente de un sistema complejo, donde la complejidad, se refiere aquí, a la interacción de individuos con diferentes propiedades más que a la complejidad de los procesos elementales que intervienen (Vincént *et al.* 2002).

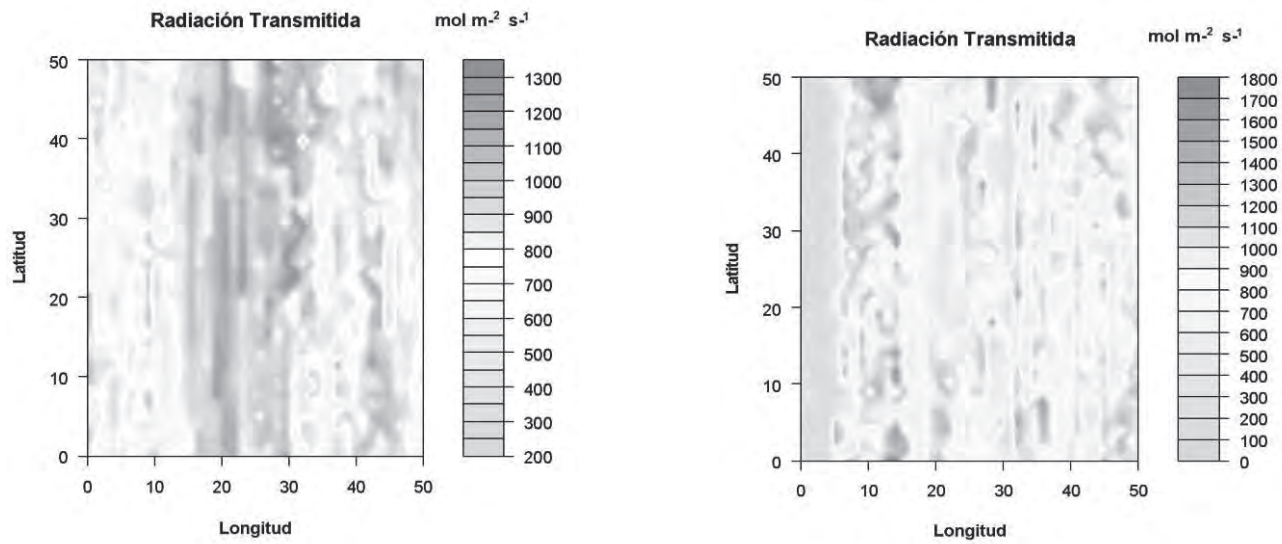
Análisis estadístico. Para evaluar los datos de cada una de las variables radiación fotosintéticamente activa (PAR), la incidente (PAR_i), la transmitida (PAR_t) y la fracción de radiación interceptada (fPAR_i), se realizó un análisis de varianza (ANOVA), a través del paquete estadístico R versión 3.1.2, basado en el package nlme para modelos lineales y no lineales de efectos mixtos, permitiendo efectos aleatorios anidados y se desarrollaron pruebas de significancia LSD de Fisher, para detectar diferencias entre medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontró un efecto de la edad de los arreglos agroforestales de caucho sobre la radiación transmitida al cultivo de cacao; en este sentido, se evidencia que a mayor edad del arreglo agroforestal es menor la fPAR_t (Figura 1); lo anterior, se debe a los cambios producidos con el crecimiento y el desarrollo de la planta de caucho sobre el área de copa, altura, arquitectura y cantidad de follaje; diferentes estudios muestran que la proporción de la biomasa del follaje cambia en función del tamaño del árbol (Acosta *et al.* 2002; Martínez *et al.* 2005). Kume *et al.* (2011) argumentan que los cambios constantes en el nivel de radiación, se deben a los cambios en la estructura del dosel.

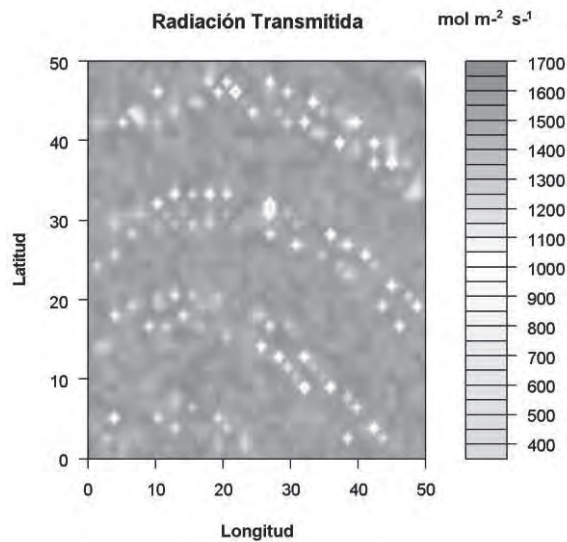
Estos resultados recobran importancia, debido a que cambios en la cantidad y la calidad de la radiación transmitida afectan significativamente los cultivos que crecen bajo la sombra del dosel. En este sentido, diferentes autores, entre ellos Righi *et al.* (2008) y Ourado-Neto & Favarin (2008) plantean que las leñosas perennes presentan una clara variación sobre la arquitectura y el crecimiento vertical que se incrementa bajo la copa de árboles de caucho, de manera que estas plantas desarrollan una alta capacidad para interceptar y usar la radiación.

Los resultados muestran que los arreglos agroforestales mayores a 15 años de edad presentan una mayor fracción de radiación interceptada, por lo tanto, los valores de fPAR_t son más bajos; esto se debe, a que el dosel se comporta como un gran filtro óptico, compuesto de muchos micro-filtros, lo que indica que las cantidades de PAR absorbidas por las láminas foliares se incrementan con el aumento del índice de área foliar (Tsubo *et al.* 2003), básicamente, por la acción del follaje que absorbe la radiación de manera selectiva y hace que la calidad de la radiación también cambie, considerablemente, dentro de la copa (Ninemets & Anten, 2009).



A) 7 a 15 años.

B) Mayores a 15 años.



C) 1 a 7 años.

Figura 1. Distribución espacial de la PARt en arreglos agroforestales: A) entre 7 a 15 años; B) mayor a 15 años y C) entre 1 a 7 años de edad.

Entre los arreglos agroforestales, se presentaron diferencias significativas ($P < 0,0001$), siendo mayor la radiación transmitida para los arreglos agroforestales cuyo rango de edad oscila entre uno a siete años, contrario a lo que se muestra en los arreglos agroforestales mayores a 15 años de edad, donde la fPARt es menor (Tabla 1).

La fPARt que se presenta en los arreglos agroforestales entre siete y 15 años y mayores 15 años de edad es adecuada, ya que las densidades de flujo fotónico son menores de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, para evitar el daño fotoinhibitorio que se registra en cultivos de leñosas perennes, como el *Theobroma cacao* L. (Jaimez *et al.* 2008); esto repercute en

Tabla 1. Medias de las variables evaluadas en los arreglos agroforestales con *Hevea brasiliensis*, de diferentes edades.

Edad	%PARi	Media PARi ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	%PART	Media PAR t ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
1-7 años	26,11 \pm 0,16a	467,81 \pm 3,21a	73,89 \pm 0,16c	1316,59 \pm 3,09c
7 – 15 años	44,18 \pm 0,16b	684,06 \pm 3,27b	55,82 \pm 0,18b	879,41 \pm 3,09b
> 15 años	47,52 \pm 0,18c	723,49 \pm 3,72c	52,48 \pm 0,16a	769,75 \pm 3,57a

Medias seguidas de diferentes letras en la columna son estadísticamente diferentes, según la prueba de LSD Fisher.

la menor duración y respiración de las hojas y, en algunos momentos del año, a problemas de déficit hídricos (Jaimez *et al.* 2008). En cambio, en cultivos de café bajo sombra, la fPART promedio obtenida para los arreglos agroforestales de todas las edades excede los límites de saturación, puesto que, en general, los cafetales de sombra requieren entre 60 y 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Azcón *et al.* 2008; DaMatta, 2004).

Estos resultados se ven influenciados por el estado de desarrollo del cultivo; en este sentido, Lindquist *et al.* (2005) mencionan que la materia seca producida y la calidad de la producción muestra una correlación positiva con la cantidad de radiación interceptada por las plantas. En consecuencia, los resultados obtenidos de mayor interceptación de la radiación en los cultivos de mayor edad, probablemente, estén relacionados, de manera directa, con un mayor desarrollo de biomasa, que se vería reflejado en una menor fPART.

Por otra parte, se plantea que la estructura aérea de la planta está determinada por el tamaño, la forma, la orientación, la distribución y la posición de los diferentes órganos: hojas, tallos, ramas, flores y fruto (Jaramillo *et al.* 2006); asimismo,

Farfán *et al.* (2003) sostienen que, tanto la interceptación como la transmisión de la PAR, están determinadas por la arquitectura de la especie y la homogeneidad de la población; estas características cambian constantemente, de acuerdo a la tasa de crecimiento y del ciclo de vida de la especie, por lo tanto, difieren entre los arreglos agroforestales mayores a 15 años y los menores a siete años de edad.

En la figura 2, se muestra la distribución espacial de los árboles de caucho en los arreglos agroforestales, así como la simulación de los individuos, a partir de variables biométricas, como altura total y de copa, diámetro a la altura del pecho, diámetro y área de copa. En general, se encontró una distribución irregular de los individuos en los arreglos agroforestales, entre los rangos de siete a 15 y mayores a 15 años de edad, lo que se traduce en una distribución de la radiación transmitida de una manera heterogénea; esta situación puede estar asociada con problemas en la planificación agroforestal, al no realizar actividades de resiembra y, por otra parte, el arreglo agroforestal de uno a siete años presenta una distribución homogénea de la radiación, que responde a un modelo de plantación regular (Figura 3).

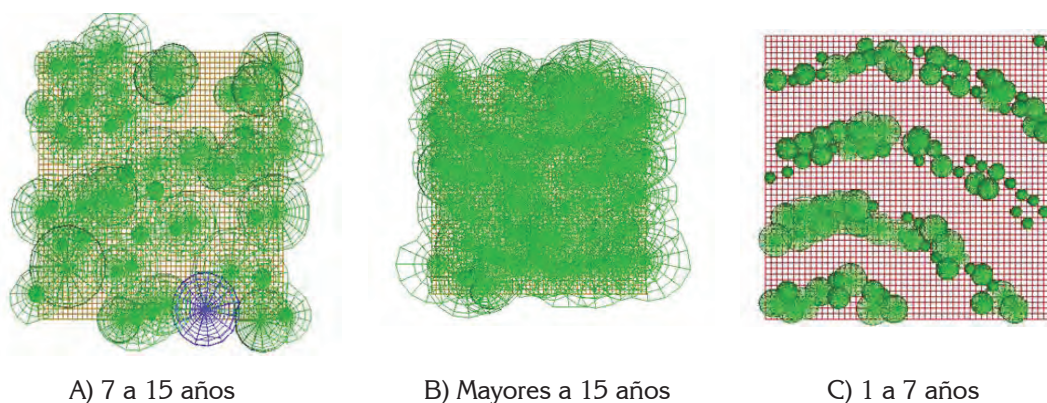


Figura 2. Simulación en el Software SEI-FS®: A) distribución espacial de los individuos de *Hevea brasiliensis*, entre 7 a 15 años; B) distribución espacial de los individuos de *Hevea brasiliensis*, entre mayores a 15 años y C) distribución espacial de los individuos de *Hevea brasiliensis*, entre 1 y 7 años.

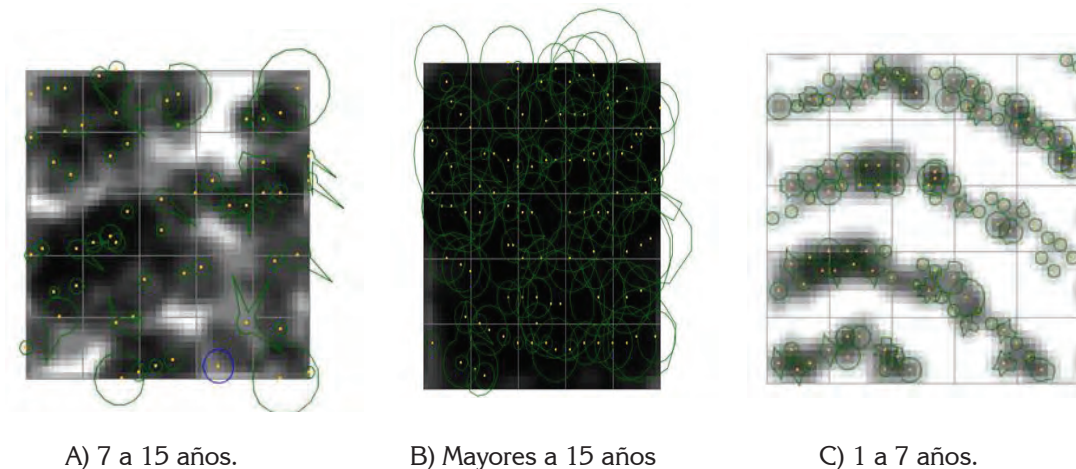


Figura 3. Simulación en el Software SEI-FS®: A) grises intensos muestran el área en el que la radiación interceptada es mayor en SAF, de 7 a 15 años; B) grises intensos muestran el área en el que la radiación interceptada es mayor en SAF, mayores a 15 años y C) colores intensos de grises muestran el área en el que la radiación interceptada es mayor en SAF, de 1 y 7 años.

En este sentido, diversos autores (Nocket *et al.* 2008; Greenwood *et al.* 2009) afirman que, además de las particularidades de la planta, como la edad y el tamaño, las características de la plantación, como la densidad de siembra y el marco de plantación del dosel, afectan la distribución de la radiación fotosintéticamente activa transmitida, constituyendo, a menudo, un factor limitante para el establecimiento, el crecimiento y el rendimiento de los cultivos asociados, situación que genera consecuencias importantes, por los cambios en el eficiente uso de la radiación.

Además, se muestra el comportamiento de la radiación, en el que las áreas que presentan grises intensos indican una mayor intensidad de la captación de la radiación o sombra. Esto tiene que ver con los atributos de la especie, como densidad del follaje y forma de la copa, así como de la estructura del dosel de sombra, es decir, la composición y la densidad de las especies arbóreas en el lote o parcela, que determinan la radiación solar que reciben las plantas de los estratos más bajos (Cerdán, 2007).

Asimismo, Somarriba & Beer (2011) plantearon que las características del dosel de sombra –determinadas por la composición botánica, el número de capas verticales o substratos, el grado de cobertura de dosel, las características de la copa del árbol y el manejo de la sombra del árbol, como la poda, el raleo y la reforestación-, varían mucho entre las principales zonas ecológicas, en respuesta a factores biofísicos. Al respecto, los resultados aquí presentados serán un insumo para la toma de decisiones de los productores de caucho de la región amazónica colombiana.

Finalmente, se concluye que la radiación fotosintéticamente activa interceptada y transmitida varía considerablemente en función de la edad de siembra y el estado de desarrollo de los arreglos agroforestales de caucho; de otra parte, existe una distribución irregular de los individuos al interior del arreglo, para los rango de edad de siete a 15 años y mayores de 15; como consecuencia de ello, la PAR no está distribuida homogéneamente, generando áreas donde la radiación transmitida es alta y otras donde es baja; esta situación plantea la necesidad de mejorar el manejo y la distribución de las especies al interior de los arreglos agroforestales de caucho, para hacerlos más eficientes en el uso y la distribución de la radiación, de manera que permita mejorar la productividad y la rentabilidad de los cultivos que crecen bajo sombra.

Agradecimiento: Los autores agradecen al Programa de Jóvenes Investigadores del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación COLCIENCIAS, por la financiación de este trabajo de investigación, a través de la convocatoria 617 de 2013. A los productores caucheros, quienes facilitaron sus plantaciones, para el desarrollo de este 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 Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación COLCIENCIAS y la Universidad de la Amazonia.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACOSTA, M.; VARGAS H., J.J.; VELÁZQUEZ M., A.Y.; ETCHEVERS B., J. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*. 36:725-736.
2. ALMEIDA, A.A.; GOMES, F.P.; ARAÚJO, R.P.; SANTOS, R.C.; VALLE, R. 2014. Leaf gas exchange in species of the *Theobroma* genus. *Photosynthetica*. 52(1):16-21.
3. AKIMA, H. 2015. Package 'akima'. Interpolation of irregularly spaced data. Disponible desde internet en: <http://cran.r-project.org/web/packages/akima/akima.pdf> (con acceso 04/01/2015).
4. AZCÓN, J.; FLECK, I.; ARANDA, X.; GÓMEZ, N. 2008. Fotosíntesis: factores ambientales y cambio climático. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. En: Azcón-Bieto, J.; Talón, M. (eds). McGraw-Hill Interamericana. Madrid. p.247-263.
5. CERDÁN, C.R. 2007. Conocimiento local sobre servicios ecosistémicos de cafecultores del Corredor Biológico Volcán Central Talamanca, Costa Rica. *Ambientico (Costa Rica)*. 166:3-7.
6. DaMATTA, F.M.; RODRÍGUEZ, N. 2007. Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del Neotrópico: una visión agronómica y ecofisiológica. *Agr. Col.* 25(1):113-123.
7. DaMATTA, F.M. 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Res.* 86:99-114.
8. FARFÁN, F.; ARIAS, J.; RIAÑO, N. 2003. Desarrollo de una metodología para medir sombrión en sistemas agroforestales con café. *Cenicafé* 54(1):24-30.
9. GREENWOOD, M.S.; DAY, M.E.; BERLYN, G.P. 2009. Regulation of foliar plasticity in conifers: developmental and environmental factors. *J Sustain. For.* 28:48-62.
10. JAIMEZ, R.; TEZARA, W.; CORONEL, I.; URICH, R. 2008. Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao*): su manejo en el sistema agroforestal. Sugerencias para su mejoramiento en Venezuela. *Rev. Forestal Venezolana*. 52(2):253-258.
11. JARAMILLO-R., A.; AREILA-P., J.; MONTOYA-R., E.; QÚIROGA-Z, F.; 2006: La radiación solar; consideraciones para su estudio en las plantaciones de café (*Coffea arabica* L.). *Meteorol. Col.* 10:12-22.
12. KUME, A.; NASAHARA, K.N.; NAGAI, S.; MURAOKA, H. 2011. The ratio of transmitted near-infrared radiation to photosynthetically active radiation (PAR) increases in proportion to the adsorbed PAR in the canopy. *J. Plant Res.* 124(1):99-106.
13. LINDQUIST, J.L.; ARKEBAUER, J.T.; WALTERS, T.D.; CASSMAN, G.K.; DOBERMANN, A. 2005. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. *Agron. J.* 97(1):72-78.
14. MARTÍNEZ, G.E.R.; MARTÍNEZ, A.V.; MATA, J.J.; HERNÁNDEZ, J.V.; LÓPEZ, D.J.P. 2005. Biomasa aérea en plantaciones comerciales de hule (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) en el estado de Oaxaca, México. *Agrociencia*. 39(4):449-458.
15. NINEMETS, Ü.; ANTEN, N. 2009. Packing the Photosynthetic Machinery: From Leaf to Canopy. En: Laisk, A.; Nedbal, L.; Govindjee. *Advances in photosynthesis and respiration*. Ed. Govindjee (U.S.A.). 29(16):1-514.
16. NOCK, C.A.; CASPERSEN, J.P.; THOMAS, S.C. 2008. Large ontogenetic declines in intra-crown leaf area index in two temperate deciduous tree species. *Ecology*. 89:744-753.
17. OURADO-NETO, D.; FAVARIN, J.L. 2008. Radiation availability in agroforestry system of coffee and rubber trees. In: Jose, S.; Gordon, A.M (eds). *Toward Agroforestry Design: An Ecological Approach*. Springer Science. (Netherlands). 312p.
18. RIGHI, C.; LUNZ, A.; BERNARDES, M.; PEREIRA, C.; DOURADO, D.; FAVARIN, J. 2008. Radiation availability in agroforestry system of coffee and rubber trees. In: Jose, S.; Gordon, A.M. (eds). *Toward Agroforestry Design: An Ecological Approach*. Springer. 312p.
19. SEGURA, M.; ANDRADE, H.J. 2007. Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? How to develop biomass models of woody perennials species. *Agroforest. Américas (CATIE)*. 46:89-96.
20. SOMARRIBA, E.; BEER, J. 2011. Productivity of *Theobroma cacao* agroforestry systems with timber

- or legume service shade trees. *Agroforest. Syst.* 81(2):109-121.
21. STERLING C., A.; RODRÍGUEZ C., D.F.; HERNÁNDEZ R, C.; SALAS T., Y.M.; MAZORRA V, A.; BETANCURT P, B.; DUSSAN H., I.; GONGORA O., H. 2014. Clones promisorios de caucho en asocio con copoazú y plátano hartón con potencial para la amazonia colombiana. En: Introducción. Sterling, A; Rodríguez, C.H. (eds). *Agroforestería en el Caquetá*. Editorial Scripto S.A.S. Florencia. (Colombia). p.17-62.
22. TALBOT, G.; DUPRAZ, C. 2012. Simple models for light competition within agroforestry discontinuous tree stands: are leaf clumpiness and light interception by woody parts relevant factors? *Agrofor. Syst.* 84(1):101-116.
23. TSÚBO, M.; MUKHALA, E.; OGINDO, H.; WALKER, S. 2003. Productivity of maize-bean intercropping in a semi-arid region of South Africa. *Water SA.* 29(4):381-388.
24. TSÚBO, M.; WALKER, S. 2005. Relationships between photosynthetically active radiation and clearness index at Bloemfontein, South Africa. *Theoret. Appl. Climatol.* 80(1):17-25.
25. VINCÉNT, G.; HARJA, D.; ASMARA, D. 2002. SLIM software: a simple light interception model for multi-species, multi-strata forests. *Bois Forêts des Tropiques.* 2(272):97-100.
26. WILSON, T.B.; MEYERS, T.P. 2007. Determining vegetation indices from solar and photosynthetically active radiation fluxes [J]. *Agricult. Forest Meteorol.* 144(3):160-179.
27. WU, G.; LEEUW, J.; SKIDMORE, A.; LIU, Y.; PRINS, H. 2010. Comparison of extrapolation and interpolation methods for estimating daily photosynthetically active radiation (PAR). *Geo-spatial Inf. Sci.* 13(4):235-242.
28. YUNLIN, Z.; BOQIANG, Q. 2002. The basic characteristic and climatological calculation of the photosynthetically available radiation in Taihu region. *Acta Energiæ Solaris Sinica.* 23(1):118-123.
29. ZHANG, X.; ZHANG, Y.; ZHOUB, Y. 2000. Measuring and modelling photosynthetically active radiation in Tibet Plateau during April–October. *Agricult. Forest Meteorol.* 102(2):207-212.

Recibido: Marzo 24 de 2015

Aceptado: Agosto 5 de 2015

Cómo citar:

Durán-Bautista, E.H.; Ángel-Sánchez, Y.K.; Suárez-Salazar, J.C. 2015. Dinámica de la radiación fotosintéticamente activa en arreglos agroforestales con *Hevea brasiliensis* en el norte de la Amazonia Colombiana. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 365-372.

ZONAS HOMOGÉNEAS PARA MANEJO ESPECÍFICO POR SITIO EN MAÍZ USANDO UN SENSOR DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA SABANA DE BOGOTÁ

HOMOGENEOUS ZONES FOR SITE-SPECIFIC MANAGEMENT IN MAIZE USING AN ELECTROMAGNETIC INDUCTION SENSOR AT THE BOGOTA SABANA

Ricardo Alfaro Rodríguez¹, Fabio Rodrigo Leiva², Manuel Iván Gómez³

¹ Agrólogo, M.Sc., c.Doctor, Catedrático. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, e-mail: ralfaror@unal.edu.co; ² Ingeniero Agrícola, M.Sc, Ph.D, profesor Titular, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Desarrollo Rural. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, e-mail: frleivab@unal.edu.co; ³ Ingeniero Agrónomo, M.Sc., profesor Asociado, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, e-mail: igomez@unal.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 373-383, Julio-Diciembre, 2015

RESUMEN

La agricultura de precisión busca mejorar la eficiencia productiva, a partir de la variabilidad del agroecosistema. Para ello, se deben delimitar zonas homogéneas de manejo (ZM), dentro del lote de cultivo. Los sensores de inducción electromagnética (IM), que registran la conductividad eléctrica aparente (CEa), permiten identificar variaciones en propiedades del suelo y, por consiguiente, definir, en forma rápida y confiable, zonas con características similares. La investigación tuvo como objetivo delimitar ZM, con fines de manejo específico por sitio (MES), usando un sensor IM en suelos productores de maíz (*Zea mays* L.), de la Sabana de Bogotá. Para ello, se escogieron dos lotes en los que se sembró maíz, en los municipios de Facatativá y de Bojacá y, en estos, se midió la CEa y el contenido de agua en el suelo (Wsc). Se elaboraron mapas de CEa y Wsc y se delimitaron tres ZM, dentro de cada lote. En esas ZM, se tomaron muestras edáficas para análisis fisicoquímico de laboratorio y se determinó altura de planta, índice SPAD a los 60 y 120ddg y rendimiento del cultivo. El análisis estadístico, se realizó con SPSS V22 y SAS V 2.5. Los resultados mostraron correlaciones entre la CEa y el contenido de limo en Bojacá y el de arcilla en Facatativá y diferencias estadísticas significativas en los rendimientos de maíz entre ZM. Esta investigación destaca la utilidad del sensor IM para delimitar ZM, con fines de MES.

Palabras clave: Conductividad eléctrica aparente, agricultura de precisión, suelos agrícolas, cereales.

SUMMARY

Precision farming aims to improve production taking into account variability of the agricultural system. To do this, homogeneous management zones (HZ) are delimited within the crop field. The use of electromagnetic induction (EMI) sensors that record apparent electrical conductivity (Eca) allows to identify variations in soil properties and in turn to define quickly and reliably zones with similar characteristics. The research had as objective ZM delimitation for site-specific management (SSM) using an EMI sensor in soils under maize crops (*Zea mays* L.) at the Sabana de Bogotá. For this, two agricultural fields were chosen in Facatativá and Bojacá, and in them it was measured Eca and soil water content (Wsc). Maps of Eca and Wsc were drawn and three ZM were defined within each field. In these ZM, soil samples were taken for physicochemical laboratory analysis and it was determined plant height, SPAD index at 60 and 120 DDG and crop yield. Statistical analysis was performed with SPSS V22 and SAS V 2.5. The results showed correlations between Eca and content of silt in Bojacá and clay content in Facatativá, and statistically significant differences in maize yields between the ZM. This research highlights the utility of the IM sensor to define ZM for SSM.

Key words: Apparent electrical conductivity, precision agriculture, agricultural soils, cereals.

INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión (AP) busca optimizar el proceso productivo, a partir del manejo de la variabilidad del agroeco-

sistema (Dobermann *et al.* 2004; Bongiovanni *et al.* 2006; Leiva, 2008). La AP permite un mayor conocimiento y realizar trazabilidad del proceso productivo, facilita la utilización eficiente de los insumos y puede mejorar la productividad, aportando beneficios técnicos, ambientales y económicos (Roberts *et al.* 2010). Igualmente, la AP conduce a reducir la incertidumbre, brindando información valiosa para el mejoramiento de los sistemas productivos (Cook *et al.* 2003).

Para la AP, se debe identificar y cuantificar la variabilidad del agroecosistema, definir zonas homogéneas de manejo (ZM), al interior de las cuales, se usa la misma dosis de un insumo y establecer sistemas de manejo específico por sitio (MES), para las diferentes prácticas de cultivos, como son la labranza, la siembra, la fertilización y el riego (Ortega & Flores, 1999; Leiva *et al.* 2013).

La conductividad eléctrica aparente (CEa), entendida como la capacidad de la masa de suelo sin disturbar para conducir la corriente eléctrica, viene siendo usada, a nivel internacional, para definir ZM, puesto que puede suministrar información acerca de importantes propiedades físicas y químicas del suelo, como son salinidad, contenido de agua del suelo (Wsc), contenido y mineralogía de arcillas, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y tamaño y distribución de poros (McNeill, 1992; Corwin & Lesch, 2005b). La CEa también ha mostrado ser un indicador de rendimiento en maíz, particularmente, cuando el Wsc ha sido un factor limitante para el cultivo (Sudduth *et al.* 2003). Así, la CEa puede ser usada para identificar ZM en lotes agrícolas y cuando se evalúa conjuntamente con datos de rendimiento del cultivo, se mejora la confiabilidad en la identificación de ZM (Anderson-Cook *et al.* 2002). Valga destacar que en lotes donde la CEa depende principalmente de la textura, por ejemplo, en suelos no salinos, los patrones de distribución espacial de las ZM tienden a ser estables en el tiempo, lo cual, facilita su manejo.

Los sensores que registran la CEa, de manera georreferenciada, se usan para crear mapas, con diversas zonas que presentan diferencias en la capacidad del suelo para conducir la corriente eléctrica, lo cual, se relaciona principalmente con la salinidad, el contenido de agua y nutrientes del suelo (Adamchuk, 2011). Se recomienda usar estos sensores para elaborar el plan de muestreo de los suelos, por ser un método confiable y rápido para identificar la variabilidad espacial de las propiedades físico-químicas de los suelos, asociada con la calidad del mismo y con las variaciones en el rendimiento del cultivo (Johnson *et al.* 2003; Corwin *et al.* 2003).

La CEa, se puede determinar en campo usando sensores de medición directa de resistividad eléctrica o de inducción electromagnética (IM). El equipo EM-38-MK2 trabaja en el modo IM sobre la superficie del suelo sin entrar en contacto con este y puede determinar la CEa hasta $1000\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$, a

profundidades en la posición vertical del sensor, en el rango de 1,5m y 0,75m en el perfil del suelo o bien en la posición horizontal del sensor, entre 0,75m y 0,375m (Geonics, 2012). Corwin & Lesch (2005a) recomiendan este equipo como la primera opción para MES y estudios de calidad del suelo, destacando que la profundidad de trabajo cubre la zona completa para el desarrollo de raíces (0–1,5m). La investigación tuvo como objetivo delimitar ZM, con fines de manejo específico por sitio (MES), usando un sensor IM en suelos productores de maíz (*Zea mays* L.), de la Sabana de Bogotá.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación, se adelantó en dos lotes agrícolas de la Sabana de Bogotá, ubicados en los municipios de Facatativá y de Bojacá; el primero, de 7,7ha y, el segundo, de 3,5ha, en el segundo semestre de 2014. La temperatura media del área bajo estudio fluctúa entre 13,6 y 13,7°C; la precipitación anual entre 600 y 650mm y la evapotranspiración potencial, entre 630 y 640mm, en un paisaje de planicie fluvioacustre (IGAC, 2012).

El suelo estudiado en la localidad de Facatativá corresponde a la Consociación Talanquera (TA), clasificado taxonómicamente como Typic Haplustepts, familia: franca gruesa, mezclada, subactiva, isomésica; los suelos de esta unidad han evolucionado a partir de aluviones gruesos, son profundos, bien drenados, de reacción ligeramente ácida y fertilidad alta. El suelo en la localidad de Bojacá corresponde a la Consociación Llanitos (LL), clasificado como Pachic Haplustands, familia: medial, isomésica; la reacción del suelo es moderadamente ácida; la CIC es muy alta, a través de todos sus horizontes y la fertilidad alta (IGAC, 2012). En estos suelos, se determinó la CEa ($\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$), usando el sensor Geonics EM-38 MK-2, mediante pases paralelos, distanciados 15m entre sí, se tomó un registro por segundo, previo a la fertilización y siembra del maíz. Este sensor es de alta precisión ($\pm 0,1\%$ del total de la escala de deflexión), liviano, con la posibilidad de operar a diversas profundidades, sin requerir contacto directo con el suelo (Sudduth *et al.* 2005).

Las mediciones, se hicieron usando el dipolo vertical, con un espaciamiento entre bobinas de 1m, con lo cual, se tiene un alcance de 1,5m de profundidad en el suelo. El sensor, se ubicó sobre una carpa de lona diseñada para el arrastre sobre la superficie del suelo, a través de los lotes.

Simultáneamente, con las mediciones de CEa, se midió Wsc, con el medidor TDR 300(Spectrum Technologies, inc), usando una grilla regular de 15m por 50m. Los datos de CEa reportados por el sensor fueron filtrados, para eliminar valores atípicos; al respecto es importante tener en cuenta que el aparato cuenta con un computador de campo, que

geo-posiciona cada registro. A los datos obtenidos de CEa y de Wsc, se les aplicó estadística descriptiva y, luego, se generaron mapas de estas propiedades, mediante geoestadística, incluyendo análisis estructural y posterior interpolación, mediante kriging ordinario. Éste último, cuantifica la estructura espacial de los datos usando los semivariogramas y los predice estadísticamente, asumiendo que los datos más cercanos a un punto conocido tienen mayor peso en la interpolación, que aquellos más distantes (Bullock *et al.* 2007). El valor interpolado con este método carece de sesgo, ya que la interpolación de las variables en un punto medido devuelve el valor de la variable en ese punto, con un error de estimación casi nulo (Vieira, 2000).

Para seleccionar el modelo teórico de semivariograma de mejor ajuste, se usó validación cruzada, considerando los siguientes criterios para los errores de predicción: error medio estandarizado cercano a cero, error cuadrático medio pequeño, error estándar promedio similar al error cuadrático medio y error cuadrático medio estandarizado cercano a 1. Con el semivariograma teórico seleccionado, se obtuvo el correspondiente mapa, usando kriging ordinario y se evaluó el mapa de errores, para garantizar que estos fueran inferiores al 10%. Posteriormente, se usó cokriging, para evaluar la posible mejora del mapa de CEa a partir del encontrado para

Wsc, realizando validación cruzada, con los criterios citados de evaluación del error de predicción.

Con el fin de garantizar confiabilidad, de manera similar a lo reportado por Simón *et al.* (2013), en cada uno de los lotes se definieron tres ZM, usando cuantiles, como método de clasificación. Las zonas identificadas, se denominaron “baja(b)”, “media(m)” y “alta(a)”, a partir de los valores encontrados de CEa, para Facatativá, los límites fueron 12,834 – 16,038(b), 16,038 – 17,405(m) y 17,405 – 24,123(a) y para Bojacá, se tuvo 6,78 – 12,092(b), 12,092 – 14,28(m) y 14,28 – 23,225(a).

Posteriormente, en cada ZM, se georreferenciaron puntos de muestreo, los cuales, fueron centrados dentro de las distintas zonas de CEa, para evitar espacios de transición; en éstos, se midió la CEa con el sensor IM, se tomaron muestras de suelo para análisis físico-químico de laboratorio y se efectuaron mediciones de variables de desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (Cuadro 1). En Facatativá, las muestras de suelo, a una profundidad entre 0 y 20cm, se realizaron con tres repeticiones por zona y en la ZM con mayor extensión; se analizaron cuatro muestras. En Bojacá, se tomaron tres repeticiones por ZM. Cada muestra de suelo estuvo compuesta por diez submuestras, de acuerdo a la metodología propuesta por CORPOICA (Cuesta & Villaneda, 2005).

Cuadro 1. Propiedades físico-químicas de suelos y variables de desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz, evaluadas en Bojacá y Facatativá.

Variable	Método
1.1. Físicas - Suelo	
Contenido de agua del suelo (Wsc)	Uso de medidor TDR 300
Textura- Arcilla (Ar), limo (L), arena (A)	Bouyoucos, dispersión con hexametáfosfato de sodio
1.2. Químicas - Suelo	
Conductividad eléctrica aparente (CEa)	Sensor Geonics EM-38MK-2. Primera medición usando transectos; segunda medición, en zonas de muestreo
Capacidad de intercambio catiónica	Extracción con acetato de amonio 1M pH 7
pH	Suspensión suelo: agua (relación peso: volumen 1:1)
Carbono orgánico oxidable	Walkley-Black
P Fósforo disponible	Bray II
S Azufre	Extracción con fosfato monocálcico
K, Ca, Mg y Na intercambiables	Extracción con acetato de amonio 1M pH7
2. Variables de desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz	
Índice SPAD de contenido de clorofila en campo	Clorofilómetro Minolta SPAD 502, (en campo). Estado de desarrollo: 60 y 120ddg*
Altura de planta	Longitud total en cm. Estado de desarrollo: 60 y 120ddg
Rendimiento en grano por planta	Conteo, recolección y pesaje. Mazorca con y sin capacho en 3m ² , a cosecha en estado de choclo

* Días después de germinación.

Las mediciones y los métodos de determinación de las variables de desarrollo y de rendimiento del cultivo, se describen en la cuadro 1. Las mediciones con el clorofilómetro Minolta® SPAD 502, se tomaron en una hoja por planta, en diez plantas por sitio, aproximadamente, a la mitad de la distancia entre el tallo y el ápice de la hoja y a la mitad de la distancia, entre el borde de la hoja y el nervio medio, en la última hoja expandida y en la hoja de la espiga en floración.

En cada lote, se aplicó estadística descriptiva: medidas de tendencia central, de dispersión y de distribución para las propiedades del suelo y las variables de desarrollo y rendimiento del cultivo. A partir del coeficiente de variación (CV), se evaluó la variabilidad de las propiedades del suelo, adaptando la escala propuesta por Larreal (2005): muy baja variabilidad <15%, baja variabilidad de ≥ 15 a <30%, moderada variabilidad de ≥ 30 a <45%, variabilidad alta de ≥ 45 a 60% y muy alta variabilidad >60%. Luego, se evaluaron correlaciones Pearson entre estas y la CEa, medida en cada uno de los puntos de muestreo, utilizando el programa SPSS V22 (IBM); dichas correlaciones determinan si existe una relación lineal estadísticamente significativa entre dos variables, sin que esta sea debida al azar (Corwin & Lesch, 2005a).

Para evaluar diferencias en los promedios de las variables de desarrollo y de rendimiento del cultivo, en cada localidad en las diferentes ZM, se usó el procedimiento ANOVA de PROC MIXED de SAS V 2.5, con las ZM, como efectos fijos y los puntos de muestreo dentro de cada una de estas, como una repetición (Littell *et al.* 1996). Para el efecto, se consideró cada ZM como un tratamiento, en un diseño de bloques completos al azar, utilizando Tukey para las pruebas de diferencia mínima significativa (DMS).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis estructural de la CEa y el Wsc.

Se consideraron los modelos teóricos de los semivariogramas: circular, esférico, tetraesférico, pentaesférico, exponencial, gaussiano, cuadrático rotacional, efecto hoyo, K-Bessel, J-Bessel y stable y los criterios de selección. Igualmente, se evaluó anisotropía, sin que mejoraran los errores de predicción, por lo tanto, no se consideró esta característica. El tipo y parámetros de los semivariogramas seleccionados, se ilustran en la tabla 1. Los rangos para CEa y Wsc fueron considerablemente superiores en Bojacá, indicando mayor autocorrelación espacial para esas variables, en dicha localidad. Los mapas generados, a partir de los modelos descritos, se presentan en la figura 1. Estos resultados ilustran el alto potencial del sensor de inducción electromagnética utilizado, en la delimitación de ZM, con fines de MES, en razón a su precisión, versatilidad y confiabilidad.

Propiedades fisicoquímicas del suelo y de las variables de desarrollo y rendimiento del cultivo.

Bojacá. La CEa inicial y Wsc presentaron baja variabilidad y una distribución normal con valores similares de media y mediana y coeficientes de curtosis y de asimetría inferiores a 1 (Tabla 2). La CEa, medida en cada uno de los puntos de muestreo, presentó una variabilidad moderada en razón a los rangos entre ZM ya mencionados e igualmente una distribución normal.

La textura en este lote es franca (F), con muy baja variabilidad para Ar, L y A. La Ar presentó una distribución normal, según la prueba de Shapiro-Wilk (Tabla 2). En razón a que L y A no presentaron normalidad, se realizaron las transformaciones pertinentes para cada una de estas, encontrándose respuesta únicamente para L con la expresión: $X = \text{Log}(C - L)$, donde C es una constante y L % de limo; la significancia de la prueba Shapiro-Wilk para esta variable transformada fue de 0,5. La CIC, igualmente presentó muy baja variabilidad y una distribución normal, con valores altos, debido a los contenidos elevados de materia orgánica y a la naturaleza andica de los suelos, estos concuerdan con los reportados por IGAC (2012).

Con relación a las variables de desarrollo y de rendimiento del cultivo, el peso del maíz, la altura de planta a los 60 y 120ddg y el índice SPAD a los 60 y 120ddg presentaron distribuciones normales, con variabilidad en el rango de muy baja a baja. El peso de la mazorca mostró baja variabilidad, similar a lo encontrado con CEa inicial y una distribución ligeramente leptocúrtica.

Facativá. La CEa inicial presentó variabilidad muy baja, mientras que la CEa y Wsc, medida en cada uno de los puntos de muestreo, expusieron baja variabilidad; en general, a mayor cantidad de agua en el suelo mayor conductividad eléctrica, en razón al efecto electrolítico del agua, ya que disuelve las sales presentes (Corwin & Lesch, 2005a). Estas variables presentaron una distribución normal.

Las propiedades físico-químicas del suelo L y CIC con muy baja variabilidad y Ar con variabilidad baja presentaron una distribución normal; de otro lado, la A mostró una distribución que no corresponde a la normal, ni siquiera mediante transformación de los datos originales. La textura para este suelo resultó franca (F), de manera similar a lo encontrado en el lote de Bojacá.

En cuanto a las variables de rendimiento y desarrollo del cultivo todas presentaron distribuciones normales y variabilidad de baja a muy baja, que fluctúan entre 29,7%, para el peso del maíz y 11,03%, para el índice SPAD a los 120ddg.

Tabla 1. Características y errores de predicción, de los modelos de semivariograma seleccionados para la CEa y el agua en Bojacá – Facatativá.

Localidad	Variable	Pepita [Co]	Meseta [Co + C]	Rango (m) [Ao]	Modelo	Errores de predicción *			
						1	2	3	4
Bojacá	ECa	0,50	8,97	120,93	Exponencial	-0,00047	1,1068	1,0568	1,0305
Bojacá	Wsc	15,08	37,54	271,70	Exponencial	-0,0099	4,9725	4,8783	1,0158
Facatativá	ECa	0	4,64	28,50	Circular	-0,00050	0,916	0,9757	0,9436
Facatativá	Wsc	0	18,94	67,53	Stable	-0,0084	4,1476	4,132	1,0022

1. Error medio estandarizado; 2. Error cuadrático medio; 3. Error estándar promedio y 4. Error cuadrático medio estandarizado.

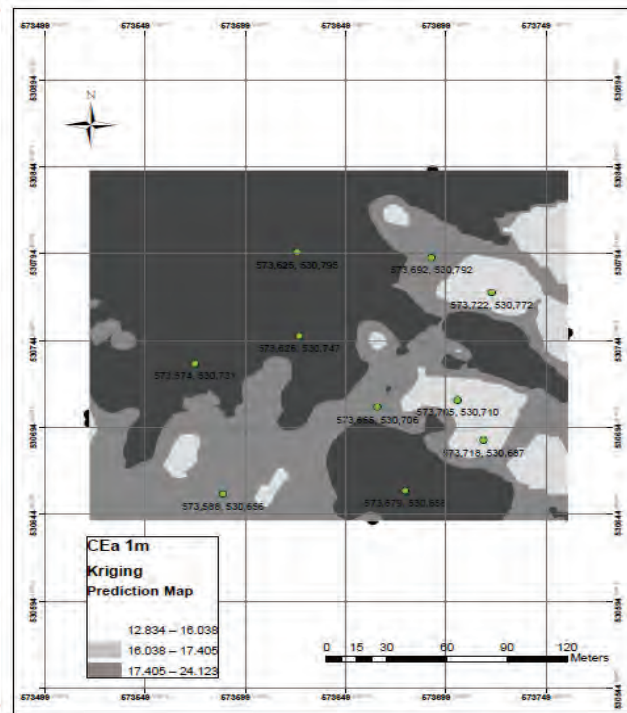
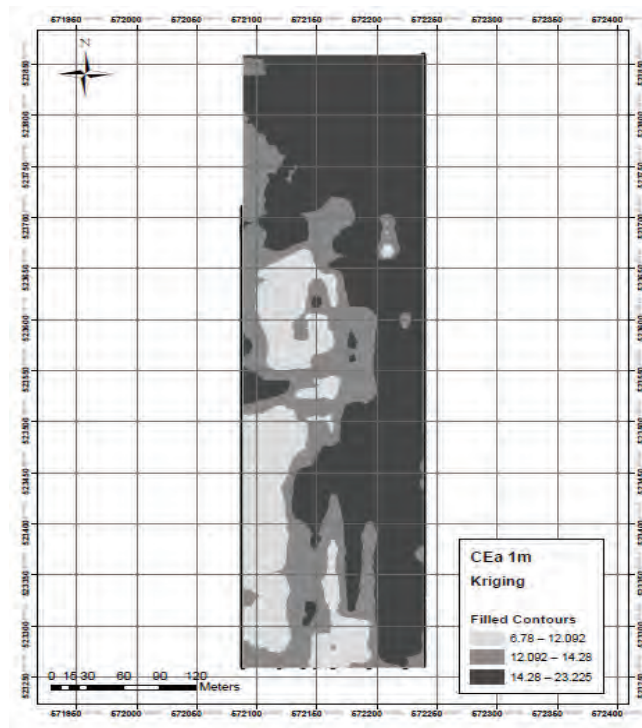


Figura 1. Mapas de CEa del suelo en los lotes experimentales. Bojacá (arriba) - Facatativá (abajo), con los puntos de muestreo dentro de las ZM, 2014.

Tabla 2. Estadística descriptiva para las variables fisicoquímicas y del cultivo de maíz en Bojacá y Facatativá.

Propiedad	Localidad	(n) Total	Media	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación estándar	Asimetría	Curtosis	Coefficiente de Variación	Shapiro-Wilk Sig.
CEa (Primera medición) mS·m ⁻¹	B ¹	2279	14,41	14,28	23,22	6,78	2,8	0,184	-0,699	19,43	-
	F ⁴	224	17,53	17,4	25,02	12,83	2,22	0,469	0,352	12,66	-
CEa (Segunda medición) mS·m ⁻¹	B	9	14,65	14,30	24,12	6,78	5,10	0,423	0,567	34,8	0,931
	F	10	18,03	17,72	24,14	12,83	3,38	0,417	-0,062	18,75	0,906
Wsc	B	79	22,37	21,5	37,3	12	5,74	0,635	-0,081	25,65	-
	F	68	22,84	22,3	34	12,9	4,67	0,296	0,236	20,44	-
% Arcilla	B	9	22,55	23	25	19	2,18	-0,188	-1,23	9,66	0,172
	F	10	14,4	15	17	9	2,5	-0,994	1,21	17,36	0,102
% Limo	B	9	45,11	45	49	36	3,95	-1,65	3,55	8,75	0,045
	F	10	37,4	38	44	32	3,27	0,411	1,24	8,74	0,583
% Arena	B	9	32,33	32	39	30	2,82	1,86	4,1	8,72	0,008
	F	10	46	46	50	36	4,42	-1,23	1,98	9,6	0,027
CIC (meqv por 100 g.s)	B	9	34,24	35	36,3	33,4	1	-0,169	-0,985	2,92	0,677
	F	10	38,72	38,85	42,2	34	3,14	-0,182	-1,83	8,1	0,111
P Mazorca (kg)	B	9	5604	5040	7680	4240	1375,7	0,833	-1,17	24,54	0,033
	F	10	5270	5340	6620	3820	1150,46	-0,07	-2,04	21,83	0,081
P Maíz (kg)	B	9	2404	2160	3960	1680	721,51	1,47	1,89	30,01	0,086
	F	10	2244	2350	3040	1448	661,76	-0,098	-1,98	29,47	0,079
Altura de planta (cm) 60ddg	B	9	61,88	62	70	51	6,03	-0,369	-0,108	9,74	0,737
	F	10	70,5	74,5	87	46	14,7	-0,611	-1,09	20,85	0,239
Altura de planta (cm) 120ddg	B	9	217	213	242	201	15,46	0,385	-1,628	7,12	0,173
	F	10	211	220	278	145	43,87	-0,14	-1,19	20,79	0,678
Spad 60ddg	B	9	44,66	43,5	51	41	3,59	0,731	-0,728	8,03	0,269
	F	10	42,28	42,7	48,6	34,1	4,87	-0,26	-0,974	11,51	0,719
Spad 120ddg	B	9	60,04	55,4	90,7	44,8	15,41	1,06	0,436	25,66	0,226
	F	10	44,57	43,9	51,1	35,5	4,92	-0,282	-0,304	11,03	0,727

B¹ Bojacá. F⁴ Facatativá.

Relaciones entre variables.

Bojacá. Este análisis mostró una correlación Pearson altamente significativa, con un coeficiente de asociación de 0,846, entre la CEa, medida en cada uno de los puntos de muestreo y el contenido de L del suelo y de -0,813, entre esta y la Ar. Esta correlación encontrada entre la CEa y el L es consistente con resultados de otros investigadores (Sudduth *et al.* 2003; Corwin & Lesch, 2005a) e indica el efecto de la textura en la CEa. Si bien, la Ar tiene mayor conductividad eléctrica que el L (Grisso *et al.* 2007), probablemente, el predominio de este último, en este caso, con un contenido que duplica al de Ar (45,1% frente a 22,5%) y, adicionalmente, la muy baja variabilidad del contenido de Ar, a través del lote, conllevó a un mayor efecto del L en la CEa. Las correlaciones de la CEa con las otras propiedades físico-químicas evaluadas no fueron significativas, indicando que la variabilidad espacial de esta, fue función principalmente de la textura del suelo (Corwin & Lesch, 2005b).

Con respecto a las variables de desarrollo y de rendimiento, se encontró correlación significativa de 0,720 entre el peso de la mazorca y la CEa. Cuando los rendimientos correlacionan con la CEa, las medidas espaciales de esta, se pueden usar en el MES del cultivo, para lo cual, es necesario establecer las propiedades del suelo que tienen mayor influencia en la CEa, dentro del campo y, así mismo, definir si estas mismas son las que más influyen sobre los rendimientos (Corwin *et al.* 2003). Lo hallado indica que las ZM identificadas, efectivamente, fueron útiles en términos de rendimiento del cultivo.

No hubo correlación de la CEa con las demás variables de desarrollo y de rendimiento. En el caso del índice SPAD, la medición resulta de gran importancia en la evaluación indirecta del contenido de clorofila de la hoja (Blackmer & Schepers, 1995); sin embargo, no presentó correlación con el rendimiento, probablemente, porque este índice no considera el área foliar; además, los investigadores citados confirman la baja correlación existente entre los valores SPAD y el rendimiento del cultivo de maíz, destacando que su uso, como herramienta de diagnóstico, tiene un limitado potencial, que podría mejorar en estadios fenológicos posteriores.

Los diagramas de caja que se presentan en la figura 2, ilustran lo expuesto frente al contenido de L, que explica, en gran medida, los cambios de CEa, a través del lote y la respuesta del cultivo en cada una de las tres ZM delimitadas, con base en la CEa. La prueba de Anova (Tabla 3) realizada al peso de la mazorca, arrojó diferencias altamente significativas entre tratamientos, lo cual, confirma la respuesta diferencial del cultivo en cada una de las ZM, con promedios de 4426,66g (a), en zona “baja”; 5026,66g (b), en zona “media” y 7360,80g (c), en la zona “alta” de CEa.

Facatativá. En este lote, se encontró correlación Pearson significativa con un coeficiente de asociación de 0,758, entre la CEa, medida en cada uno de los puntos de muestreo y el contenido de Ar del suelo y entre este y la altura de plantas, a los 120ddg de 0,654. La correlación positiva encontrada con la Ar es coherente con estudios previos (Sudduth *et al.* 2003) y, posiblemente, se debe a la mayor variabilidad de esta propiedad en relación con L, a través del lote y al menor con-

Tabla 3. Anova para rendimiento de la mazorca y altura de plantas de maíz 120ddg en Bojacá y Facatativá.

FV		GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	R-M*	2	14'408.896.00	7'204.448.00	66,92	0,002
	A-P**	2	13.446.21	6.723.10	13,83	0,018
BLOQUE	R-M	2	301.120.00	150.560.00	1,39	0,347
	A-P	2	797.56	394.78	0,82	0,505
ERROR	R-M	4	430.592.00	107.648.00		
	A-P	4	1.944.43	486.10		
TOTAL	R-M	8	15'140.608.00			
	A-P	8	16.188.21			

C.V RM = 5,85% * Peso de la mazorca

C.V AP = 10,28% ** Altura de planta

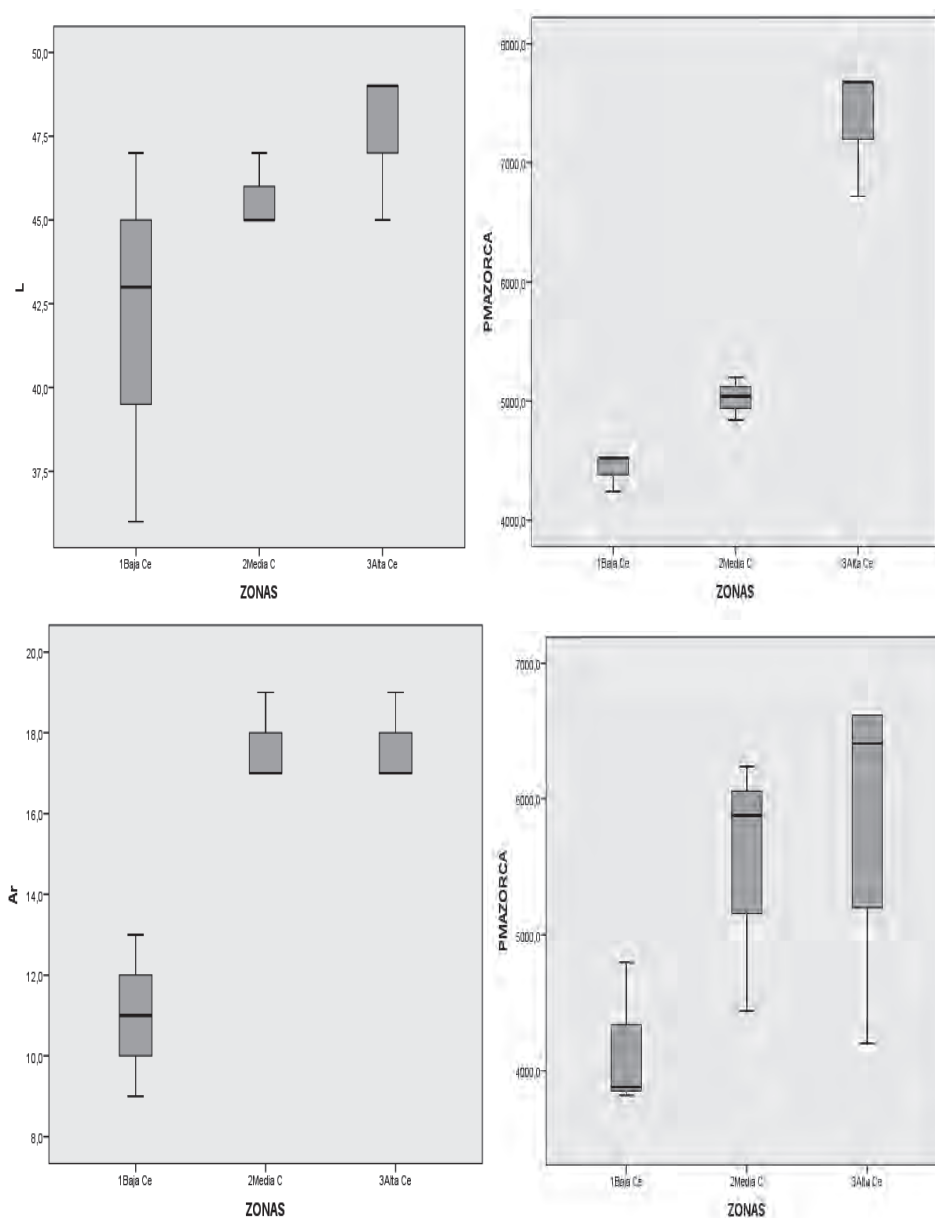


Figura 2. Diagramas de caja por zonas para la comparación de medias de: contenido de limo y peso de la mazorca en Bojacá (arriba) y contenido de arcilla y peso de la mazorca en Facatativá (abajo), 2014.

tenido de L, en comparación con el de Bojacá. La CEa no presentó correlación significativa con las variables de rendimiento y de desarrollo; vale la pena destacar el coeficiente de 0,606, entre la CEa y el peso de la mazorca y de 0,485, entre este último y el contenido de Ar. Las variables agronómicas que mostraron correlaciones altamente significativas entre sí fueron el peso de la mazorca y la altura de las plantas, a los 60 y 120ddg, con valores de 0,798 y 0,852, respectivamen-

te. De otro lado, la medición de SPAD presentó correlación significativa de 0,643 con la altura de planta, a los 60ddg.

Los diagramas de caja que se presentan en la figura 2, ilustran un claro contraste entre la zona “baja” y las otras dos zonas, en términos de Ar, por mayor contenido, lo cual, se vio reflejado en la respuesta del cultivo.

Las correlaciones entre la CEa y los contenidos de Ar y L en los lotes estudiados indican que la CEa, en estos suelos, depende, principalmente, de las fracciones finas de la textura, que brinda cierta estabilidad espacial y temporal a las ZM delimitadas y facilita el MES.

La prueba de Anova (Tabla 3), realizada a la altura de planta a los 120ddg, arrojó diferencias altamente significativas entre tratamientos, lo que confirma la respuesta diferencial del cultivo en cada una de las ZM delimitadas, con promedios de 1,603m (a), en zona “baja”; 2,357m (b), en zona “media” y 2,477m (c), en la zona “alta” de CEa. Por la alta correlación existente entre la altura de las plantas a los 120ddg y el peso de la mazorca, se puede asegurar que esta variable agronómica es un buen indicador del rendimiento del cultivo. La importancia de la altura de la planta se debe a que es un parámetro que determina el grado de desarrollo del área foliar y el tamaño final de la planta, en algunos casos, el mayor tamaño de una planta es más importante que la duración del período de llenado de grano, en la determinación del rendimiento (Fassio *et al.* 1998).

En los dos lotes, las ZM delimitadas con base en la CEa presentaron diferencias significativas: uno, en la respuesta de altura de planta y, el otro, en el rendimiento del cultivo de maíz. Esto permite concluir que el cultivo mostró respuesta diferencial concordante con los rangos de CEa, que sirvieron para delimitar las ZM.

Los suelos estudiados presentan alta fertilidad; sin embargo, es común encontrar desbalances en los contenidos de nutrientes, que obligan a realizar aplicaciones de fertilizantes o enmiendas con miras a restablecer el equilibrio, por ejemplo, balance en la saturación de K, manejo en las relaciones Ca/Mg. Es recomendable que su manejo técnico se enmarque en el contexto de la AP, como lo muestran otros estudios, que han reportado bondades técnicas y económicas de definir ZM para fertilización específica por sitio, en cultivos de maíz en la Sabana de Bogotá (Rodríguez *et al.* 2008).

Los resultados hallados permiten asegurar que el uso del sensor de IM posee gran potencial en la identificación de ZM, para MES en el cultivo de maíz.

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 la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, dirección de Investigaciones y hace parte del Proyecto: “Metodología basada en el uso de un sensor de conductividad eléctrica aparente (CEa) para la zonificación con fines de fertilización específica por sitio en suelos productores de maíz (*Zea mays* L.) de la Sabana de Bogotá”.

BIBLIOGRAFÍA

1. ADAMCHUK, V. 2011. On-the-go soil sensors – are we there yet? Ed. McGill University. Ste-Anne-de-Bellevue. Quebec (Canada). p.63.
2. ANDERSON-COOK, C.; ALLEY, J.; ROYGARD, R.; KHOSLA, R.; NOBLE, R.; DOOLITTLE, J. 2002. Differentiating soil types using electromagnetic conductivity and crop yield maps. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1562-1570.
3. BLACKMER, T.; SCHEPERS, J. 1995. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. *J. Prod. Agr. (USA)*. 8:56-60.
4. BONGIOVANNI, R.; MANTOVANI, E.; BEST, S.; ROEL, Á. 2006. Agricultura de precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Ed. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (Uruguay). 244p.
5. BULLOCK, D.; KITCHEN, N. 2007. Multidisciplinary teams: a necessity for research in precision agriculture systems. *Crop Sci.* 47:1765-1769.
6. COOK, S.; O'BRIEN, R.; CORNER, R.; O'BERTHUR, T. 2003. Is precision agriculture irrelevant to developing countries? En: Stafford, J.; Werner, A. (eds). *Precision agriculture*. Wageningen Academic Publishers. Netherlands (Holanda). p.115-119.
7. CORWIN, D.; LESCH, S. 2005a. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity: Part II. Case study. *Computers Electronics Agric.* 46:135-152.
8. CORWIN, D.; LESCH, S. 2005b. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity I. Survey protocols *Computers Electronics Agric.* 46:103-133.
9. CORWIN, D.; LESCH, S.; SHOUSE, P.; SOPPE, R.; AYARS, J. 2003. Identifying soil properties that influence cotton yield using soil sampling directed by apparent soil electrical conductivity. *Agron. J.* 95(2):352-364.
10. CUESTA, P.; VILLANEDA, E. 2005. El análisis de suelos: toma de muestras y recomendaciones de fertilización para producción ganadera. En: *Manual Técnico Producción y Utilización de Recursos Forrajeros en Sistemas de Producción Bovina en las regiones Cari-*

- be y Valles Interandinos. CORPOICA. (Bogotá D.C). 96p.
11. DOBERMANN, A.; BLACKMORE, S.; COOK, S.; ADAMCHUK, V. 2004. Challenges and future directions. En: Krishna, K, (ed). Precision farming: Soil fertility and productivity aspects. Ed. Apple Academic Press Inc. (USA). p.71-90.
 12. FASSIO, A.; CARRIQUIRI, A.; TOJO, C.; ROMERO, R. 1998. Maíz aspectos sobre fenología. INIA. Montevideo (Uruguay). 59p.
 13. GEONICS EM38K2. 2012. Ground conductivity meter operating manual. Geonics Limited. Leaders in electromagnetics. Mississauga (Ontario). 57p.
 14. GRISSE, R.; ALLEY, M.; HOLSHOUSE, D.; THOMAS, W. 2007. Precision farming tools: Soil electrical conductivity. Virginia. Cooperative Extension. p.442-508.
 15. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. -IGAC. 2012. Levantamiento Detallado de Suelos en las Áreas Planas de 14 municipios de la Sabana de Bogotá. IGAC. Bogotá D.C. 492p.
 16. JOHNSON, C.; DORAN, J.; DUKE, H.; WEINHOLD, B.; ESKRIDGE, K.; SHANAHAN, J. 2003. Field scale electrical conductivity mapping for delineating soil condition. Soil Sci. Soc. Am. J. 65:1829-1837.
 17. LARREAL, R. 2005. Definición y establecimiento de la serie San Francisco en la altiplanicie de Maracaibo, sector semiárido. Facultad de Agronomía. Luz. Maracaibo. (Venezuela). 106p.
 18. LEIVA, F.; CRIOLLO, V.; GUERRERO, L. 2013. Aproximación al riego por sitio específico: Estudio de caso en la Sabana de Bogotá. Suelos Ecuatoriales. (Colombia). 43(2):82-86.
 19. LEIVA, F. 2008. Agricultura de precisión en cultivos transitorios. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. D.C. 107p.
 20. LITTELL, R.; MILLIKEN, G.; STROUP, W.; WOLFINGER, R. 1996. SAS System for mixed Models, Cary, NC: SAS Institute Inc. 596p.
 21. McNEILL, J. 1992. Rapid, accurate mapping of soil salinity by electromagnetic ground conductivity meters. In: Topp, G.C.; Reynolds, W.D.; Green, R.E. (eds). Advances in measurement of soil physical properties: Bringing theory into practice. SSSA Spec. Madison, (WI). p.209-229.
 22. ORTEGA, R.; FLORES, L. 1999. Agricultura de precisión: introducción al manejo sitio-específico. Ministerio de Agricultura, Instituto de investigaciones agropecuarias. CRI Quilamapu. (Chile). p.13-46.
 23. ROBERTS, D.; KITCHEN, N.; SUDDUTH, K.; SHARF, P. 2010. Will variable-rate nitrogen fertilization using corn canopy reflectance sensing deliver environmental benefits. Agronomy. J. 102:85-95.
 24. RODRÍGUEZ, J.; GONZÁLEZ, A.; LEIVA, F.; GUERRERO, L. 2008. Fertilización por sitio específico en un cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la Sabana de Bogotá. Agr. Col. 26(2):308-321.
 25. SIMÓN, M.; PERALTA, N.; COSTA, J. 2013. Relación entre la conductividad eléctrica aparente con propiedades del suelo y nutrientes. Ciencia Suelo (Argentina). 31(1):45-55.
 26. SUDDUTH, K.; KITCHEN, N.; WIEBOLD, W. 2005. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. Computers and Electronics in Agriculture. 46(1-3):263-283.
 27. SUDDUTH, K.; KITCHEN, N.; BOLLERO, G.; BULLOCK, D.; WIEBOLD, W. 2003. Comparison of electromagnetic induction and direct sensing of soil electrical conductivity. Agron. J. 95:472-482.
 28. VIEIRA, S. 2000. Uso de geoestadística en estudios de variabilidad espacial de propiedades del suelo. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Ed. Novais. 87p.

Recibido: Mayo 5 de 2015

Aceptado: Agosto 24 de 2015

Cómo citar:

Alfaro Rodríguez, R.; Leiva, F.R.; Gómez, M.I. 2015. Zonas homogéneas para manejo específico por sitio en maíz usando un sensor de inducción electromagnética en la sabana de Bogotá. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 373-383.

IRRIGATION RESPONSE OF POTATO (*Solanum tuberosum* L.) VAR. R12 DIACOL CAPIRO

RESPUESTA DE LA PAPA (*Solanum tuberosum* L.) VARIEDAD R12-DIACOL CAPIRO A LA APLICACIÓN DE RIEGO

Fernando Javier Peña Baracaldo¹, Ingeborg Zenner de Polanía²

¹ Ing. Agr. M.Sc., Docente Investigador, Facultad Ingenierías, Programa Ingeniería Agronómica. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Calle 222 No. 55-37, Bogotá, D.C., e-mail: fepena@udca.edu.co; ² Ing. Agr. Ph.D. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Calle 222 No. 55-37, Bogotá, D.C., e-mail: izenner@udca.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 385-392, Julio-Diciembre, 2015

SUMMARY

Irrigation is one of the agronomic practices seldom employed by potato growers, either because of water unavailability or lack of knowledge of the benefits of the appropriate water use. In order to demonstrate this benefit, in a cycle of five months, regarding of a commercial crop located in Tenjo (Cundinamarca), we evaluate the response of the potato variety Diacol Capiro R-12 to three treatments, fertigation (T1), drip irrigation (T2), and the comparison with a conventional check without irrigation (T3), distributed under a completely randomized design. The influence of the treatments on the fresh and dry weight of leaves, stems and tubers was estimated. Throughout the assessment, the irrigation and fertigation treatments were superior to conventional one, showing statistically significant differences at harvest time, where treatment T1 showed an increase in yield of 72% and treatment T2 of 18%, compared with the control. Based on the results, fertigation can be considered as an option for farmers to increase their potato profitability and market competitiveness, since the impact generated by price fluctuations of the product can be reduced, obtaining higher and more constant yield per area unit, regardless of weather conditions during the crop cycle.

Key words: Irrigation systems, tuber production, yield, rain-fall.

RESUMEN

El riego, en el cultivo de papa, es una de las prácticas culturales menos empleadas por los cultivadores de este tubérculo, ya sea por no disponibilidad de agua o por ausencia de conocimiento del beneficio del uso adecuado del agua. Para demostrar este beneficio, en un ciclo de

cinco meses de un cultivo comercial, localizado en Tenjo (Cundinamarca), se evaluó la respuesta de la papa, variedad R-12 Diacol Capiro, a tres tratamientos, fertirriego (T1), riego por goteo (T2), comparado con un testigo convencional sin riego (T3), distribuidos bajo un diseño completamente aleatorizado. Se estimó la influencia de los tratamientos sobre la longitud de los tallos, el peso fresco y seco en hojas y peso fresco de tubérculos. A lo largo de la evaluación realizada, los tratamientos riego y fertirriego fueron superiores al testigo convencional, mostrando diferencias estadísticamente significativas Tukey ($p < 0,05$), en el momento de la cosecha, donde el tratamiento T1 presentó un aumento en rendimiento del 72% y, el tratamiento T2, del 18%, con relación al testigo. Con los resultados obtenidos, se percibe al fertirriego como una opción para que los agricultores puedan aumentar su rentabilidad y su competitividad en el mercado, ya que pueden disminuir el impacto que generan las fluctuaciones en los precios de venta del producto, al tener rendimientos por unidad de área superiores y constantes, independientemente de las condiciones climáticas que se tengan durante el ciclo del cultivo.

Palabras clave: Sistemas de riego, producción tubérculos, rendimiento, lluvias.

INTRODUCTION

After the maize, wheat and rice, potato is worldwide the fourth most consumed food. FAO reports a global cultivated area of 19'463.041ha with a production of 368'096.362t for 2013; from these hectares Colombia has planted 114.715ha and harvested 2'129.319t (FAOSTAT, 2014), which represents, on average a 32% of the production of its annual crops. The crop is grown throughout the year in nearly 133.865ha estimated for 2012, providing around 90,000 jobs, which

according to the “Colombian National Potato Board” in 2009 generated about 77,369 direct and 232,108 indirect occupations (FEDEPAPA, 2014).

Because of the diversity of producers and the different technologies used during the production process, yield per hectare is variable and relatively low, being on average 18.4t/ha, although DANE records shows producers with yields higher than 40t/ha exist (DANE, 2013), this yields are not very far from the one obtained in New Zealand, the country with the highest yields with a national average of 44.71t/ha (FAOSTAT, 2014). As reported by Sermet *et al.* (2005) the most important factor, which when not managed properly to achieve these levels of productivity, is the low availability of water during the growing season.

The lack of irrigation water has negative effects on every phenological stage of the crop, the initiation of tuber formation and the tuber filling are the most important stages influenced by lack of adequate soil humidity. It also influences the quantity and quality of tubers, since drought generates elongated or deformed tubers (Ekanayake, 1994). Another important aspect of the lack of adequate soil moisture refers to the attack of insects, specifically the Guatemaltecan potato tuber moth, *Tecia solanivora* Povolny (Lepidoptera: Gelechiidae). A soil with a moisture content at or higher than field capacity, prevents the existence of cracks around the stem base and avoids, or at least hinders, the moth oviposition and the subsequent access of the first instar larvae to the tubers (Torres, 1997).

In 1990, Haverkort *et al.* showed that irrigation is vital in the potato production, particularly when there is no nutritional or plant population limits. An adequate water supply is critical from the tuberization initiation until the plant reaches physiological maturity in order to obtain high yields of excellent quality (Haverkort *et al.* 1990; Sermet *et al.* 2005; Tourneux *et al.* 2003b). Furthermore, an adequate supplies of water before tuber formation increases the number and the size of tubers per plant (Aguar Netto *et al.* 2000) and, consequently, increases the yield (Pacheco Saguí & Pérez Correa, 2010).

Research carried out in Venezuela demonstrated the positive influence of irrigation on decreasing the damage of *T. solanivora*. Ramos de Solózano *et al.* (1995) determined the water requirements of the crop and its effect on the incidence of the insects, evaluating water sheets between 500 and 2,500mm; the authors concluded that the increase of the water sheet from 500 to 2,500mm decreased the percentage of affected tubers from 66.67 to 25.88%. Sprinkler irrigation, at a frequency of five days, maintained a proper soil moisture, and decreased the damage caused by the larvae of the insect pest to tubers of the variety “Granola”, showing a tuber infestation of only 6.64% at harvest time (Fernández, 1996).

Sun *et al.* (2014) explain that to obtain high yields soil water availability for cultivation must be maintained at a level of 70% throughout the developmental cycle. According to Jeréz & Simpfendöfer (2000) crop water requirements vary between 400 and 600mm, but all rain less than 10 mm is ineffective or does not contribute to the crop, as it is retained by the foliage and is evaporated. According to Solano *et al.* (2003) higher than 500 mm levels are considered optimal. In this connection Ferreira & Goncalves (2007) show that for obtaining good yields and in relation to the climatic conditions on the area, the crop needs between 460 and 480mm while Aguilar *et al.* (2006) report needs near 455 mm during the growing season.

The potato plant is sensitive to water stress and water availability in the soil cannot be less than 30% to achieve optimum yields (Darwish *et al.* 2006; Tourneux *et al.* 2003a). In the crop, a high availability of assimilates promotes the growth of roots, of stolons, the leaves and branches (Tourneux *et al.* 2003a; b). During the foliage expansion phase, water stress reduces photosynthetic efficiency, growth of foliage and favors partitioning of assimilates to the growth of the tubers; thus, especially when the tuber formation has already initiated (Haverkort *et al.* 1990; Sermet *et al.* 2005; Darwish *et al.* 2006). Another effect of water stress is the reduction of foliage growth for the partition of assimilates to the tubers, which determines a decrease of the crop cycle (Geremew *et al.* 2007).

Being the potato crop such an important line within the Colombian economy, production processes have to be improved, being one of the aspects to which little importance is played is, precisely the real water management. With this in mind, drip irrigation or fertigation could be a great alternative, since it allows a more efficient water management, as well as a better nutritional management of the plant (Bosnjak & Pejlik, 1997).

Therefore, it is considered, that irrigation is an alternative to increase yields, to improve water use and to reduce the dependence on weather conditions; that's why the objective of this research was to evaluate the effect of two irrigation systems on the yield of the potato variety Diacol Capiro R-12.

MATERIALS AND METHODS

The research was carried out in a commercial plot located in the township of Poveda 2 Tenjo, Cundinamarca, Colombia; latitude 4°52'42.43" N and longitude 74°5'50.18" W in a loam soil with coarse texture.

The electrical conductivity (EC) and pH of the irrigation water and soil were measured, being the water EC Water 0.71ms/cm (conductivity variable), of intermediate salt levels suitable

for irrigation, such as Ca, and possibly undesirable as Cl and Na; with these the crops productivity is not affected. Water pH was 6.30, which is within the ranges to be used in fertigation. Soil EC ratio 2:1 was 0.63ms/cm, which indicates the adequate fertility, the low-toxic salts, with an optimum nutrient reserve, and suitable cation exchange capacity that provides a good potential for achieving high returns if proper management of fertigation is performed.

The seed material used was the potato variety Diacol Capiro, known as R-12, a medium late variety (165 days approx.), intended for industrial processing. Under optimal growing conditions, yields may be higher than 40t/ha (Núñez *et al.* 2009).

A drip irrigation system consisting of 16 modules, each one with 16 lines of 80m length, and a discharge of 30 gallons per minute⁻¹ (GLM) per module was installed. One hour weekly watering during the crop cycle was performed; thus providing irrigation of 7.5mm per hectare during each irrigation.

The soil was prepared with one pass of a vibratory chisel and two rake passes; planting was done with a potato planter (Watanabe PAI-290) driven by a tractor; the distance between rows were 1m and 30cm between plants, obtaining a density of 33,333 plants/ha. The initial fertilization took place at planting time at the rate of 750 kg^h⁻¹, with a fertilizer grade 13-26-6-5-6. Agronomic practices were realized according to the routines done by the producer.

Fertilization was carried out according to the soil analysis and the bases were balanced in the ratio 1:3:1, according to the methodology established in the "Manual de Monómeros Colombo Venezolanos" according to the extraction of the crop for the Cundi-Boyaca plateau, giving to Santos *et al.* (2010). For treatment number 1 the fertilization was 30% at planting, the remaining 70% was applied weekly by the fertigation system, splitted rendering to the crops phenology and using the methodology recommended by Cadahía (1996). Fertilizers used were of high solubility and concentration of the element in order to reduce problems of soil salinity. For treatments for 2 and 3 preplant fertilization was 30% and the remaining 70% at the hoeing time.

A completely randomized experimental design was used, composed of three treatments with three replicates each: fertigation (T1), drip irrigation (T2) and the commercial control without irrigation (T3), for a total of nine experimental units, consisting each of three rows 80m long per treatment, with an area of 240m² per treatment. The effect of these treatments on the variables, stem length and dry weight, fresh and dry leaf weight and tuber fresh weight of ten plants per row was measured. It was also proposed to evaluate, when taking the tuber fresh weight, to evaluate the percentage

of damage of *T. solanovora*. For all the data analysis of variance and multiple comparison test of Tukey ($p < 0.05$) was performed.

RESULTS AND DISCUSSION

Stem length: The influence of either irrigation type on this parameter is shown in figure 1; from week 11 after planting (WAP), treatment T3 showed a shorter stem length than both T1 and T2. However, in the last evaluation T1 reveals the lowest stem length, 114.00cm, while treatment T2, averaged 151.11cm. Within the samples taken at the WAP 7, 9, 19 and 21, none of the treatments had an influence on this parameter. In week 11, treatment T3 showed an average of 28.91cm, is realized that this is statistically lower than treatments T1 and T2, which reached a higher average, 54.05 and 57.84cm, respectively. At week 13 WAP, T1 and T2 are within the same statistical grouping, larger than the T3. Afterwards, at week 15, treatment T1 displayed a greater length, while T2 and T3, with the lowest average assessment, are grouped with no significant differences between them. Finally, at week 17 WAP, the two irrigation systems, treatments T1 and T2, reached the highest data, statistically equally grouped with the same height, while in the control without irrigation, stems only reached an average height of 90 cm, statistically different from the other two treatments.

Definitely, the irrigated potato plants presented along the crop cycle higher values in stem length. This finding agrees with the statement made by Motalebifarda *et al.* (2013), who found that lower levels of soil moisture the crops evapotranspiration rates is shortened; this triggers a decrease in the absorption and transport of nutrients, adversely affecting the growth of stems and of the plant.

Stem dry weight: Results of the evaluation of this parameter are provided in figure 2. It is noted that T2 and T3 have a similar behavior throughout the study, whereas treatment T1 presented higher values at weeks 13, 15 and 17; however, at the end it behaves similar to treatment T3.

At week 13 after planting, treatment T1 reached the highest value with a dry weight of 153g, different as the one reported by Núñez *et al.* (2009), who mentioned that the maximum dry matter accumulation in this organ was 105,87g per plant at 12 weeks after emergence. This difference is attributed to the effect of fertigation on the stem development and the accumulation of nutrients and fotoasimilates with in them. Also, at this week, treatment T1 showed significant differences with treatment T2, exhibiting an increase of 183% with respect to T2, which with 54g dry weight exhibits the lowest value. In regard to T3 an increase of 82%, with 84g, similar to the other treatment was obtained.

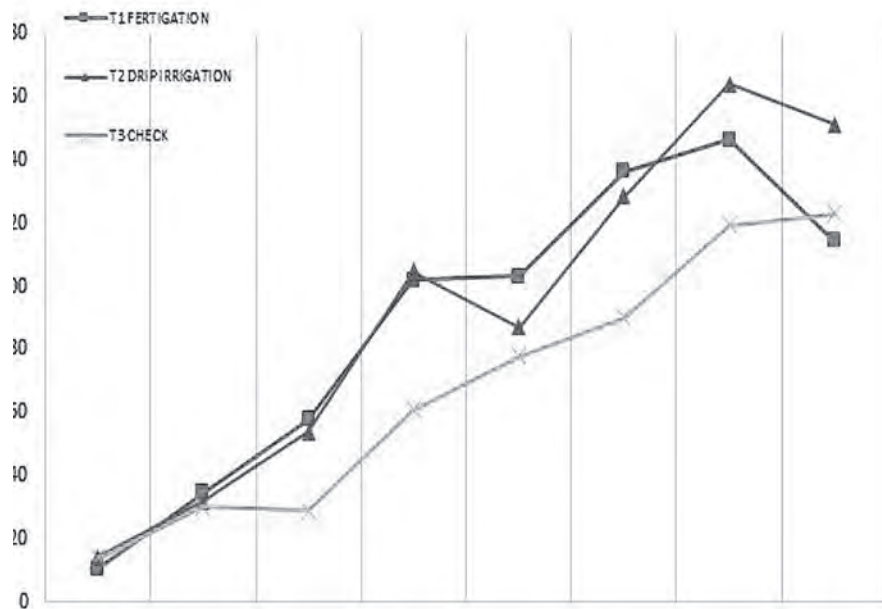


Figure 1. Mean plant stem length during the potato phenological development with and without irrigation.

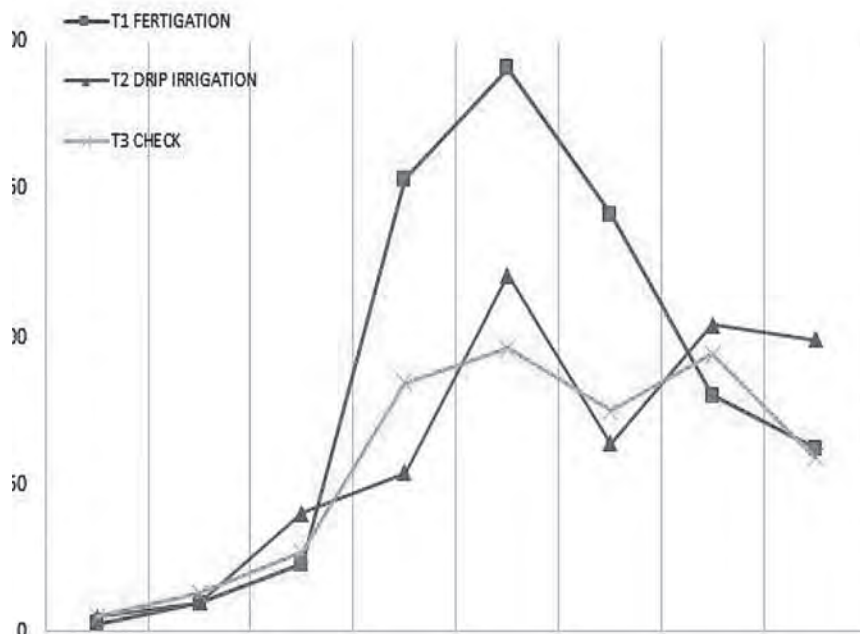


Figure 2. Stem dry weight evolution of R-12 potato with and without irrigation.

Fresh and dry weight of leaves: In table 1 the average of these two parameters are reported, showing that the fresh weight of the leaves showed a trend of continuous increase, up to week 15; where treatments T1 and T2 reached the highest

fresh leaf weight, which matches with the data obtained by Rodríguez (2010), who reported the highest dry matter accumulation in this organ in the 14th week after planting.

At WAP 15, the fresh weight obtained of treatment T2 was 107% higher than that for T3; while T1 was 188% higher than T3 and 39% higher than T2. Moreover, in this sample, significant differences among treatments were presented. From this week on, the trend of the values obtained is in

the decrease, and at week 21 WAP statistically significant differences between T1 and T3 and T2 are present, having the latter one a considerably higher value. Analysis of variance showed statistically significant differences only for samples taken at weeks 15 and 21.

Table 1. Mean fresh and dry weight of R-12 of potato leaves.

Weeks after planting	Fresh T1	Weight T2	g T3	Dry T1	Weight T2	g T3
7	32,28	63,39	51,70	4,04	8,04	6,89
9	235,55	176,26	170,61	23,46	11,09	13,35
11	519,18	495,87	112,72	56,81	25,13	34,68
13	723,39	508,00	591,51	120,76	68,79	40,15
15	1002,38 ^{a*}	718,33 ^b	346,90 ^c	175,56 ^a	77,79 ^b	37,02 ^c
17	546,67	578,33	326,90	79,80	27,81	33,83
19	388,33	400,00	391,67	44,06	42,07	103,12
21	73,33 ^a	220,00 ^b	63,33 ^a	43,27	53,16	39,39

* Tukey ($p < 0,05$)

As shown in table 1, treatments T1 and T2 presented throughout the crop cycle higher leaf fresh weight. This result agrees with the statement made by Tabares *et al.* (2009) who obtained that leaf area for crops with complete irrigation is superior as those who have had a deficit during its development.

Reaching maturity and harvest, plants start to lose leaves and the final tuber fill depends on the remaining photoasimilates that are contained in stems and roots; soil should have a certain moisture degree to prevent cracks that serve as entrance for diseases and pests of the crop (Haverkort *et al.* 1990).

In the same table 1 it appears that the dry weight of leaves for the evaluated treatments reveals an equivalent tendency equivalent to increase or decrease observed with the behavior of the fresh weight. An increase is detected at the interval between weeks 13 and 15 after planting, and then a downward trend is reflected. The dry matter increase at week 15 of plants of the treatments T1 and T2 can be explained by the application of irrigation and fertigation, respectively, since water increases soil availability of nutritional and then facilitates translocation to the leaves (Geremew *et al.* 2007). Leaf dry weight found in this week differ little from the data collected by Núñez *et al.* (2006) in a study on the dry matter accumulation and distribution in Diacol Capiro, study in which the greatest accumulation of dry matter fluctuated around 11.5g per plant.

Again, it is made evident that throughout the crop cycle the treatments, which received irrigation, had a higher leaf dry matter accumulation. King & Stark (2000) attributed this effect on the importance of water in the process of the plants photosynthesis, since in situations of water deficit the photosynthetic rate decreases due to stomatal closure. This causes a decline in gas exchange, especially of the CO₂ entry into the plant and thus a reduction in the amount of carbohydrates produced. Furthermore, the decrease in water content prevents the release of electrons used for the performance of the photosystem one, which also leads to losses in dry matter accumulation (Sun *et al.* 2014).

Tuber fresh weight: Is showed on figure 3 the results of this parameter from week seven up to the end, 21 WAP, which is the closest moment to harvest of the research are registered. It is noted that the treatment T3 exhibits a general tendency to increase the tuber fresh weight, however, during all samplings had among the treatments at the lowest average weight. The treatment T2 shows an increase of tuber fresh weight from week 11 and its averages are higher than those of treatment T3, the check. Treatment T1 also presents an increase-starting at week 11, but it is after week 15 its greatest increase is observed and it also ends with the highest weight. From the stage of full bloom to plant maturity, water scarcity can cause the foliage to remove water from the tubers remove and, consequently, these lose weight (Rodríguez, 2010).

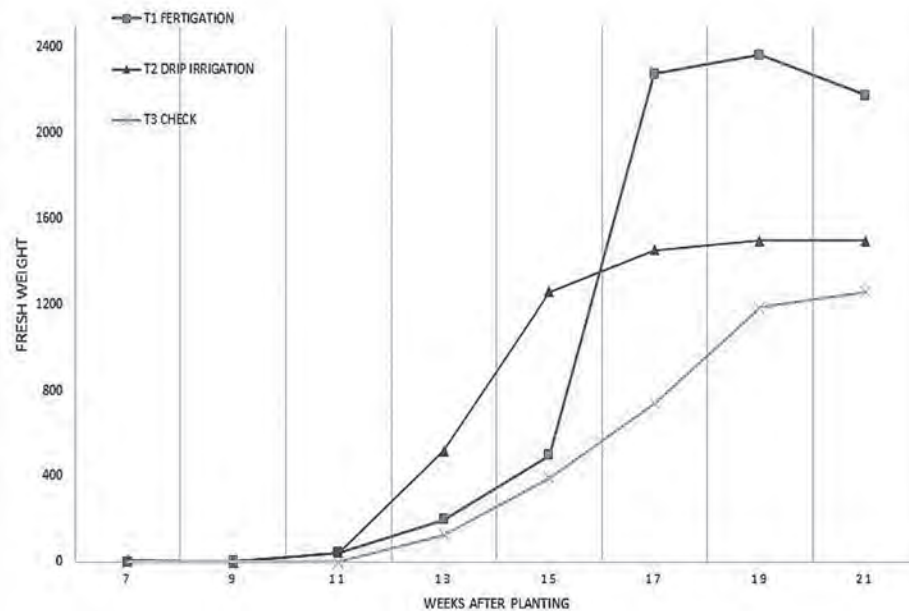


Figure 3. Mean tuber fresh weight per plant, submitted to two irrigation systems, compared with the check.

The variable tuber fresh weight corresponds to the most important parameter because it is the way the product is marketed and showed significant differences at weeks 13, 15 and 21. The sample of week 21 is the most relevant one, being the closest to the harvest and can be used to forecast the tuber production.

The data obtained at week 13, showed that treatment T2 had the highest tuber fresh weight, the 519g is the average and established statistically significant differences with T3, with an increase of 308%; T3 only reached 127g, being the treatment with the lowest average. The sample of T2 at week 15, with an average of 1259g tuber fresh weight also presents statistical differences with the other two other treatments, with an increase of 152% and 220% compared to T1 (499 g) and T3 (393g), which showed much lower averages and are grouped together, with no significant differences between them.

Observations made at week 21, revealed statistically significant differences between T1 and T3, showing the treatment fertigation an increase of 72% compared to the control. Treatment T2, drip irrigation, with 1488 g tuber weight shows an intermediate value.

According to the results obtained Vos & Groenworld (1986), the final crop yield is directly related to the amount of biomass that it has reached at the end of the vegetative stage. Assessments realized within the diverse evaluations showed that treatment T1 presented on average a higher value of

stem length and fresh leaves and stem matter, being this the whole plant biomass. This superiority triggered a higher photosynthetic rate, which is reflected in a larger tubers filling achieved with this treatment.

Tuber formation is considered one of the most important stages of the phenological cycle of the potato crop. In this, tubers begin to swell from stolons due to the photoassimilates produced by the leaves, this occurs between weeks 5 to 7 after planting (Rodríguez, 2010). Water stress at this stage of the crop cycle generates decreases in yield and an increase in tuber deformations (Sun *et al.* 2014).

King & Stark (2000) point out that this happens because in the process of translocation of photoassimilates to the tubers, this is the moment when the highest rates transpiration rate occurs and, therefore, the plants highest water requirements arise.

It is stated that the absence of the Guatemaltecan potato tuber moth in the commercial plot, did not allow the evaluation of the effect of irrigation on the larvae damage to the tubers of the variety Diacol Capiro R12. However, one should not rule out the possible influence of this practice on the insect's population.

From this research it is concluded that the implementation of a fertigation system in the potato variety Diacol R12-Capiro increases the yield by 72% compared to a crop with a

conventional management. Only with the water applications the crop yield increases by 18% compared to the control. The water availability throughout the different plant growth stages and in favor of its water requirements affects positively the development of the determinants and components of the crop yield, resulting in increased production.

Conflicts of interest: 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.

BIBLIOGRAPHY

- AGUIAR NETTO, A.O.; RODRIGUES, J.D.; PINHO, S.Z. 2000. Análise de crescimento da cultura da batata submetida a diferentes lâminas de irrigação. Pesquisa Agropec. Bras. 35(5):901-907.
- AGUILAR, M.G.; CARRILLO, J.A.; RIVERA, A.A.; GONZÁLEZ HERNÁNDEZ V.A. 2006. Análisis de crecimiento y de relaciones fuente-demanda en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). Rev. Fitotec. Mex. 29(2):145-156.
- BOSNJAK, D.; PEJIK, B. 1997. Potatoes water requirement in the Chernozem zone of Yugoslavia. Acta Horticulturae. 449(1):211-215.
- CADAHÍA, C. 1996. El Sistema de Fertirrigación para una fertilización racional de los cultivos en sustratos y suelos. En: Rodríguez, A. (ed.). Hidroponía. Curso-taller Internacional. Universidad Agraria la Molina. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral, Lima, Perú.
- DANE. 2013. ENCUESTA NACIONAL AGROPECUARIA ENA-2012. Disponible desde Internet en: <http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/public/ENA/boletin-prensa-ENA-2012.pdf> (con acceso 09/02/2015).
- DARWISH, T.M.; ATALLAH, S.; HAJHASANYA, H. 2006. Nitrogen and water use efficiency of fertigated processing potato. Agr. Water Managem. 85:95-104.
- EKANAYAKE, I. 1994. Estudios sobre estrés por sequía y necesidades de riego en la papa. Guía de Investigación CIP 30. Lima, Perú. Centro Internacional de la Papa. 40p.
- FAOSTAT. 2014. Potato Production quantities by country, Average 1992 – 2012. Disponible desde Internet en: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/Q/QC/E> (con acceso 09/02/2015).
- FEDEPAPA. 2014. Cultivo de la Papa. Disponible desde Internet en: http://www.fedepapa.com/?page_id=401 (con acceso 09/02/2015).
- FERNÁNDEZ, S. 1996. Efecto de dos prácticas culturales sobre poblaciones de insectos plaga de tubérculos de cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). Rev. Fac. Agron. (LUZ). 14:603-610.
- FERREIRA, T.C.; GONCALVES, D.A. 2007. Crop-yield/water-use production functions of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) grown under differential nitrogen and irrigation treatments in a hot, dry climate. Agric. Water Manag. 90(1/2):45-55.
- GEREMEW, E.B.; STEYN J.M.; ANNADELE, J.G. 2007. Evaluation of growth performance and dry matter partitioning of four processing potato (*Solanum tuberosum*) cultivars. New Zealand J. Crop Hort. Science. 35:385-391.
- HAVERKORT, A.J.; VAN DE WAART, M.; BODLAENDER, K.B.A. 1990. The effect of early drought stress on numbers of tubers and stolons of potato in controlled and field conditions. Potato Res. 33:89-96.
- JERÉZ, J.; SIMPFENDÖRFER, C. 2000. Efecto del riego en cultivos de papa. Tierra Adentro. Especial riego y drenaje. INIA Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 34:36-38.
- KING, B.; STARK, J. 2000. Potato irrigation management. University of Idaho, Cooperative extension system, College of agriculture. Disponible desde Internet en: <http://info.ag.uidaho.edu/resources/PDFs/BUL0789.pdf> (con acceso el 26/01/2015).
- MOTALEBIFARDA, R.; NAJAFIA, N.; OUSTANA, S.; NYSHABOURIA, M.R.; VALIZADEHB, M. 2013. The combined effects of phosphorus and zinc on evapotranspiration, leaf water potential, water use efficiency and tuber attributes of potato under water deficit conditions. Scientia Horticulturae 162:31-38.
- ÑÚSTEZ, C.E.; SANTOS, M.; NAVIA, S.; COTES, J.M. 2006. Evaluación de la fertilización fosfórica foliar y edáfica sobre el rendimiento de la variedad de papa 'Diacol Capiro' (*Solanum tuberosum* L.). Agr. Col. 24(1):111-121.
- ÑÚSTEZ, C.E.; SANTOS, M.; SEGURA, M. 2009. Acumulación y distribución de materia seca de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.)

- en Zipaquirá, Cundinamarca (Colombia). Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 62(1):4823-4834.
19. PACHECO SAGÚÍ, J.; PÉREZ CORREA, A. 2010. Evaluación del riego de la papa en la Empresa de Cultivos Varios "Valle del Yabú", Santa Clara, Cuba. Rev. Cienc. Tecn. Agropec. 19(3):47-52.
 20. RAMOS DE SOLÓZANO, G.; LACRUZ ROJAS, C.; GARCÍA DE FLORES, A.; BECERRA M., F. 1995. Efecto de la humedad sobre el cultivo de la papa y la incidencia de plagas a nivel de tubérculos, en Bailadores, Estado Mérida. Rev. Fac. Agron. (LÍZ). 12:133-144.
 21. RODRÍGUEZ, L. 2010. Ecofisiología del Cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Rev. Col. Cienc. Hort. 4(1):97-108.
 22. SANTOS, M.; SEGURA, M.; NÚSTEZ, C.E. 2010. Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 63(1):5253-5266.
 23. SERMET, O.; CALISKAN, H.M.; CALISKA, O. 2005. Different irrigation methods and water stress effects on potato yield and yield components. Agric. Water Manage. 73:73-86.
 24. SOLANO S., J.; MEDINA M., L.; NISSEN M., J. 2003. Efecto de niveles y frecuencias de riego por aspersión en papa (*Solanum tuberosum* L.). Agrosur. 31(2):47-59.
 25. SUN, Y.; YAN, F.; CUI, X.; LIU, F. 2014. Plasticity in stomatal size and density of potato leaves under different irrigation and phosphorus regimes. J. Plant Physiol. 171:1248-1255.
 26. TABARES, E.; JARAMILLO, S.; GONZÁLEZ, L.; COTES, J.M. 2009. Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Diacol Capiro a la fertilización en un andisol del Oriente Antioqueño. Rev. Fac. Nacional de Agronomía, Medellín 62(2):5099-5110.
 27. TORRES W., F. 1997. Biología y Manejo Integrado de la Polilla Centroamericana de la Papa *Tecia solanivora* en Venezuela. Maracay, Ven.; Fondo nacional de Investigaciones Agropecuarias/Fundación para el desarrollo de la Ciencia y la tecnología del estado de Táchira (Serie A-No. 14). 60p.
 28. TOURNEUX, CH.; DEVAUX, A.; CAMACHO, M.R.; MAMANI, P.; LEDENT, J.F. 2003a. Effects of water shortage on six potato genotypes in the highlands of Bolivia (II): water relations, physiological parameters. Agronomie. 23:180-190.
 29. TOURNEUX, CH.; DEVAUX, A.; CAMACHO, M.R.; MAMANI, P.; LEDENT, J.F. 2003b. Effects of water shortage on six potato genotypes in the highlands of Bolivia (I): morphological parameters, growth and yield. Agronomie. 23:169-179.
 30. VOS, J.; GROENWOLD, J. 1986. Root growth of potato crops on a marine-clay soil. Plant Soil. 94:17-33.
- Recibido: Julio 3 de 2015
Aceptado: Octubre 16 de 2015

How to cite (Cómo citar):

Peña Baracaldo, F.J.; Zenner de Polanía, I. 2015. Irrigation response of potato (*Solanum tuberosum* L.) Var. R12 Diacol Capiro. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 385-392.

EFFECTO DE LA INUNDACIÓN SOBRE PARÁMETROS DE CRECIMIENTO DE STEVIA (*Stevia rebaudiana* Bertoni)

EFFECT OF FLOODING ON GROWTH PARAMETERS OF STEVIA (*Stevia rebaudiana* Bertoni)

Alfredo Jarma-Orozco¹, Teobaldis Mercado-Fernández², Jose Alejandro Cleves-Leguizamo³

¹Ingeniero Agrónomo, MSc. Fisiología de Cultivos, PhD Fisiología de Cultivos, Profesor Titular Facultad Ciencias Agrícolas. Universidad de Córdoba, carrera 6 No. 76-103, Montería, Colombia, e-mail: ajarma@correo.unicordoba.edu.co; ²Ingeniero Agrónomo, MSc. Hidrociencias, Ph.D. Hidrociencias, Profesor Titular Facultad Ciencias Agrícolas. Universidad de Córdoba, carrera 6 No. 76-103, Montería, Colombia, e-mail: teobaldis@correo.unicordoba.edu.co; ³Ingeniero Agrónomo, MSc. Sistemas de Producción Agrícola, (c) PhD. Agroecología, Profesor Asociado, Facultad Seccional Duitama, Escuela Administración de Empresas Agropecuarias. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), carrera 18 No. 22-00, Tunja, Colombia, e-mail: jose.cleves@uptc.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 393-399, Julio-Diciembre, 2015

RESUMEN

Stevia rebaudiana Bertoni es una planta de reciente introducción y cultivo en Colombia, donde se siembra en pequeñas extensiones, debido, entre otros aspectos, al desconocimiento de su sensibilidad a periodos prolongados de inundación. Esta situación, se registra con relativa frecuencia en algunos meses del año, en el Departamento de Córdoba. El presente estudio, se realizó en esta región, con el objetivo de evaluar los efectos de diferentes tiempos de inundación sobre el crecimiento de la especie. Para ello, se sometió el cultivo a inundación antes, durante y después de floración, durante 6, 12, 24, 48 y 72 horas. Los resultados indicaron que en todos los estados fisiológicos evaluados, las plantas mueren después de 24 horas de inundación, con significativas reducciones del área foliar (80%) y número de hojas (30%) en floración; lo mismo sucedió con la biomasa total por planta, la cual, se redujo (21%). En post-floración –en esta fase fisiológica– el estrés, por hipoxia, indujo una distribución preferencial de biomasa hacia la raíz en detrimento de la del tallo. Los resultados de este trabajo indican que *stevia* es una planta altamente susceptible, a condiciones de estrés hídrico.

Palabras clave: *Stevia rebaudiana*, estrés hídrico, biomasa, área foliar, hipoxia.

SUMMARY

Stevia rebaudiana Bertoni, is a plant of recent introduction and cultivation in Colombia, where it is grown in small areas due, among other aspects, to the absence of the

knowledge of its sensitivity to prolonged periods of flooding, common in the Department of Córdoba at certain times of the agricultural season. The present study was carried out in order to determine the effects of flooding on some growth variables of this species. The culture was subjected to flooding before, during and after flowering by periods of 6, 12, 24, 48 and 72 hours. The results indicated that in all evaluated physiological states, the plants died after 24 hours of flooding, with significant reductions in leaf area (80%) and number of leaves (30%) at blooming, as well as the total biomass per plant which was reduced by 21%. At the post-flowering physiological stage, hypoxia stress induced a preferential distribution of biomass to the root at the expense of the stem. The results of this study indicate that *stevia* is a plant, highly susceptible to water stress conditions.

Key words: *Stevia rebaudiana*, hypoxia, stress, biomass, leaf area, *stevia*.

INTRODUCCIÓN

Ceunen *et al.* (2012) indican que *Stevia rebaudiana* Bertoni, conocida como ka'áhe'e o, simplemente, como *stevia*, es una especie que aún crece en estado silvestre, en terrenos arenosos y de buen drenaje en la región Oriental de Paraguay, lugar de origen y de dispersión.

Actualmente, tiene un gran reconocimiento por sus extraordinarias características organolépticas, debido a que posee una serie de moléculas endulzantes no calóricas, 300 veces más dulce que el azúcar común. Es muy utilizada en China, en Estados Unidos, en Japón, en Corea, en Australia,

en Nueva Zelanda y en muchos países de la Unión Europea (Hitesh *et al.* 2013).

Los cambios fisiológicos más notables en las plantas están relacionados con las variaciones significativas con los factores climáticos, como radiación, precipitación, temperatura, contenidos de humedad en el suelo y presión de vapor. Estas variaciones inciden en el crecimiento y en el desarrollo de la especie vegetal, manifestadas a través de cambios bioquímicos, como tasas de fotosíntesis, transpiración, síntesis de moléculas, además de variaciones morfológicas, como la modificación del área foliar y la distribución de la biomasa, entre otros (Jarma, 2008). Algunos autores consideran que estas estrategias de adaptación se presentan de manera proporcional a los gradientes hidrológicos de estrés, como la cantidad y el tiempo de inundación (Magee & Kentula, 2005).

La inundación es una situación de exceso de agua en la zona radicular. La disminución del oxígeno en el suelo, debido al exceso de agua, resulta en hipoxia o anoxia, responsables de las mayores pérdidas en la productividad de los cultivos (Jiménez *et al.* 2012). En ese sentido, las respuestas de las plantas está determinada por la habilidad que pueda tener la raíz para adquirir oxígeno y el desarrollo del área foliar específica.

Mielke *et al.* (2005) indican que muchas especies, bajo condiciones de anoxia, pueden cambiar los patrones de asignación de biomasa en la planta y que pueden ocurrir aumentos proporcionales en la biomasa de la raíz, para formar aerénquima, a expensas del crecimiento total, ya que la biomasa del tejido fotosintético disminuye, como también lo hace la ganancia de carbono fotosintético, probablemente, por limitaciones estomáticas (Herrera *et al.* 2008).

Kissmann *et al.* (2014) refieren que los cambios pueden ser lentos o rápidos, dependiendo de la especie. Otros autores afirman que, generalmente, los cambios bioquímicos están asociados a períodos cortos de estrés por anoxia, en tanto que los cambios morfológicos, están relacionados con períodos más largos de inundación (Jiménez *et al.* 2012).

Las respuestas morfo-fisiológicas diferenciales entre especies sometidas a estrés por inundación han sido documentadas por Hough-Sneea *et al.* (2014), quienes reportaron que, bajo estas condiciones, la planta acumula menos biomasa total y re-asigna la restante, destinando una mayor proporción a la raíz y reduciendo el área foliar total y el área foliar específica.

Por su parte, Kissmann *et al.* (2014) indican que la reducción en la expansión del área foliar trae consecuencias drásticas en la producción de biomasa y en el crecimiento de la planta; sin embargo, otros autores indican que la planta reduce

el crecimiento de la raíz, ya sea por la presencia de iones fitotóxicos en el suelo, tales como Mn^{2+} , Fe^{2+} y S^{2-} (Yamauchi *et al.* 2013) o porque sólo puede crecer cerca de la superficie del suelo, procurando el poco oxígeno disponible (Corréa de Souza *et al.* 2013; Baracaldo *et al.* 2014).

De igual manera, la falta de oxígeno –derivada de las condiciones de inundación– disminuye la respiración. La producción de energía es restringida a fermentación, la que deriva solamente dos ATPs; adicionalmente, la hipoxia causa reducciones en la conductividad hidráulica y afecta las aquaporinas, disminuyendo la absorción de agua y nutrientes por la raíz (Horchani *et al.* 2008). Asimismo, cuando se producen especies reactivas de oxígeno (EROs), que pueden causar daños al metabolismo de la célula por oxidación de lípidos y de proteínas, la planta induce mecanismos enzimáticos y no enzimáticos, para controlar esas EROs y proteger sus células (Karuppanapandian *et al.* 2011).

En este orden de ideas, Wood *et al.* (2000) manifiestan que en América Latina, el 11,3% de las tierras cultivables presentan problemas de mal drenaje, principalmente, por la fisiografía. En los suelos del Valle del río Sinú, Córdoba, Colombia, en algunas épocas del año, por lo general, entre agosto y noviembre, se presentan altas precipitaciones, asociadas a deficientes drenajes, asociados a topografías llanas, niveles freáticos altos y el predominio de texturas franco-arcillosas.

Algunos estudios sobre stevia en la región indican que los suelos, para su producción, deben ser preferiblemente de topografía plana, pero no inundables (Jarma, 2008). Sobre la base de las ideas expuestas, la presente investigación tuvo por objetivo estudiar algunas respuestas morfológicas de stevia, sometida a diferentes tiempos de inundación, bajo las condiciones ambientales del Valle del Sinú.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación, se realizó entre abril y agosto de 2012, en la Granja Experimental de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba, con coordenadas geográficas 8°44'52" N y 75° 52'53" W. La zona posee –en promedio anual– una temperatura de 28°C, humedad relativa del 84%, insolación entre 1400 y 1800 horas luz/año, precipitación de 1200 mm y una altitud de 15 msnm (Palencia *et al.* 2006).

Los estudios, se hicieron en pre-floración, floración y post-floración en cada uno, de los cuales, se estableció un diseño completamente aleatorizado, con 6 tiempos de inundación: 6, 12, 24, 48 y 72 horas y un testigo absoluto, que se mantuvo a capacidad de campo sin períodos de inmersión y cuatro repeticiones. Cada unidad experimental estuvo constituida por diez plantas, para un total de 720. Cada planta fue establecida en bolsa de polietileno de 22 x 35cm calibre 3,

con sustrato en relación 1:1:1 (casquilla de arroz, aluivón y arena), previamente desinfectado. Las variables respuesta, se tomaron diez días después de haber retirado las plantas de cada tratamiento de inmersión.

Las respuestas, se cuantificaron, a través del área foliar (AF), medida en cm^2 , con el software Determinador Digital de Áreas (DDA); el número total de hojas por planta (NH) y la masa seca (g) asignada a la raíz (MS_R); el dosel (MS_D) y la total (MS_T), determinada al someter los tejidos a 72°C , durante 48 a 72 horas. Los datos fueron procesados y analizados por el programa SAS versión 9,2 y las gráficas, se ilustraron con el programa Sigma Plot versión 10,0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Debido a la muerte de las plantas en los períodos de inundación superiores a 24 horas, sólo fue posible tomar información para períodos de inundación de 6, 12 y 24 horas. Los resultados obtenidos son consistentes con otras especies, como en el caso de Benz *et al.* (2007), quienes encontraron que la hipoxia ocasionaba deterioro de las raíces y muerte de las plantas del complejo *Piriqueta caroliniana*; asimismo, Martínez-Alcántara *et al.* (2012) coinciden que la hipoxia causa inhibición del crecimiento y puede conllevar a mortalidad total de las plantas, por los efectos sobre el metabolismo del vegetal, revisados en el acápite anterior.

Área foliar por planta (AF): En cualquiera de los tres estados de desarrollo, se presentó un efecto negativo sobre el AF ($P \leq 0.01$), a partir de seis horas de inundación, tal como se indica en la tabla 1; probablemente, las plantas sometidas a estrés por inundación enviaron señales tempranas desde la raíz hasta el dosel, para inducir el cierre estomático y, de esta forma, el intercambio gaseoso es interrumpido y las tasas de producción de biomasa tienden a disminuir. Al afectarse la asimilación de carbono –por causa de la hipoxia–, la reducción en la expansión del área foliar representa para la

planta una estrategia para ahorrar energía, posiblemente, reduciendo la respiración para mantener su metabolismo tan bajo, como sea posible.

La reducción del AF bajo condiciones de hipoxia por inundación ha sido documentadas en fique, *Furcraea castilla* y *F. macrophylla* (Casierra & Gómez, 2008); en fresa, *Fragaria* sp. (Casierra & Vargas, 2007); en aguacate, *Persea americana* (Besoain *et al.* 2005); en sorgo, *Sorghum bicolor* (Promkhambut *et al.* 2010); en maíz, *Zea mays* (Odiyi, 2013) y en otras especies (Mielke & Schaffer, 2010). La inundación afecta adversamente la formación y la expansión de las hojas, por lo que se induce senescencia prematura de estas, lo cual, se traduce en una inhibición en el crecimiento del dosel, debido, quizás, a reducciones en la extensibilidad de las paredes celulares o por acumulación de sustancias tóxicas en las hojas, como el etanol.

Número de hojas por planta (NH): Plantas inundadas por seis horas o más mostraron una reducción significativa ($p < 0.05$) en el NH en floración y en post-floración (Tabla 1). La abscisión, probablemente, fue causada por una senescencia prematura de las mismas o una baja tasa de iniciación de foliolos, tal como lo proponen Stewart *et al.* (2010), en *Populus angustifolia* y Kissmann *et al.* (2014), en *Styrax pohlii*; estos últimos autores encontraron reducción del número de hojas y del área foliar después 100 días de inundadas las plantas.

Casierra & Vargas (2007) señalan que la abscisión y la senescencia prematura de hojas, causadas por la inundación, se fundamenta en desórdenes hormonales y restricción en la disponibilidad de ATP y agua. Aunque las hormonas no fueron cuantificadas es probable que la reducción en el NH de plantas de stevia inundadas sea una consecuencia de un desbalance hormonal, que estaría dado, principalmente, por una reducción en la síntesis de giberelinas y citoquininas, como lo propone López (2009) y aumentos en la concen-

Tabla 1. Área foliar y número de hojas de *Stevia rebaudiana* Bertoni, sometida a diferentes períodos de inundación, en tres estados fenológicos de desarrollo (Pre-fl=pre floración; Flor=floración; Post-fl=post floración).

Inundación (h)	Área foliar/planta (cm^2)			Número de hojas/planta		
	Pre-fl	Flor	Post-fl	Pre-fl	Flor	Post-fl
0	256,3 a	293,0 a	145,0 a	155,7 a	158,2 a	185,3 a
6	198,5 b	157,7 b	133,0 b	152,8 a	113,2 b	155,3 ab
12	135,1 b	134,3 b	124,0 b	151,1 a	111,7 b	127,5 b
24	115,6 c	57,8 c	77,3 c	136,5 a	109 b	132,8 b
C.V. (%)	20,8	15,5	15,8	15,0	22,8	15,9

Promedios con la misma letra en una columna son iguales estadísticamente, de acuerdo al test protegido de Tukey (0,05).

tración de ácido abscísico (ABA), auxinas y etileno. Está documentado que, bajo condiciones de hipoxia, en la raíz se favorece la síntesis de SAM (S-Adenilato-Metionina) y su paso a ACC (Ácido aminociclopropano-1-carboxílico); que al ascender vía xilema, en presencia de oxígeno, se transforma en etileno, hormona que, junto con el ABA, causan abscisión de estructuras en el dosel.

Masa seca total por planta (MS_T): No se detectaron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) de la MS_T por planta entre plantas inundadas y no inundadas en pre-floración y floración (2,5 y 4,2g, respectivamente); sin embargo, contrariamente a lo advertido en los dos primeros estados, en post-floración, se observó un efecto significativo ($p < 0.05$), que indicó una reducción del 21% de la MS_T de las plantas inundadas, respecto al control. Es importante acotar que la reducción de la MS_T estaría explicada por los descensos en la masa seca del dosel (44,0%) y no de la raíz, en la que se percibió un aumento de un 39% al someterse a estrés por inundación (Tabla 2).

Kissmann *et al.* (2014) reportaron que las condiciones de inundación en *Styrax pohlii* antes de 50 días no causaron efecto sobre el número de hojas, el área foliar y la biomasa total de la planta, aunque estas diferencias sí fueron evidentes después de 100 días de inundación; es probable, que la condición observada en stevia para la MS_T, no varíe posteriormente, como lo proponen los autores para *S. pohlii*, ya que, como se mencionó, los porcentajes de mortalidad fueron tan altos, que indican la alta susceptibilidad de la especie a la inundación después de 24 horas.

Stevia es una especie semi-perenne, cuya raíz es pivotante, filiforme y no profundiza, distribuyéndose cerca de la superficie. A diferencia de la stevia, que se comportaría

como especie susceptible, muchos árboles tropicales son tolerantes a suelos inundables, en los que se incluyen *Tabebuia avellanedae* (Davanzo *et al.* 2002) y *Erythrina speciosa*; probablemente en estas especies, se realiza una baja actividad metabólica, bajo condiciones de escasez de oxígeno en el suelo, como consecuencia de una baja tasa de producción de energía, al restringirse la síntesis de ATP (Medina *et al.* 2009).

Relación masa seca raíz / masa seca dosel (MS_R/MS_D): En pre-floración y en floración la relación MS_R/MS_D no mostró variación estadística significativa entre plantas inundadas y no inundadas ($p > 0.05$), aunque este efecto sí fue evidente en post-floración (Figura 1). Esta relación acusó valores bajos en las plantas no estresadas ($0,42 \pm 0,03EE$; $n=10$), en tanto, que en cualquiera de los niveles de estrés por inundación, la relación se mantuvo alta y constante ($1,52 \pm 0,11EE$; $n=10$), lo que sugiere que en stevia existe una re-distribución de biomasa entre la raíz y el dosel, a partir de seis horas de inundación.

Las plantas inundadas ubicaron mayor biomasa en la raíz, como mecanismo de defensa al prolongar su sistema de exploración en busca de oxígeno, formando, rápidamente, raíces adventicias u otros órganos y este rápido crecimiento, se efectúa a expensas de los asimilados, que deberían ir normalmente al dosel, donde se observaron decrecimientos, bajo condiciones de inundación (Tabla 2).

Resultados contrastantes en tomate han sido reportados por Baracaldo *et al.* (2014), quienes informaron que, bajo condiciones de anoxia, las plantas redujeron significativamente la biomasa de la raíz, a partir de ocho días de inundación; por su parte, Casierra & Vargas (2007), en estudios con tres genotipos de fresa, encontraron

Tabla 2. Masa seca de raíz, dosel (hojas + tallo) y total de *Stevia rebaudiana* Bertoni, sometida a diferentes períodos de inundación, en post-floración. Medias \pm Error Estándar, $n=10$.

Inundación (h)	Masa Seca (g)		
	Raíz (MS _R)	Dosel (MS _D)	Total (MS _T)
0	1,52 \pm 0,12 a	3,62 \pm 0,30 a	5,14 \pm 0,40 a
6	2,70 \pm 0,20 b	1,75 \pm 0,27 b	4,45 \pm 0,44 b
12	2,26 \pm 0,24 b	1,49 \pm 0,07 b	3,75 \pm 0,31 b
24	2,40 \pm 0,27 b	1,62 \pm 0,25 b	4,02 \pm 0,52 b
C.V. (%)	21,3	13,2	14,7

Promedios con la misma letra en una columna son iguales estadísticamente, de acuerdo al test protegido de Tukey (0,05).

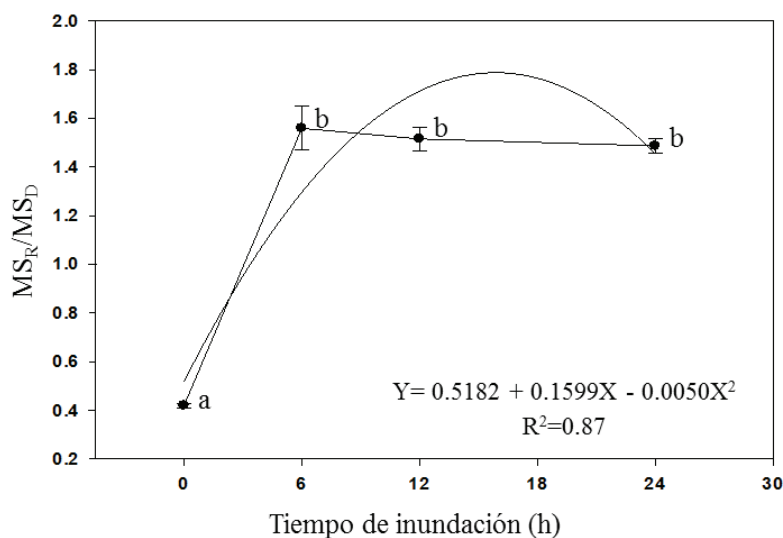


Figura 1. Relación masa seca de raíz y masa seca del dosel (MS_R/MS_D) de *Stevia rebaudiana* Bertonii, sometida a diferentes períodos de inundación, en post-floración. Promedios con la misma letra son iguales estadísticamente, de acuerdo al test protegido de Tukey (0,05).

aumentos en la biomasa de raíz, aunque no en el total de la planta, argumentando que esta condición fue debida a la disminución del crecimiento de órganos aéreos y emisión de raíces adventicias en el cuello del raíz.

Diversos autores han reportado una re-distribución de biomasa en especies susceptibles a encharcamiento, creciente hacia las raíces y decreciente hacia el dosel (Hough-Sneea *et al.* 2014; Kissmann *et al.* 2014); lo anterior, generalmente, es debido a la formación de nuevas raíces adventicias, lenticelas y espacios intercelulares estrechos, así como el efecto negativo sobre el crecimiento de la parte aérea, mediante la inhibición de la formación de nuevas hojas, la expansión foliar y el crecimiento de entrenudos (Baracaldo *et al.* 2014). Esto es una consecuencia de la privación de O_2 , que afecta las tasas de intercambio de gases, las relaciones hídricas, el equilibrio nutricional y hormonal y la partición del carbono, con efectos marcados sobre el crecimiento y la supervivencia de muchas especies.

Atkinson *et al.* (2008) indicaron que, bajo inundación, los productos de la ruta fermentativa acetaldehído y etanol, pueden ser volatilizados, a través de lenticelas o transportados a las hojas vía corriente transpiratoria; con estas condiciones, el etanol en las hojas puede ser convertido a Acetil-CoA y usado en el metabolismo del carbono. En ese sentido, Mielke & Schaffer, (2010), trabajando con *Eugenia uniflora* L., a pesar de no haber observado lenticelas en las plantas

inundadas, sugieren que los bajos rendimientos de biomasa del dosel y la alta relación MS_R/MS_D , se pudieron deber a una excesiva acumulación de acetaldehído y de etanol, como una consecuencia del desbalance, en dicha relación, asociada con la baja capacidad del dosel, para liberar estos compuestos tóxicos.

Corrêa de Souza *et al.* (2013), en trabajo con plantas inundadas y no inundadas de *Garcinia brasiliensis* (Mart.), encontraron reducciones significativas en la masa seca de raíz (36%), de hojas (44%) y de dosel (35%), aunque no detectaron diferencias en la masa seca del tallo ni en la relación masa seca de raíz/dosel, evidenciando que esta relación se mantuvo a expensas de crecimientos diferenciados de los órganos involucrados. Lo anterior, es contrario a lo observado en la presente investigación y confirma la diversidad de respuestas entre especies ante condiciones de hipoxia, tal como lo reportan Hernández *et al.* (2010). Estos autores informaron que los resultados en *G. brasiliensis* pueden estar explicados por la menor cantidad de raíces de diámetro fino y de longitud larga, que son altamente sensibles a la hipoxia y a la presencia de lenticelas hiper-atrofiadas en la base del tallo que, probablemente, contribuyeron a la ventilación de las raíces.

Del presente estudio, se concluye que, bajo condiciones de inundación entre 6 y 24 horas, se observa una reducción del área foliar de las plantas de stevia, en cualquier estado

fenológico, debido a una pérdida significativa en su número de hojas, probablemente, inducidos por cambios hormonales y bioquímicos, que derivan en marchitamiento, en necrosis, en senescencia prematura y en abscisión. Por otra parte, en post-floración, la masa seca de las raíces aumenta en condiciones de inundación, al parecer, a expensas de la biomasa del dosel que decrece, lo que demuestra una rápida re-distribución de asimilados, como mecanismo espacio-temporal de defensa.

Además, se puede inferir que *Stevia rebaudiana* registra altos índices de mortalidad después de 24 horas de inundación, lo que la ubicaría en el grupo de especies altamente susceptibles, a condiciones de hipoxia en el suelo; sin embargo, la especie podría presentar algunos mecanismos de defensa temprana (24 horas), los cuales, se hacen más evidentes en estado de post-floración, aunque se debe demostrar. Con base en ello, los cultivadores de esta especie deben tomar medidas de precaución o corrección, para evitar que el cultivo permanezca por más de 6 horas en condiciones de inundación, por lo que se deben realizar drenajes inmediatos, antes de este tiempo.

Agradecimientos: Los autores agradecen a los Ingenieros Agrónomos William A. Romero, Francisco Peña, Dairo Pérez y José Villalba y a los auxiliares del Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba. **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. ATKINSON, C.; HARRISON-MURRAY, R.; TAYLOR, J. 2008. Rapid flood-induced stomatal closure accompanies xylem sap transportation of root-derived acetaldehyde and ethanol in Forsythia. *Environ. Exp. Bot.* 64:196-205.
2. BARACALDO, A.; CARVAJAL, R.; ROMERO, P.; PRIETO, A.; GARCÍA, F.; FISCHER, G.; MIRANDA, D. 2014. El anegamiento afecta el crecimiento y producción de biomasa en tomate chonto (*Solanum lycopersicum* L.), cultivado bajo sombrero. *Rev. Col. Cienc. Hort.* 8(1):91-102.
3. BENZ, B.; RHODE, J.; CRUZAN, M. 2007. Aerenchyma development and elevated alcohol dehydrogenase activity as alternative responses to Hypoxic soils in the *Piriqueta caroliniana* complex. *Am. J. Bot.* 94(4):542-550.
4. BESOAIN, X.; ARENAS, C.; SALGADO, E.; LATORRE, B. 2005. Effect of soil flooding period on the development of avocado (*Persea americana*) root rot caused by *Phytophthora cinnamomi*. *Cien. Inv. Agr.* 32(2):79-84.
5. CASIERRA-POSADA, F.; GÓMEZ, N. 2008. Crecimiento foliar y radical en plantas de fique (*Furcraea castilla* y *F. macrophylla*) bajo estrés por encharcamiento. *Agr. Col.* 26(3):381-388.
6. CASIERRA-POSADA, F.; VARGAS, Y. 2007. Crecimiento y producción de fruta en cultivares de fresa (*Fragaria* sp.) afectados por encharcamiento. *Rev. Colomb. Cienc. Hort.* 1(1):21-32.
7. CEUNEN, S.; WERBROUCK, S.; GEUNS, J. 2012. Stimulation of steviol glycoside accumulation in *Stevia rebaudiana* by red LED Light. *J. Plant Physiol.* 169:749-752.
8. CORRÊA DE SOUZA, T.; SOUZA, E.; DOUSSEAU, S.; DE CASTRO E.; MAGALHÃES, P. 2013. Seedlings of *Garcinia brasiliensis* (Clusiaceae) subjected to root flooding: Physiological, morpho-anatomical, and antioxidant responses to the stress. *Aquatic Botany* 111:43-49.
9. DAVANSO, V.; SOUZA, L.; MEDRI, M.; PIMENTA, J.; BIANCHINI, E. 2002. Photosynthesis, growth and development of *Tabebuia avellanedae* Lor. exGriseb. (Bignoniaceae) in flooded soil. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 45:375-384.
10. HERNÁNDEZ, R.; RADA, F.; SILVA, R. 2010. Crecimiento y desarrollo en plantas juveniles de apamate (*Tabebuia rosea* (Bertol.) A. Dc.) sometidas a inundación. *Pittieria.* 34:113-126.
11. HERRERA, A.; TEZARA, W.; MARIN, O.; RENGIFO, E. 2008. Stomatal and non-stomata limitations of photosynthesis in trees of a tropical seasonally flooded forest. *Physiol. Plant.* 134:41-48.
12. HITESH, K.; KIRAN, K.; SUPHLA, B.; VIJAY, K.; SANJAY, K. 2013. A comprehensive analysis of fifteen genes of steviol glycosides biosynthesis pathway in *Stevia rebaudiana* (Bertoni). *Gene.* 492:276-284.
13. HORCHANI, F.; ALOUI, A.; BROUQUISSE, R.; ASCHISMITI, S. 2008. Physiological responses of tomato plants (*Solanum lycopersicum*) as affected by root hypoxia. *J. Agron. Crop Sci.* 197:297-303.

14. HOUGH-SNEEA, N.; NACKLEYA, L.L.; KIMA, S.; EWINGA, K. 2014. Does plant performance under stress explain divergent life history strategies? The effects of flooding and nutrient stress on two wetland sedges. *Aquat. Bot.* (2014) Disponible desde Internet en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2014.03.001> (con acceso 17/02/2015).
15. JARMA-OROZCO, A. 2008. Estudios de adaptación y manejo integrado de estevia (*Stevia rebaudiana* Bert.): nueva alternativa agroindustrial del Caribe colombiano. Una revisión. *Rev. Col. Sc. Hort.* 2(1):109-120.
16. JIMÉNEZ, J.; MORENO, L.; MAGNITSKIY, S. 2012. Respuesta de las plantas a estrés por inundación. Una revisión. *Rev. Col. Cienc. Hort.* 6(1):96-109.
17. KARUPPANAPANDIAN, T.; MOON, J.; KIM, C.; MANOHARAN, K.; KIM, W. 2011. Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms. *Aust. J. Crop Sci.* 5:709-725.
18. KISSMANN, C.; BORGES, E.; TERUIYA, M.; HABERMANN, G. 2014. Morphological effects of flooding on *Styrax pohlii* and the dynamics of physiological responses during flooding and post-flooding conditions. *Aquatic Botany.* 119:7-14.
19. LÓPEZ, O. 2009. Fisiología y ecología de comunidades arbóreas en hábitats inundables. *Acta Biol. Panam.* 1:68-86.
20. MAGEE, T.; KENTULA, M. 2005. Response of wetland plant species to hydrologic conditions. *Wetlands Ecol. Managem.* 13:163-181.
21. MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B.; JOVER, S.; QUIÑONES, A.; FORNER-GINER, M.; RODRÍGUEZ-GAMIR, J.; LEGAZ, F.; PRIMO-MILLO, E.; IGLESIAS, D. 2012. Flooding affects uptake and distribution of carbon and nitrogen in citrus seedlings. *J. Plant Physiol.* 169:1150-1157.
22. MEDINA, C.; SANCHES, M.; TUCCI, M.; SOUSA, C.; CUZZUOL, G.; JOLY, C. 2009. *Erythrina speciosa* (Leguminosae-Papilionoideae) under soil water saturation: morphophysiological and growth responses. *Ann. Bot.* 104:671-680.
23. MIELKE, M.; MATOS, E.; COUITO, V.; DE ALMEIDA, A.; GOMES, F.; OLIVEIRA, M. 2005. Algumas respostas fotossintéticas e do crescimento de plântulas de *Annona glabra* L. ao alagamento do solo. *Acta Bot. Bras.* 19(4):905-911.
24. MIELKE, M.; SCHAFFER, B. 2010. Effects of soil flooding and changes in light intensity on photosynthesis of *Eugenia uniflora* L. seedlings. *Acta Physiol Plant* (2011) 33:1661-1668.
25. ODIYI, B. 2013. The effects of flooding and drought stress on the growth of maize (*Zea mays*L.) seedlings. *J. Biol.FoodSci. Res.* 2(3):30-32.
26. PALENCIA, G.; MERCADO, T.; COMBATT, E. 2006. Estudio Agroclimático del Departamento de Córdoba. Universidad de Córdoba, Colombia. 126p.
27. PROMKHAMBUT, A.; YOUNGER, A.; POLTHANEE, A.; AKKASAENG, C. 2010. Morphological and physiological responses of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to waterlogging. *Asian J. Plant Sci.* 9(4):183-193.
28. STEWART, R.; NIELSEN, J.; SHENTON, L.; KM, G.; LETTS, M. 2010. Effects of flooding on leaf development, transpiration, and photosynthesis in narrow leaf cottonwood, a willow-like poplar. *Photosynth. Res.* 104:31-39.
29. WOOD, S.; SEBASTIAN, K.; SCHERR, S. 2000. Soil resource condition. En: Wood, S.; Sebastian, K.; Scherr, S (Eds). Pilot analysis of global ecosystems: Agroecosystems. International Food Policy Research Institute and World Resources Institute. Washington D.C. p.45-54.
30. YAMAUCHI, T.; SHIMAMURA, S.; NAKAZONO, M.; MOCHIZUKI, T. 2013. Aerenchyma formation in crop species: A review. *Field Crops Res.* 152:8-16.

Recibido: Abril 1 de 2015

Aceptado: Octubre 16 de 2015

Cómo citar:

Jarma-Orozco, A.; Mercado-Fernández, T., Cleves-Leguizamo, J.A. 2015. Efecto de la inundación sobre parámetros de crecimiento de stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 393-399.

SEROEPIDEMIOLOGÍA DE HEMBRAS BOVINAS NATURALMENTE INFECTADAS POR *Neospora caninum* EN CÓRDOBA, COLOMBIA

SEROEPIDEMIOLOGY OF FEMALE COWS NATURALLY INFECTED WITH *Neospora caninum* IN CORDOBA, COLOMBIA

José A. Cardona¹, Yordan Martínez², César A. Betancur³

¹ MVZ, Esp, M.Sc, Ph.D., profesor titular Medicina y Clínica de Grandes Animales, Semillero de Estudios e Investigaciones en Medicina de Grandes Animales, Grupo de Investigación MEGA, Departamento de Ciencias Pecuarias. Universidad de Córdoba, AA 354, Montería, Colombia, e-mail: cardonalvarez@hotmail.com; ² MVZ. Ph.D., Centro de Estudios de Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria. Universidad de Granma, Aptado, 21 Granma. Bayamo CP: 85100, Cuba, e-mail: ymartineza@udg.co.cu; ³ MVZ, M.Sc., profesor asociado de Fisiología y Enfermedades Infecciosas, Semillero de Estudios e Investigaciones en Fisiología Animal Fisiolab. Universidad de Córdoba, Departamento de Ciencias Pecuarias, AA 354, Montería, Colombia, e-mail: cbetanci@yahoo.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 401-408, Julio-Diciembre, 2015

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue contribuir al conocimiento de la seroepidemiología de *Neospora caninum* y determinar los niveles de sarcocystina en bovinos, con alteraciones reproductivas. Se evaluaron 162 sueros de bovinos y 28 sueros de caninos, procedentes de 28 fincas, localizadas en el municipio de Montería, mediante ELISA. Se realizó un análisis descriptivo de la información obtenida de cada animal; los resultados, se interpretaron de acuerdo a las variables localización del predio, edad, tipo de sistema productivo, historia de abortos o repetición de servicios, sexo, presencia de caninos y niveles de sarcocystina. Para el cálculo del tamaño de muestras, se utilizó el programa EPIDAT 3.1 y para el análisis de los datos, el test de Chi cuadrado, utilizando el paquete estadístico SPSS versión 16 para Windows de 2008. La seroprevalencia para *N. caninum* obtenida fue de 74,7%; no se presentó asociación estadística entre las diversas variables estudiadas y la seropositividad al protozoario ($p > 0,05$). Se confirma la evidencia de circulación antigénica de *N. caninum* en las ganaderías bovinas de Montería, Córdoba (Colombia), por lo que se hace necesario implementar programas de control y de prevención de diseminación de la infección.

Palabras clave: *Neospora caninum*, reproducción, seroepidemiología, neosporosis.

SUMMARY

The aim of the work was to contribute to the knowledge of the seroepidemiology of *Neospora caninum* and to evaluate sarcocystine levels in animals with reproductive failures in Montería, Córdoba, Colombia. A total of 162 serum samples of cows and 28 canines belonging to 28 farms distributed in the municipality of Montería were evaluated using the indirect ELISA test to determine *N. caninum* seropositivity. A program EPIDAT 3.1 was carried out to calculate the size of the samples and the data were processed through a chi Square test using SPSS 19 program, results were interpreted according to the variables: zone, age, type of exploitation, and the event or reproductive problem detected, sex, presence of canines and sarcocystine levels. The estimated prevalence of *N. caninum* in cows was 74.7%. No significant associations ($P > 0.05$) were observed between the variables studied and seropositivity to protozoan. The results obtained to confirm the evidence of the circulation antigenic of *N. caninum* again in the cattle from Montería, Córdoba (Colombia) which it is necessary to implement a control program and prevention of dissemination of infection.

Key words: *Neospora caninum*, reproduction, seroepidemiology, neosporosis.

INTRODUCCIÓN

La neosporosis bovina es una enfermedad emergente que causa pérdidas económicas a las ganaderías, debido al

impacto negativo sobre el desempeño reproductivo de los rebaños, produciendo abortos, mortalidad neonatal y el nacimiento de crías con deficiencias neuromusculares, en bovinos en todo el mundo (Dubey *et al.* 2006). Es causada por *Neospora caninum*, un protozoo intracelular obligado, perteneciente a la familia Sarcocystidae, phylum Apicomplexa, estrechamente relacionado con *Toxoplasma gondii* (Dubey, 2003).

La diferencia en el manejo de ganado de leche y ganado de carne puede explicar la alta prevalencia de neosporosis, en el primero, como consecuencia del recrudescimiento de la infección latente, debido a la inmunodepresión generada por la gestación, el manejo y la lactación (Moore, 2004).

Las rutas de transmisión de *N. caninum* en el ganado incluyen la transmisión vertical y la transmisión horizontal (Trees & Williams, 2005; Ortega-Mora *et al.* 2006). La primera es reconocida como la principal ruta para mantener la infección en el ganado, por lo que los becerros son infectados vía transplacentaria en madres, crónicamente infectadas (Dubey *et al.* 2006; 2007). La transmisión horizontal ha sido asociada con la presencia de perros en las fincas, ya que el perro y el coyote han sido descritos como huéspedes definitivos de *N. caninum*, donde el estado sexual del protozoo se desarrolla en el intestino, formando ooquistes, que se eliminan en las heces y, con ello, contaminar agua de bebida y alimentos (Dubey *et al.* 2007); sin embargo, la neosporosis es definida como una enfermedad parasitaria, que afecta caninos, bovinos, ovinos, caprinos, búfalos, ciervos y equinos, causada por *N. caninum* (Dubey, 1999a). Equinos, caprinos, ovinos, ciervos, búfalos e, inclusive caninos, se pueden comportar como hospederos intermediarios (Dubey, 1999b).

Al parecer existe relación entre bovinos y perros criados en los establos (Del Campo *et al.* 2003), siendo mayor la infección en caninos de las zonas rurales, que aquella descrita para perros, en áreas urbanas, debido a la mayor excreción de ooquistes en las heces, por lo que el riesgo de contaminar el agua de bebida y alimentos, es mayor (Moore *et al.* 2001).

Aunque Dubey *et al.* (2006) consideran que la transmisión sexual de la enfermedad tiene muy poca importancia, el rol epidemiológico de los toros en la neosporosis bovina es desconocido y su riesgo de transmisión debe ser investigado.

Los quistes parasitarios de *N. caninum* durante la infección, que se desarrollan en el hospedero intermediario varían considerablemente, dependiendo de la especie, de los hospederos y de la edad de los quistes. El quiste consiste en un cuerpo cilíndrico alargado o fusiforme y con apariencia hialina, que reciben el nombre de túbulos de Miescher y se encuentran encerrados por una membrana, que contiene

millares de esporas redondeadas, ovals o en forma de hoz, conocidas como cuerpos de Rainey, que están suspendidos en un líquido compuesto, principalmente, por toxina del parásito, llamada sarcocystina, que es liberada al romperse el quiste.

Esta toxina presenta una actividad neurotóxica, a nivel de músculo cardíaco y tejido nervioso, y altera las membranas celulares, mostrando una excesiva captación de agua y liberando mediadores inflamatorios, que producen hipertermia, pudiendo ser letal, además de causar desórdenes generales en los animales afectados y que puede conllevar a pérdidas en la explotación ganadera, por la disminución en la producción o productividad (Azumendi *et al.* 1995)

En Suramérica, la enfermedad ha sido diagnosticada en países, como Argentina (Campero *et al.* 1998; Venturini *et al.* 1999; Moore *et al.* 2002; 2003), Brasil (Guedes *et al.* 2008; Moura *et al.* 2012), Chile (Patitucci *et al.* 2000), Perú (Silva *et al.* 2002; Granados *et al.* 2014), Venezuela (García & Lista, 2005; Obando *et al.* 2010; Suárez & Maldonado, 2012) y Colombia (Zambrano *et al.* 2001; López *et al.* 2007; Oviedo *et al.* 2007).

El objetivo de este estudio fue establecer la seroprevalencia de *N. caninum* en bovinos naturalmente infectados, con alteraciones reproductivas, determinar si existe asociación entre la seroreactividad con la edad, tipo de explotación, sexo y niveles de sarcocystina y si existen otros factores de riesgo, como presencia de perros en las fincas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en el departamento de Córdoba, Colombia, ubicado entre las coordenadas 7° 23' y 9° 26' de latitud Norte y los 74° 52' y 76° 32' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich, a una altura de 30 msnm, con temperatura promedio anual de 28°C, humedad relativa del 82 %, precipitación media anual de 1.400mm y pertenece a la formación climática de bosque tropical lluvioso. Se presentan dos estaciones bien definidas (época de lluvia y época seca) (Pabón *et al.* 2001).

La investigación propuesta correspondió a un estudio epidemiológico de tipo descriptivo transversal. Para el cálculo del tamaño de muestras, se utilizó el programa EPIDAT 3.1, asumiendo una frecuencia esperada de seropositivos del 12%, un error del 5%, un nivel de confianza del 95% y una población infinita. El tamaño de la muestra fue determinado por un muestreo al azar, basado en la población bovina de 178.320 hembras bovinas, entre dos y siete años, existente al momento del estudio (ICA-Fedegan, 2012), con peso promedio de 380±50kg y buena condición corporal. En total, se obtuvieron 162 muestras de sangre de bovinos,

siendo 28 toros y 134 vacas y 28 caninos, provenientes de 28 fincas, incluidas, donde el 32,1% están dedicadas a la producción de ganado de carne y las restantes 67,9% fueron sistemas productivos de doble propósito, que estuvieron localizadas en los cuatro puntos cardinales del municipio de Montería, Córdoba (Colombia).

Para la selección de los predios, se tuvo en cuenta la historia de alteraciones reproductivas en hembras bovinas de doble propósito, entre dos y siete años de edad, evidenciadas en abortos y en repetición de servicios, tomando como parámetro, más de tres servicios sin gestación; en todos los casos, se obtuvo el consentimiento informado de los propietarios o administradores para coleccionar las muestras de sangre de los animales. En cada finca, se coleccionó muestra de entre cuatro y cinco hembras bovinas, un toro y un canino. En el caso de las hembras, se obtuvo información referente a identificación del animal, edad, raza, tipo de explotación y estado reproductivo.

Previo desinfección del área y sujeción adecuada del animal, se obtuvieron 10mL de sangre por punción de la vena coccígea media, en bovinos y cefálica, en caninos, con agujas de 22G y tubos tipo vacutainer sin anticoagulante (Becton Dickinson and Company, Colombia); estas muestras fueron centrifugadas (1.500 rpm durante cinco minutos) (Combi 408, Hanil, Japón), con el fin de obtener el suero y almacenadas en nevera, a -20°C. Las muestras fueron procesadas en el laboratorio veterinario FUNCEP de Bogotá, mediante la técnica de ELISA, utilizando el kit anti-*Neospora*, de laboratorios Idexx Herdchek (Westbrook, USA).

A cada muestra de sangre, se le determinó, también mediante la técnica de ELISA, la concentración de sarcocystina, expresada en UI/L (Pulido *et al.* 2009). El resultado fue interpretado por el desarrollo de un color azul, el cual, fue observado en un fotómetro (Genesys 10S UV VIS, China), a una densidad óptica de 450nm y su valoración, se hizo teniendo en cuenta los cocientes S/P (suero muestra positivo), donde los valores menores que 0,50, se clasificaron como negativos y los iguales o mayores a 0,50, como positivos (Pulido *et al.* 2009).

Para el análisis de los datos, se utilizó el coeficiente de contingencia de Pearson, que utiliza la distribución χ^2 , para determinar posibles asociaciones. Para la obtención de resultados de las distintas variables, se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 19 (SPSS Inc, 2007).

Los animales no se sometieron a dolor o estrés innecesario, por lo que fueron inmovilizados, tomando en cuenta las normas técnicas en el manejo y sujeción de animales, enmarcado en el cumplimiento de la Declaración Universal de los Derechos de los Animales, referente a los principios

éticos internacionales para la investigación biomédica con animales del CIOMS (Council for International Organizations of Medical Sciences), establecida por la UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) y la OMS (Organización Mundial de la Salud), en 1949 y de la Ley 84 de Octubre 27 de 1989 (Estatuto Colombiano de Protección Animal) (Mrad, 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La prevalencia para *N. caninum*, en el municipio de Montería, fue de 74,7%. Es así, como Zambrano *et al.* (2001) reportaron la presencia de anticuerpos contra *N. caninum*, en 54,1% de vacas, con antecedentes abortivos, procedentes de la sabana de Bogotá, de Nariño y de algunas fincas de clima cálido. Del mismo modo, estudios realizados en vacas con antecedentes de trastornos reproductivos en Montería, demostraron la presencia de anticuerpos compatibles, en el 10,2% de los animales estudiados (Oviedo *et al.* 2007); asimismo, López *et al.* (2007) evidenciaron la presencia de *N. caninum*, en el 34,6% de los bovinos muestreados en el municipio de Fredonia, Antioquia. Esta diferencia podría ser explicada por una exposición, a través de los años, al contacto con animales infectados y que se podría considerar como un buen indicador de exposición natural de los bovinos, a *N. caninum* (Davison *et al.* 1999).

El patrón endémico es la forma más frecuente de los abortos causados por neosporosis y se presenta en hatos, donde el parásito se transmite, principalmente, de modo vertical. En los rebaños con aborto endémico, se ha observado una marcada correlación entre la seropositividad de las madres y la progenie, con una distribución igual de los animales seropositivos, en los diferentes grupos de edad (Dijkstra *et al.* 2001; Schares *et al.* 2002), mientras que el patrón de aborto epidémico, se ha asociado con una infección reciente y la transmisión postnatal del parásito, evidenciado por la falta de asociación entre la seropositividad de las madres y la descendencia y la presencia de IgG anti-*N. caninum* de baja avidéz en los animales abortados (Wouda *et al.* 1999a; McAllister *et al.* 2000).

Con respecto a la ubicación de las fincas en los cuatro puntos cardinales del municipio, se puede observar en la tabla 1, que hubo una menor frecuencia de animales seropositivos en las fincas localizadas en la zona norte (63,41%) versus oriente (80,49%), sur (77,50%) y occidente (78,05%); sin embargo, no hubo diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$), en la frecuencia de seropositividad y la zona geográfica.

La menor frecuencia de animales seropositivos en las fincas localizadas en la zona norte (63,41%) puede ser explicada por la menor movilización de ganado en esta área. Las zonas evaluadas en el presente estudio no tuvieron

Tabla 1. Seropositividad a *N. caninum* y nivel de sarcocystina en bovinos, de cuatro zonas del municipio de Montería.

Ítems	Ubicación			
	Norte	Este	Sur	Oeste
Seroprevalencia (%) (B)	63,41 (34/162)	80,49 (35/162)	77,50 (52/162)	78,05 (41/162)
Nivel de sarcocystina (B) UI/L	127,37	143,66	160,10	133,54

B: bovinos

mayores diferencias climáticas, pero se tiene evidencia que las temperaturas ambientales elevadas son factor predisponente para la infección, así como el estrés térmico y el manejo inadecuado (Wouda *et al.* 1999b). Habría que considerar aspectos de manejo intrínsecos para el control de la enfermedad, tales como la eliminación de placentas, que puedan infectar al hospedero definitivo, la limitación del acceso de los perros al alimento del ganado, así como el libre tránsito de animales, que pudieran ser portadores de la enfermedad. En este estudio, la edad no fue un factor de riesgo de importancia en la presentación de la enfermedad,

lo que concuerda con Patitucci *et al.* (1999), quienes expresan que las vacas de cualquier edad son susceptibles de neosporosis.

Se determinó una mayor frecuencia de infección en animales doble propósito en comparación con el ganado de carne; no obstante, la asociación de los resultados no reveló diferencias estadísticas significativas en la variable tipo de explotación con *N. caninum* ($X^2:0,507$, $p \geq 0,05$), como se puede evidenciar en la tabla 2.

Tabla 2. Seropositividad a *N. caninum* y nivel de sarcocystina en bovinos, del municipio de Montería, según el propósito productivo.

Indicadores	Doble propósito	Carne
Seroprevalencia (%)	80,00 (52/162)	71,70 (110/162)
Nivel de sarcocystina UI/L	143,06	136,87

La mayor frecuencia de infección en animales doble propósito, en comparación con el ganado de carne, podría ser explicada por mayores densidades de población en las primeras, lo que favorece la diseminación de la enfermedad, debida a las condiciones de estrés ocasionadas por este tipo de manejo, aunque no hubo asociación entre la presentación de *N. caninum* en relación con el propósito zootécnico o el tipo de explotación, además, de que existen evidencias de que la neosporosis en ganado de carne es mucho más baja, que en ganado de leche (Moore *et al.* 2001).

En la tabla 3, se observa que la seroprevalencia y el nivel de sarcocystina en vacas, tanto repetidoras como en las que presentaron aborto, no mostraron diferencias estadísticas significativas; no obstante, se debe destacar que la seroprevalencia fue mayor en vacas con aborto, debido a que existe una relación directa entre los niveles de toxina en sangre y desórdenes generales en los caninos, que actúan como huésped definitivo del parásito (Pulido *et al.* 2009).

Tabla 3. Seropositividad a *N. caninum* y nivel de sarcocystina en hembras bovinas, del municipio de Montería, según el estado reproductivo.

Indicadores	Aborto	Repetidoras
Seroprevalencia (%)	71,2 (52/73)	77 (47/61)
Nivel de sarcocystina UI/L	141,02	151,88

El 45,1% (73/134) hembras bovinas, registraron historia de aborto, donde el 71,2% (52/73) fueron positivas a *N. caninum*; entre tanto, el 37,7% (61/134) de las hembras del estudio, se reportaron con repetición de servicios, de las cuales, el 77% (47/61) presentaron seropositividad al parásito. Se debe tener en cuenta que las repeticiones de servicio pueden ser a la interrupción de la gestación o porque no hubo fecundación. Se desconoce si *N. caninum* ocasiona pérdidas tempranas de preñez; sin embargo, sí se ha reportado la presencia de abortos en el ganado infectado con *N. caninum* (Hoar *et al.* 1996; Williams *et al.* 1997; Waldner *et al.* 1998).

En cuanto al feto, puede morir en el útero, momificado, autolisado, nacer muerto, nacer vivo y morir inmediatamente o nacer clínicamente normal, pero crónicamente infectado (Daft *et al.* 1996; Zambrano *et al.* 2001). Baillargeon *et al.* (2001) y Landmann *et al.* (2002) demostraron que embriones de donantes positivas, cuando se transfiere a los receptores negativos, el ciclo de la infección congénita se rompe, pero cuando las receptoras son positivas, el feto se infecta, independientemente de la condición de las donantes.

La monta natural fue una práctica común en esta región, que llega a ser un factor de riesgo. La alta seropositividad a anticuerpos de *N. caninum* en los toros, 78,6% (22/28), podría ser explicada por un mayor número de contactos sexuales con hembras seropositivas (Björkman *et al.* 2000); asimismo, Ortega-Mora *et al.* (2003) expresaron que la transmisión venérea del parásito podría ser posible, ya que describieron la presencia esporádica de ADN de *N. caninum*, tanto en semen fresco como congelado, por lo que, debido a que los toros que presentaron sero-reactividad son portadores del parásito y posee la capacidad de diseminarlo; sin embargo, no hubo evaluación y aislamiento en semen de los toros positivos.

La seroprevalencia en los animales de siete o más años fue superior que los animales más jóvenes de 2 a 6 años, similares a las concentraciones de sarcocystina, aunque sin diferencias estadísticas significativas en animales más viejos, de siete o más años, como se puede analizar en la tabla 4.

Tabla 4. Seropositividad a *N. caninum* y nivel de sarcocystina en bovinos, del municipio de Montería, según la edad.

Indicadores	Dos a seis años	siete o más
Seroprevalencia (%)	32,1 (52/162)	42,7 (69/162)
Nivel de sarcocystina UI/L	151,21	134,42

No fue posible determinar –como factor de riesgo–, la presencia de caninos en las fincas y la seropositividad a *N. caninum*, porque solo fue muestreado un perro por cada una de las fincas involucradas en el estudio. De los 22 caninos analizados, el 50% resultó positivo, lo que indica una alta presencia de infección en estos animales; sin embargo, la presencia de infección por *N. caninum* en estos perros que conviven con los bovinos en las fincas analizadas, abre la posibilidad de transmisión horizontal. Por lo tanto, el control de la circulación de perros en las fincas es una medida que se debe implementar, ya que existe una estrecha relación entre bovinos y perros criados en establos (Del Campo *et al.* 2003) y se ha demostrado que la proporción de bovinos seropositivos aumenta cuando existen perros en las fincas (Wouda *et al.* 1999a).

El aumento en el título de sarcocystina en animales adultos hace pensar que existe, posiblemente, una reinfección relacionada con factores estresantes u otras enfermedades virales que causen inmunosupresión, lo que podría estar

facilitando el ingreso o reactivación de la *N. caninum*, en bovinos de la región. De acuerdo con lo expresado por Azumendi *et al.* (1995), quienes explican que los niveles de sarcocystina aumentan cuando los quistes parasitarios se rompen, ya que estos contienen millares de esporas que están suspendidas en un líquido compuesto, principalmente, por toxina del parásito, llamada sarcocystina, como podría suceder en los estados de replicación y multiplicación del parásito.

Se ha sugerido que la infección simultánea con el virus de la Diarrea Viral Bovina (BVD) o la inmunosupresión por la ingestión prolongada de micotoxinas podrían actuar como factores desencadenantes del aborto, debido a *N. caninum* en una explotación enzooticamente infectada (Björkman *et al.* 2000).

La información seroepidemiológica de *N. caninum* sugiere que es necesario llevar a cabo estudios adicionales de seguimiento clínico y reproductivo de los animales

seropositivos y los hatos donde ellos se encuentran, con el fin de determinar el posible impacto de este agente sobre los índices reproductivos, producción y la salud animal en las ganaderías.

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

1. AZUMENDI, J.; GRANADA, I.; PINZÓN, C.; REY, Y; FORERO, L; ESPITIA, S; GIL, M; AVELLO, N; ESGUERRA, A. 1995. Efectos de la toxina de *Sarcocystis*. Rev. Salud Animal. Cuba. 7(1):273-284.
2. BAILLARGEON, P.; FECTEAU, G.; PARÉ, J; LAMOTHE, P.; SAUVEÉ, R. 2001. Evaluation of the embryo transfer procedure proposed by the International Embryo Transfer Society as a method of controlling vertical transmission of *Neospora caninum* in cattle. J. Am. Vet. Med. Assoc. 218:1803-1806.
3. BJÖRKMAN, C.; ALENIUS, S.; EMANUELSSON, U.; UGGLA, A. 2000. *Neospora caninum* and bovine virus diarrhoea virus infections in Swedish dairy cows in relation to abortion. Vet. J. 159:201-206.
4. CAMPERO, C.M.; ANDERSON, M.L; CONOSCIUTO, G.; ODRIOZOLA, H.; BRETSCHNEIDER, G.; POSO, M.A. 1998 *Neospora caninum* associated abortion in dairy herd in Argentina. Vet. Rec. 143:228-229.
5. DAFT, B.; BARR, B.; COLLINS, N.; SVERLOW, K. 1996. *Neospora* encephalomyelitis and polyradiculoneuritis in an aged mare with Cushing's disease. Eq. Vet. J. 29:240-243.
6. DAVISON, H.; FRENCH N.; TREES A. 1999. Herd-specific and age-specific seroprevalence of *Neospora caninum*. 14 British dairy herds. Vet. Rec. 144:547-550.
7. DEL CAMPO, J.; CHÁVEZ, A.; DELGADO, A.; FALCÓN, N.; ORNELAS, A.; CASAS, E.; SERRANO, E. 2003. Frecuencia de *Neospora caninum* en perros de establos lecheros del Valle de Lima. Rev. Inv. Vet. Perú. 14:145-149.
8. DIJKSTRA, T.; BARKEMA, W.; EYSKER, M.; WOUIDA, W. 2001. Evidence of post-natal transmission of *Neospora caninum* in Dutch dairy herds. Int. J. Parasitol 31:209-215.
9. DUBEY, J. 1999a. Neosporosis a newly recognized protozoan disease similar to toxoplasmosis. Infect. Dis. Rev. 2:129-130.
10. DUBEY, J. 1999b. Recent advances in *Neospora* and neosporosis. Vet. Parasitol. 84:349-367.
11. DUBEY, J. 2003. Neosporosis in cattle. J. Parasitol 89 (Suppl): S42-S56.
12. DUBEY, J.; BUXTON, D.; WOUIDA, W. 2006. Pathogenesis of bovine neosporosis. J. Comp. Pathol. 134:267-289.
13. DUBEY, J.; SCHARES, G.; ORTEGA-MORA, L. 2007. Epidemiology and control of neosporosis and *Neospora caninum*. Clin. Microbiol. Rev. 20:323-367.
14. GARCÍA, F.; LISTA, D. 2005. Neosporosis y Tricomonirosis. Manual de ganadería de doble propósito. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad del Zulia. p.323-327.
15. GUEDES, M.; GUIMARÃES, A.; ROCHA, C.; HIRSC, C. 2008. Frecuência de anticorpos anti-*Neospora caninum* em vacas e fetos provenientes de municípios do sul de Minas Gerais. Rev. Bras. Parasitol. Vet. 17(4):189-194.
16. GRANADOS, S.; RIVERA, H.; CASAS, E.; SUÁREZ, F.; ARANA, C.; CHÁVEZ, A. 2014. Seroprevalencia de *Neospora caninum* en bovinos lecheros de cuatro distritos del Valle del Mantaro, Junín. Rev. Inv. Vet. Perú. 25(1):58-64.
17. HOAR, B.; RIBBLE, C.; SPITZER, C.; SPITZER, P.; JANZEN, E. 1996. Investigation of pregnancy losses in beef cattle herds associated with *Neospora* sp. infection. Can. Vet. J. 37:364-366.
18. LANDMANN, J.; JILLELLA, D.; O'DONOGHUE, P.; MCGOWAN, M. 2002. Confirmation of the prevention of vertical transmission of *Neospora caninum* in cattle by the use of embryo transfer. Aust. Vet. J. 80:502-503.
19. LÓPEZ, G.; RESTREPO, B.; RESTREPO, M.; LOTERO, M.; MÚRILLO, V.; CHICA, A.; CANO, J.; GIRALDO, J. 2007. Study to demonstrate the presence of *Neospora caninum* in bovines of the property San Pedro in the Fredonia municipality. Rev. CES. Med. Vet. Zootec 2(1):7-20.

20. McALLISTER, M.; BJÖRKMAN, C.; ANDERSON-SPRECHER, R.; ROGERS, D. 2000. Evidence of point-source exposure to *Neospora caninum* and protective immunity in a herd of beef cows. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 217:881-887.
21. MOORE, D.; ODEON, A.; CAMPERO, C. 2001. Neosporosis bovina, una actualización. *Vet. Arg.* 18(180):752-775.
22. MOORE, D.; CAMPERO, C.; ODEÓN, A.; POSO, M.; CANO, D.; LEUNDA, M. 2002. Seroepidemiology of beef and dairy herds and fetal study of *Neospora caninum* in Argentina. *Vet. Parasitol.* 107:303-316.
23. MOORE D.; DRAGHI, M.; CAMPERO, C.; CETRÁ, B.; ODEON, A.; ALCARAZ, E.; SPÄTH, E. 2003. Serological evidence of *Neospora caninum* infections in beef bulls in six counties of the Corrientes province, Argentina. *Vet. Parasitol.* 114(4):247-252.
24. MOORE, D. 2004. Neosporosis en South America. Fundación Antorchas. Chile. p.76-88.
25. 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. Bioética.* 1(1):163-184.
26. MOURA, A.; SOUZA, A.; SARTOR, A.; BELLATO, V.; TEIXEIRA, E. 2012. *Neospora caninum* antibodies in dairy cattle of Lages Municipality, Santa Catarina State, Brazil. *Arch. Med. Vet.* 44:117-122.
27. OBANDO, C.; BRACAMONTE, M.; MONTOYA, A.; CADENAS, V. 2010. *Neospora caninum* en un rebaño lechero y su asociación con el aborto. *Rev. Cient. FVC-LUZ.* 20(3):235-239.
28. ORTEGA-MORA, L.; FERNANDEZ-GARCIA, A.; GOMEZ-BAUTISTA, M. 2006. Diagnosis of bovine neosporosis: Recent advances and perspectivas. *Acta Parasitol.* 51(1):1-14.
29. ORTEGA-MORA, L.; FERRE, I.; DEL POZO, I.; CAETANO-SILVA, A.; COLLANTES-FERNÁNDEZ, E.; REGIDOR-CERRILLO, J. 2003. Detection of *Neospora caninum* in semen of bulls. *Vet. Parasitol.* 117:301-308.
30. OVIEDO, T.; BETANCUR, C.; MESTRA, A.; GONZÁLEZ, M.; REZA, L.; CALONGE, K. 2007. Estudio serológico sobre neosporosis en bovinos con problemas reproductivos en Montería, Córdoba, Colombia. *Rev. MVZ Córdoba.* 12(1):929-933.
31. PABÓN, J.; ESLAVA, J.; GÓMEZ, R. 2001. Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. *Meteorol. Col.* 4:47-59.
32. PATITUCCI, A.; PEREZ, M.; LÜDERS, C.; RATTO, M.; DUMONT, A. 1999. Evidencia serológica de infección por *Neospora caninum* en rebaños lecheros del sur de Chile. *Arch. Med. Vet.* 31:215-218.
33. PATITUCCI, A.; PEREZ, M.; ISRAEL, K.; ROZAS, M. 2000. Prevalencia de anticuerpos séricos contra *Neospora caninum* en dos rebaños lecheros de la IX Región de Chile. *Arch. Med. Vet.* 32(2):209-214.
34. PULIDO, M.; AZUMENDI, J.; PULIDO, A. 2009. Análisis clínico y paraclínico de caninos contaminados experimentalmente con *Sarcocystis sp.* *Rev Colomb Cienc Pec.* 22(3):549-550.
35. ICA-FEDEGAN. 2012. Resolución 002341. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá, Colombia. URL Disponible desde Internet en: <http://www.slideshare.net/Fedegan/resolucion-2341> (con acceso 20/02/2013).
36. SCHARES, G.; BARWALD, A.; STAUBACH, C.; SÖNDGEN, P.; RAUSER, M.; SCHRODER, R. 2002. p38-avidity-ELISA: examination of herds experiencing epidemic or endemic *Neospora caninum*-associated bovine abortion. *Vet. Parasitol.* 106:293-305.
37. SILVA, P.; CHÁVEZ, A.; RIVERA, H.; CASAS, E. 2002. Seroprevalencia de *Neospora caninum* en bovinos lecheros del valle de Lima. *Rev. Inv. Vet. Perú* 13(2):51-55.
38. SOFTWARE ESTADÍSTICO SPSS Inc. 2007. SPSS for Windows Version 16.0. Chicago, Illinois, USA: SPSS Inc.
39. SUÁREZ, C.; MALDONADO, J. 2012. Seropositividad a *Neospora caninum* en unidades de producción bovina del estado Lara, Venezuela. *Zootecnia Trop.* 30(1):35-41.
40. TREES, A.; WILLIAMS, D. 2005. Endogenous and exogenous transplacental infection in *Neospora caninum* and *Toxoplasma gondii*. *Trends Parasitol.* 21:558-561.

41. VENTURINI, M.; VENTURINI, L.; BACIGALUPE, D.; MACHUCA, M.; ECHAIDE, I.; BASSO, W. 1999. *Neospora caninum* infections in bovine fetuses and dairy cows with abortions in Argentina. Int. J. Parasitol. 29:1705-1708.
42. WALDNER, C.; JANZEN, E.; RIBBLE, C. 1998. Determination of the association between *Neospora caninum* infection and reproductive performance in beef herds. J. Am. Vet. Med. Assoc. 213:685-690.
43. WILLIAMS, D.; McGARRY, J.; GUY, F.; BARBER, J.; TREES, A. 1997. Novel ELISA for detection of *Neospora*-specific antibodies in cattle. Vet. Rec 140:328-331.
44. WOUIDA, W.; DIJKSTRA, T.; KRAMER, A.; VAN MAANEM, C.; BRINKHOF, J. 1999a. Seroepidemiological evidence for a relationship between *Neospora caninum* infections in dogs and cattle. Int. J. Parasitol. 29:1677-1682.
45. WOUIDA, W.; BARTELS, C.; MOEN, A. 1999b. Characteristics of *Neospora caninum*-associated abortion storms in dairy herds in The Netherlands (1995 - 1997). Theriogenology 52:233-245.
46. ZAMBRANO J.; COTRINO, V.; JIMÉNEZ C.; ROMERO, M.; GUERRERO, B. 2001. Evaluación serológica de *Neospora caninum* en bovinos en Colombia. Rev. Acovez. 26:5-10.

Recibido: Octubre 14 de 2014

Aceptado: Septiembre 26 de 2015

Cómo citar:

Cardona, J.A.; Martínez, Y.; Betancur, C.A. 2015. Seroepidemiología de hembras bovinas naturalmente infectadas por *Neospora caninum* en Córdoba, Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 401-408.

INFLUENCIA DE LA LISTERIOSIS EN LA FERTILIDAD Y PRESENTACIÓN DE MASTITIS SUBCLÍNICA EN UN CONGLOMERADO LECHERO DE LA SABANA DE BOGOTÁ, COLOMBIA

LISTERIOSIS INFLUENCE ON FERTILITY AND OCCURRENCE OF SUBCLINICAL MASTITIS IN A DAIRY CLUSTER OF SAVANNAH BOGOTA, COLOMBIA

Manuel Isaac Gallego¹, José Luis Azumendi², Andrés Felipe Salazar³, Carolina Gallego⁴

¹Médico Veterinario, MSc., Docente Facultad de Ciencias Pecuarias, Programa de Medicina Veterinaria. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, calle 222 No 54-37, Bogotá, Colombia, e-mail: mgallego@udca.edu.co; ²Médico Veterinario, Director Científico. Fundación FUNCEP, calle 137 No. 12-15, Bogotá, Colombia, e-mail: funcepdircientifico@cable.net.co;

³Médico Veterinario. Ejercicio particular, calle 145 No. 21-61 Apto. 301B, Bogotá, Colombia, e-mail: asalazarmv@gmail.com;

⁴Médico Veterinario, MSc., c.PhD., Docente Facultad de Ciencias Pecuarias, Programa de Medicina Veterinaria. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, calle 222 No. 54-37, Bogotá, Colombia, e-mail: cgallego@udca.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 409-415, Julio-Diciembre, 2015

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo determinar la influencia de la listeriosis sobre el desempeño reproductivo y la presentación de mastitis subclínica, en un conglomerado lechero, de la Sabana de Bogotá. Se tomaron al azar ochenta y cuatro vacas en producción y en capacidad reproductiva, que fueron examinadas dos veces, con un intervalo de dos meses, para un total de 168 muestras, mediante la técnica de ELISA, para IF_γ bovino específico para listeriosis. Los resultados indicaron una incidencia de 36% de positividad a la enfermedad. Las vacas positivas a IF_γ presentaron mastitis subclínica grado 1 (P<0.00001) y grado 2 (P<0.3402); adicionalmente, las cifras de abortos en estas vacas fueron mayores (P<0.0002). En consecuencia, tuvieron mayor número de días abiertos (P<0.00001) y un número mayor de servicios por concepción (P<0.0093). Los resultados obtenidos ponen en evidencia los efectos negativos de la infección por *Listeria monocytogenes* sobre el tracto reproductivo y la responsabilidad del microorganismo en la presentación de mastitis en bovinos infectados.

Palabras clave: Infertilidad, mastitis, ganado de leche.

SUMMARY

This research aimed to determine the influence of listeriosis on the reproductive performance and the presentation of mastitis in a dairy cluster of the Sabana de Bogotá. We

randomly selected eighty four cows in production and reproductive capacity in four farms, which were examined twice with an interval of two months for a total of 168 samples by ELISA test for specific bovine IF_γ for listeriosis. The results indicated an incidence of 36% of positivity to the disease. Positive cows for IF_γ had grade 1 of subclinical mastitis (P <0.00001) and grade 2 (P <0.3402). The figures for abortions in these animals were higher than negatives (P <0.0002). Accordingly, had higher number of open days (P <0.00001) and a greater number of services per conception (P <0.0093). The results highlight the negative influence of *Listeria monocytogenes* infection on the reproductive tract and responsibility of the microorganism in the presentation of mastitis in infected cattle.

Key words: Infertility, mastitis, dairy cattle.

INTRODUCCIÓN

La listeriosis ha estado involucrada como una entidad infecciosa de gran importancia para la salud de los seres humanos, al consumir alimentos contaminados, procedentes de animales infectados o del medio ambiente, convirtiéndose en un significativo contaminante, en todas las etapas de la cadena alimenticia (Tienungoon *et al.* 2000; Vanegas *et al.* 2007; Pérez-Trallero *et al.* 2014).

En los seres humanos induce el desarrollo de patologías, como abortos, anomalías fetales, pérdidas neonatales,

septicemia y diversos problemas nerviosos. En las mujeres, la infección materna es frecuentemente asintomática, mientras que la infección fetal y neonatal es severa y de pronóstico reservado, con 25-35% de mortalidad (Charlier-Woerther & Lecuit, 2014). La enfermedad en los bovinos cursa también con la presentación de lesiones en el sistema nervioso central, pero ha sido implicada también en problemas de tipo reproductivo, como pérdidas gestacionales y mortalidad perinatal, además de retención de placenta, metritis y mastitis (Czuprynski *et al.* 2010), con la consiguiente disminución de la fertilidad. Tanto en los seres humanos como en los animales, en general, la listeriosis está más referenciada como una enfermedad de tipo nervioso y reproductivo, ya que la bacteria puede cruzar las barreras placentaria, intestinal y nerviosa (Charlier-Woerther & Lecuit, 2014); sin embargo, desde el punto de vista veterinario, no se han hecho estudios de su influencia sobre los diferentes parámetros reproductivos o productivos en ganado de leche.

La colonización del útero grávido y del feto ha sido reproducida experimentalmente por inoculación intravenosa, oral y respiratoria de animales gestantes de diferentes especies, como bovinos, ovinos, conejos, ratas, ratones y, en ellos, se ha demostrado que *Listeria monocytogenes* accede al feto por penetración hematogena de la barrera placentaria, lo cual, explica el tropismo especial que presenta el microorganismo por el útero grávido. La depresión local del sistema inmune en la placenta contribuye al incremento de la susceptibilidad a la infección por la bacteria. Lo anterior, se relaciona con la deficiencia en producción de Interferón-gamma (IF γ), que facilita la invasión listerial de la placenta y de los tejidos fetales (Torres *et al.* 2005).

El diagnóstico de esta enfermedad ha descansado, usualmente, en el aislamiento bacteriológico, con el inconveniente que esta técnica no presenta la sensibilidad y la especificidad adecuadas, además de la demora en obtener los resultados; debido a lo anterior, se han diseñado diferentes técnicas de diagnóstico, como ELISA y PCR (Sierra *et al.* 2005; Vanegas *et al.* 2007). La técnica de (IF γ) ha sido ampliamente usada en el diagnóstico de patógenos con ciclos de vida intracelulares, como *Mycobacterium tuberculosis* (Cho, 2007; Dhedda *et al.* 2007), demostrando, en el caso de la listeriosis, ser altamente significativa ($P < 0,01$) con el aislamiento microbiológico (Gallego *et al.* 2015), lo cual, permite determinar, con seguridad, las posibles consecuencias de la enfermedad en el comportamiento reproductivo y productivo de los animales, a nivel de campo.

En Colombia, la bacteria ha sido reportada en casos humanos de meningoencefalitis (Sánchez *et al.* 1992; Crespo *et al.* 1999) y en alimentos de diferente naturaleza, como leches crudas (Díaz & Muñoz, 1994) y quesos frescos (Muñoz & Díaz, 1996), lo mismo que en productos cárnicos (Vanegas *et al.* 2007).

Este microorganismo fue detectado por Gallego *et al.* (2003), en un conglomerado lechero de la Sabana de Bogotá, en porcentajes que fluctuaron entre el 2,4 y 24% y Moreno *et al.* (2007), en un estudio sobre la contaminación microbiológica y la calidad de la leche realizado en el departamento de Boyacá, registraron que de 28 fincas, el 92,8% presentó contaminación con *L. monocytogenes*. Posteriormente, Gallego *et al.* (2007) reportaron la presencia de la bacteria en canales de ganado Holstein, sacrificado en una planta de beneficio de la Sabana de Bogotá, en 2,26%, de los canales examinados y, en canales de ganado cebú, un grado de contaminación del 8,33%, con un rango entre el 3,4 y el 13,2% (Villamil *et al.* 2007). Otros estudios adelantados por Gallego *et al.* (2015) hallaron una prevalencia, empleando la técnica de IF γ , del 31,36%, en el mismo grupo de fincas de la Sabana de Bogotá, que fue empleado en la realización del presente trabajo.

La listeriosis es una enfermedad infecciosa que ha cobrado gran importancia en diferentes partes del mundo, especialmente, en la población bovina y ovina; en ambas especies, la enfermedad se puede manifestar como una infección del sistema nervioso, meningoencefalitis en adultos y meningitis en animales jóvenes, aborto, septicemia generalizada, afectando el hígado y otros órganos y mastitis (Czuprynski *et al.* 2010).

Gray & Killinger (1966) mencionaron que *L. monocytogenes* puede tener predilección por invadir el feto y la placenta de varios mamíferos. El aborto, se presenta, según estos autores, en el tercer trimestre de la gestación, con los signos clínicos obvios del problema, pudiendo ocurrir una presentación simultánea con problemas nerviosos, como se ha observado en ovejas (Vásquez-Boland *et al.* 1992), pudiendo ser detectada en los fetos abortados o placenta de los animales afectados.

De acuerdo con Barzoza-Lewis *et al.* (2012), el Interferón tipo I (I-IFN, IFN $\alpha\beta$) es la llave de la respuesta inmune a los patógenos virales; sin embargo, su papel frente a las infecciones bacterianas se está empezando a entender. Teniendo en cuenta estos estudios, se deja en evidencia un mecanismo mediante el cual, el interferón tipo I regula la respuesta inmune a la listeria, a través de una regulación negativa de quimioquinas, conducentes al reclutamiento de neutrófilos.

Rayamaghi *et al.* (2010) comprobaron que la producción del interferón tipo I incrementa la susceptibilidad a *L. monocytogenes*, mientras que el tipo II o IFN- γ , activa la resistencia de los macrófagos. Los autores hallaron que estos aspectos inmunológicos, se realizan por interrelaciones entre las respectivas vías de señalización, lo que permite la priorización del tipo de respuesta inmune y contribuye a los efectos benéficos del interferón.

Uno de los aspectos más importante de la listeriosis es la implicación en la presentación de mastitis subclínica, lo cual, ha sido reportado por diversos autores que evaluaron el problema, mediante la inoculación experimental de la glándula mamaria (Gitter *et al.* 1980; Czuprynski *et al.* 1989; Fthenakis *et al.* 1998; Tzora *et al.* 1998; Maliki *et al.* 2002; Winter *et al.* 2004; Czuprynski *et al.* 2010). Estudios presentados por Jamali & Radmehr (2013) mostraron que los serogrupos que producen mastitis son, principalmente, 4b, 4d, 4e, 1/2a, 3a, 1/2b, 3b, 7, 1/2c, 3e todos codificados en inIA, inIC, inIG, necesarios para la internalización de *Listeria* spp. en células intestinales y empleados para la diferenciación de cepas virulentas y avirulentas.

Los autores anteriores coinciden en que *L. monocytogenes* puede ser detectada en la leche por períodos variables, incluso, en cantidades pequeñas; por lo tanto, es muy posible que las vacas positivas –en la técnica de ELISA para IF_γ y que presenten reacción positiva en CMT–, uno de las posibles microorganismos involucrados sea *L. monocytogenes*, dada la sensibilidad de la técnica y su correlación con los cultivos bacteriológicos. Considerable atención ha tenido la presentación de la mastitis, que puede tener varios grados de severidad, desde una forma subclínica a una infección supurativa severa. Gitter *et al.* (1980), Doyle *et al.* (1987) y Czuprynski *et al.* (2010) establecieron que *L. monocytogenes* pudo ser encontrada en los neutrófilos en leche de cuatro vacas examinadas, que presentaron mastitis. La infección prolongada de la ubre puede ocasionar incremento de eliminación de la bacteria, especialmente, en períodos de inmunodepresión. Chen & Novick (2009) hallaron una asociación estrecha entre *L. monocytogenes* y *S. aureus*, que puede tener un gran significado en la presentación de mastitis por listeriosis.

Las cifras anteriores revelan la importancia que pueda tener la enfermedad desde el punto de vista de salud pública, como un contaminante de alimentos de origen animal; sin embargo, hasta el momento no se ha realizado una investigación que ponga de manifiesto el posible impacto de la enfermedad sobre la fertilidad y la productividad en los hatos lecheros.

MATERIALES Y MÉTODOS

De acuerdo con la Asociación de Ganaderos de Facatativá (Castro, 2013), en una población de 21.631 bovinos del conglomerado lechero de los municipios de Madrid, Mosquera y El Rosal, donde se registró una prevalencia de 24% de positividad, mediante exámenes bacteriológicos (Gallego *et al.* 2003), se seleccionaron 84 bovinos, en capacidad reproductiva y en producción, ubicados en cuatro fincas, de acuerdo a una frecuencia esperada del 36% y un nivel de confianza del 99% (Kish, 1972; Kuehl, 2001). Las fincas fueron seleccionadas de acuerdo a los siguientes criterios: explotaciones

lecheras, atendidas directamente por sus propietarios; con predominio de la raza Holstein; asistencia veterinaria; registros de producción y de reproducción; certificadas libres de brucelosis; con planes de inseminación artificial; control de enfermedades parasitarias e infecciosas, especialmente, del tracto reproductivo y mastitis. No se tuvieron en cuenta fincas negativas a listeriosis, dadas las prevalencias altas de la enfermedad, encontradas anteriormente en este conglomerado lechero y que *L. monocytogenes* es considerado un microorganismo ambiental (Orndorff *et al.* 2006).

De las vacas seleccionadas al azar, se tomaron dos muestras de sangre con heparina, con intervalos de dos meses, para un total de 168 muestras; fueron transportadas al laboratorio en refrigeración, en un período de cinco horas. A las muestras seleccionadas, se les realizó cuantificación de IF_γ, como indicador de la inmunidad celular para *L. monocytogenes*, de acuerdo al protocolo establecido por Gallego *et al.* (2015).

En el momento de la toma de muestras de sangre a las vacas en producción, se les realizó la prueba de California Mastitis Test (CMT), de acuerdo al protocolo e interpretación de Schalm & Nordlander (1957).

Con el fin de analizar la influencia de la enfermedad sobre el comportamiento reproductivo, se tomaron –de los registros de las fincas, en el momento de la visita–, la información relacionada con los parámetros reproductivos, de acuerdo con Gallego (2009). A la información obtenida, se le realizó una estadística descriptiva y se analizó la significancia, mediante las técnicas de Chi cuadrado, de acuerdo al programa EPI-INFO (2014).

Conforme con los resultados, se formaron dos grupos de vacas, tomando, en uno de ellos, los animales con días abiertos, superiores a 100 y, del otro, los que presentaron cifras menores de 100. Para el intervalo entre partos, se tuvo en cuenta el rango de vacas, con un número igual o menor de 380 días y mayor, de 380. En relación con los servicios por concepción, se fijó como parámetro, animales con un servicio por concepción y los que presentaron dos o más servicios. En mastitis, se formaron, de la misma manera, grupos positivos y negativos a la enfermedad y se evaluó cada uno de los cuartos en las ubres, de acuerdo a la escala de Schalm & Nordlander (1957).

En los dos grupos de vacas, positivos y negativos a la prueba de IF_γ, se compararon los parámetros encontrados, tanto superiores como inferiores, de las variables consideradas como normales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todos los predios involucrados en este estudio disponían de asistencia profesional y eran atendidos directamente por sus propietarios. En estos predios, no se hallaron evidencias anteriores o actuales de problemas generales de salud o relacionados con factores nutricionales, enfermedades infecciosas y parasitarias o de manejo, lo que permite descartar la influencia de estos aspectos, en los resultados obtenidos.

Los primeros estudios sobre la enfermedad en el mismo conglomerado de leche y bajo las mismas condiciones reportaron una prevalencia máxima del 24%, mediante exámenes bacteriológicos (Gallego *et al.* 2003). En la presente investigación, mediante el empleo de una técnica de mayor sensibilidad y especificidad, la prevalencia encontrada fue del 36%, en las dos mediciones que se efectuaron con dos meses de intervalo, por lo tanto, es deducible que la técnica de IF_γ presenta una mayor utilidad, en la detección de animales positivos a listeriosis.

En relación con el grado de reactividad a la prueba de CMT, del total de animales examinados, 16 (9,52%) fueron positivos. Al realizar la prueba de ELISA para IF_γ, se evidenció una relación estadística significativa en las vacas que presentaron grado uno ($P < 0,0001$) y grado dos ($P < 0,009$), consideradas como subclínicas, lo cual, está relacionado con los hallazgos presentados por Czuprynski *et al.* (1989), Bourry *et al.* (1995), Fthenakis *et al.* (1998), Tzora *et al.* (1998) y Winter *et al.* (2004). Las mastitis tipo 3 y 4 no fueron evaluadas, debido al escaso número de animales que presentaron esta condición.

El hallazgo de *L. monocytogenes* en la leche y la presentación de mastitis tendrían como origen la contaminación bacteriana suscitada de la eliminación en las materias fecales o como consecuencia de la septicemia y necrosis focal en hígado y en bazo, de los de los animales infectados. El desarrollo de la mastitis puede variar desde una forma subclínica a supurativa con localización de la bacteria en los neutrófilos y la consecuente reactividad de la prueba de CMT. La infección que se establece a largo plazo en la leche, acompañada de la eliminación de la bacteria en la leche, puede ser exacerbada periódicamente por inmunodepresión, debida a enfermedades subyacentes u otras causas. Este fenómeno tiene implicaciones prácticas, ya que el tratamiento de las mastitis por *L. monocytogenes* sería difícil de lograr (Czuprynski *et al.* 2010). Es importante tener en cuenta la posible asociación de este microorganismo con otros agentes, ya sea desde el punto de vista patológico o de protección, como el *Staphylococcus aureus* (Chen & Novick, 2009).

La eliminación de *Listeria monocytogenes*, a través de la leche en vacas infectadas, constituye uno de los principales

problemas en salud pública, debido a las implicaciones que presenta el organismo para la salud humana (Díaz & Muñoz, 1994; Muñoz & Díaz, 1996; Gallego *et al.* 2003; Moreno *et al.* 2007), ya que las vacas lecheras pueden ser reservorios de una población diversa de *L. monocytogenes* patógenas para humanos, con el consiguiente peligro en salud pública (Haley *et al.* 2015). El empleo de técnicas de diagnóstico de alta sensibilidad y especificidad, como la técnica de ELISA para IF_γ, para la detección de animales positivos, permitiría el establecimiento de programas más eficientes de control de la enfermedad.

Al analizar el comportamiento reproductivo de los animales, se encontró, en relación con el número de días abiertos correspondientes al penúltimo parto, una diferencia significativa ($P < 0,0001$) en las positivas en la técnica de ELISA para IF_γ, que presentaron un número de días abiertos superiores a 100, en comparación con los que mostraron cifras inferiores, a este parámetro.

Igualmente, en las vacas positivas a IF_γ, que mostraron un incremento significativo en los días abiertos superiores a 100, se evidenció, además, un incremento significativo en el número de servicios superiores a uno ($P < 0,009$).

En relación con la presentación de abortos, en el presente estudio se halló una alta relación estadística ($P < 0,0002$), entre las vacas positivas a la prueba de ELISA para IF_γ, con la presentación de uno o más abortos en su vida reproductiva, en comparación con las negativas que, en el momento del estudio, manifestaban un comportamiento reproductivo normal. Aunque no existe historia sobre los posibles agentes etiológicos o causas de los abortos presentados anteriormente, es evidente la significancia estadística, que existe entre la positividad a listeriosis y la exposición de abortos. Este factor, al mismo tiempo, incide en el incremento en el número de días abiertos y puede ser una de las causas del incremento, en los servicios por concepción.

La influencia de *L. monocytogenes* sobre el comportamiento reproductivo de las vacas ha sido estudiado por diferentes autores (Abram & Doric, 1997; Parkash *et al.* 1998; Gulleria & Pollard, 2000; Vásquez-Boland *et al.* 2001; Torres *et al.* 2005), por inoculación intravenosa, oral y respiratoria, en animales gestantes susceptibles, como ovejas, reses, conejos, cobayos y ratas. De esta manera, se demostró que la bacteria accede al feto por penetración hematogena.

Entre los principales mecanismos por los cuales *L. monocytogenes* puede desencadenar la presentación de aborto, Engeland *et al.* (1997) planteó una posible explicación de tipo hormonal. Después de la inoculación del microorganismo encontró una disminución significativa en los niveles de progesterona y un incremento en 15-ketodihydro-PGFF_α.

Esta alteración en la función endocrina placentaria podría ser la responsable del aborto por la bacteria; plantearon, además, que durante la preñez se presenta un período de inmunodepresión, para evitar el rechazo alógráfico del feto, un hecho que se puede manifestar ante cualquier enfermedad infecciosa y que no es exclusivo de listeriosis. A este fenómeno, se puede añadir el hecho que *L. monocytogenes* induce una disminución de la expresión de la hemo-oxigenasa-1 (HO-1) en las células del trofoblasto, importantes para reducir la expresión de las HO-1, lo cual, puede influir en la presentación del aborto, tal como fue observado por Irvin *et al.* (2008) en ratones.

Tachibana *et al.* (2011) descubrieron un aspecto adicional. El gen Bcl-XL, el cual, presenta un factor de protección placentaria en unión de las HO-1, podría estar subregulado en placentas de ratones infectados con *L. monocytogenes*; por lo tanto, la bacteria induciría una muerte celular, por un mecanismo alterno dependiente de la HO-1 y del gen Bcl-XL. Poulsen *et al.* (2011) compararon ratones genéticamente resistentes a la infección por *L. monocytogenes* con ratones susceptibles, a una inoculación intragástrica de diseminación del microorganismo a los órganos fetales, a los tres días de inoculación. Los primeros fueron más resistentes que los susceptibles, durante la preñez; la inflamación y la necrosis fueron más severas en los susceptibles.

La presentación del aborto por *L. monocytogenes* ha sido establecida en forma definitiva por diferentes autores, en varias especies; en la especie bovina, el mecanismo empleado por el microorganismo no ha sido dilucidado específicamente, por lo tanto, establecer la patogénesis del microorganismo en los bovinos contribuiría al desarrollo de programas de control de la enfermedad.

Financiación: Este 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 todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABRAM, M.; DORIC, M. 1997 Primary *Listeria monocytogenes* infection in gestating mice. *Folia Microbiol.* (Czech Republic). 42:65-71.
2. BARZOZA-LEWIS, K.L.; HOTH, J.J.; HILTBOLD, E.M. 2012. Type I interferon signalling regulates the composition of inflammatory infiltrates upon infection with *Listeria monocytogenes*. *Cellular Immunol.* (USA). 73:41-51.
3. BOURRY, A.; POUTREL, B.; ROCOURT, J. 1995. Bovine mastitis caused by *Listeria monocytogenes* of natural and experimental infections. *J. Med. Microbiol.* (USA). 3:125-132.
4. CASTRO, I. 2013 Asociación de Ganaderos de Facatativá. Comunicación personal.
5. CHEN, J.; NOVICK, R.P. 2009. Phage-mediated intergeneric transfer of toxin genes. *Science* (USA). 323:139-141.
6. CHO, S. 2007. Current issues on molecular and immunological diagnosis of tuberculosis. *Yonsei Medical J.* (Japan). 48(3):347-359.
7. CRESPO, M.; VÉLEZ, J.; CASTAÑEDA, C.; HOYOS, F.; LÓPEZ, M.; SALAZAR, J. 1999. Aislamiento de *Listeria monocytogenes* en un hospital de tercer nivel. *Col. Médica* (Colombia). 30(2):89-98.
8. CHARLIER-WOERTHER, C.; LECUIT, M. 2014 Listeriosis and pregnancy. *Presse Med.* (France). 43(6):676-682.
9. CZUPRYNSKI, C.J.; NOEL, E.J.; DOYLE, M.P.; SCHULTZ, R.D. 1989. Ingestion and killing of *Listeria monocytogenes* by blood and milk phagocytes from mastitic and normal cattle. *J. Clin. Microbiol.* (USA) 27:812-817.
10. CZUPRYNSKI, C.J.; KATHARIOU, S.; POULSEN, K. 2010. Listeria. En: Gyles, C.L.; Prescott, J.F.; Songer, J.G.; Thoen, C.O. (eds). *Pathogenesis of Bacterial Infections in Animals*. Ed. Wiley-Blackwell (USA). p.167-187.
11. DHEDA, K.; POORAN, A.; PAI, M.; MILLER, R.; LESLEY, K.; BOOTH, H.; SCOTT, G.; AKBAR, A.; ZUMLA, A.; ROOK, G. 2007. Interpretation of *Mycobacterium tuberculosis* antigen-specific IFN γ release assays (T-SPOT.TB) and factors that may modulate test results. *J. Infection.* (England). 5:169-173.
12. DÍAZ, G.; MUÑOZ, A. 1994. Incidencia de *Listeria monocytogenes* en leches crudas y leches pasteurizadas en el altiplano Cundiboyacense. *Biomédica* (Colombia) 4:58.
13. DOYLE, M.P.; GLASS, J.T.; BEERY, J.T.; GARCIA, G.A.; POLLARD, D.J.; SCHULTZ, R.D. 1987. Survival of *Listeria monocytogenes* in milk during high temperature, short time of pasteurization. *Applied Environ. Micro.* (USA). 53:1433-1438.

13. ENGELAND, I.V.; WALDELAND, H.; RAPSTAEEL, E.; KIN-DAHL, H.; ANDRESEN, O. 1997. Effect of experimental infection with *Listeria monocytogenes* on the development of pregnancy and concentration of progesterone, oestrone sulphate and 15-ketodihydro-PGF2 α in the goat. *An. Reprod. Sci. (USA)*. 5:311-327.
14. EPI-INFO™ 3.5.4. 2014. Database and Static Software; Public Health Profesional org.; Center for Disease control and Prevention. Disponible desde internet en: www.cdc.gov/epiinfo/7/ (con acceso 13/10/2014).
15. FTHENAKIS, G.C.; SARATSIS, P.H.; TZORA, A.; LINDE, K. 1998. Naturally occurring subclinical ovine mastitis associated by *Listeria monocytogenes*. *Small Ruminant. Res. (USA)*. 31:23-27.
16. GALLEGO, M.I.; TORRES, O.A.; SOTO, C.Y.; DUQUE, D.C.; BENÍTEZ, C. 2003. Determinación de portadores de *Listeria* sp. en un conglomerado lechero de la vereda Puente de Piedra municipio de Madrid (Cundinamarca, Colombia). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia)*. 6(1):49-56.
17. GALLEGO, M.I.; MANRIQUE, P.C.; TORRES, O.A.; RAMÍREZ, M.F. 2007. *Listeria monocytogenes* en canales de ganado Holstein en una planta de sacrificio de la Sabana de Bogotá (Colombia). *Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient.* 8(2):95-101.
18. GALLEGO, M.I. 2009 Manejo del problema reproductivo en ganado de leche. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Fondo de Publicaciones. Digi-print Editores Bogotá, Colombia. 232p.
19. GALLEGO, L.C.; GALLEGO, M.I.; AZUMENDI, J.L.; PAIPA, J.; JARAMILLO, D. 2015. Estandarización de la técnica de Interferón-gamma (IFN- γ) para la detección de Bovinos infectado con *Listeria monocytogenes*. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(1):163-170.
20. GITTER, M.; BRADLEY, R.; BLAMPIED, P.H. 1980. *Listeria monocytogenes* infection in bovine mastitis. *Vet. Record. (England)*. 107:390-393.
21. GRAY, M.L.; KILLINGER, A.H. 1966. *Listeria monocytogenes* and listeric infections. *Bacteriology Reviews (Canada)*. 30:309-382.
22. GULLERIA, I.; POLLARD, J.W. 2000. The trophoblast is a component of the innate immune system during pregnancy. *Nature Medicine. (England)*. 6:589-593.
23. HALEY, B.J.; SONNIER, J.; SCHUKKEN, Y.H.; KARNS, J.S.; VAN KESSEL, J.A. 2015. Diversity of *Listeria monocytogenes* within a U.S dairy herd, 2004-2010. *Food Borne Pathog. Dis. (USA)*. 10:844-850.
24. IRVIN, E.A.; WILLIAMS, D.; VOSS, K.A.; SMITH, M.A. 2008. *Listeria monocytogenes* infection in pregnant guinea pigs associated with maternal liver necrosis, a decrease in maternal TNF α concentration and increase in placental apoptosis. *Reprod. Toxicol. (USA)*. 26:123-129.
25. JAMALI, H.; RADMEHR, B. 2013. Frequency, virulence, genes and antimicrobial resistance of *Listeria* sp. isolated from bovine clinical mastitis. *Vet. J. (England)*. 198:541-542.
26. KISH, L. 1972. Muestreo de encuestas. Edit. Trillas. 1ªEd. México D.F. 739p.
27. KUEHL, R.O. 2001 Diseño de experimentos. Ed. Thomson. México D.F. 666p.
28. MALIKI, S.V.S.; BARBUDDHE, S.B.; CHANDARI, S.P. 2002. Listeric infections in humans and animals in the Indian subcontinent. A review. *Trop. Animal Health Prod. (England)*. 34(5):359-381.
29. MUÑOZ, A.; DÍAZ, G. 1996. Determinación e identificación de *Listeria monocytogenes* en quesos frescos y madurados que se comercializan en Santafé de Bogotá. *Notinvima. (Colombia)*. 1:19-21.
30. MORENO, V.F.C.; RODRÍGUEZ, M.J.; MÉNDEZ, M.M.V.M.; OSUNA, A.L.E.; VARGAS, M.R. 2007. Análisis microbiológico y su relación con la calidad higiénica y sanitaria de la leche producida en la región del Alto de Chicamocha (departamento de Boyacá). *Rev. Med. Vet. Univ. De la Salle. (Colombia)*. 14:61-83.
31. ORNDORFF, S.V.S.; HANRICK, T.S.; SMOAK, I.W.; HAVELL, E.A. 2006. GráfHost and bacterial factors in listeriosis pathogenesis. *Vet. Microb. (USA)*. 114(1-2):1-5.
32. PARKASH, V.; MOROTTI, R.A.; JOSHI, V.; CARTUN, R.; RAUCH, C.A.; WEST, A.B. 1998. Immunohistochemical detection of *Listeria* antigen in the placenta in perinatal listeriosis. *Int. J. Gynec. Pathol. (USA)* 17:343-350.
33. PÉREZ-TRALLERO, E.; ZIGORRAGA, C.; ARTIEGA, J.; ALKORTA, M.; MARIMÓN, J.M. 2014. Two outbreaks

- of *Listeria monocytogenes*, northern Spain. *Emerg. Inf. Dis. (USA)*. 20(12):2155-2157.
34. POULSEN, K.F.; FAITH, N.G.; STEINBERG, H.; CZUPRYNSKI, C.J. 2011. Pregnancy reduce the genetic resistance of C57BC/b mice to *Listeria monocytogenes* infection by intragastric inoculation. *Microbial Pathogenesis (USA)* 50:360-366.
35. RAYAMAGHI, M.; HUMANN, J.; PENHEITER, K.; ANDREASEN, K.; LENZ L. 2010. The induction of IFN- α enables *Listeria monocytogenes* suppress macrophage activation by IFN- γ . *J. Exp. Med. (USA)*. 207(2):327-337.
36. SÁNCHEZ, E.; PARDO, R.; DUQUE, A.; PALOMINO, S.; REYES, E. 1992. Listeriosis del sistema nervioso central. Formas meníngeas agudas supurativas y romboencefálica. *Acta Neurol. (Colombia)*. (3):165-168.
37. SCHALM, O.; NORDLANDER, D. 1957. Experiments and observations leading to the development of the California Mastitis Test. *J. Am. Vet. Med. Assoc. (USA)*. 130:189-204.
38. SIERRA, S.C.; POUTOU, R.A.; CARRASCAL, A.K.; TORRES, K.J.; MERCADO, M. 2005. Validación de PCR para detección de *Listeria monocytogenes* en quesos frescos. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 7(2):53-65.
39. TACHIBANA, M.; HASHIDO, M.; NISHIDA, T.; SHIMIZU, T.; WATARAI, M. 2011. Protective role of heme Oxygenase-1 in *Listeria monocytogenes*-induced abortion. *PLoS ONE* 6(9):e25046.doi:10.1371/journal.pone.002546.
40. TIENUNGOON, S.; RATOWSKY, D.; MCMEEKEN, T.; ROSS, T. 2000. Growth limits of *Listeria monocytogenes* as a function of temperature, pH. NaCl and lactic acid. *Appl. Environm. Microbiol. (USA)* 66(4):709-772.
41. TORRES, K.; SIERRA, S.; POUTOU, R.; CARRASCAL, A.; MERCADO, M. 2005. Patogenesis de *Listeria monocytogenes*. Microorganismo zoonótico emergente. *Rev. MVZ-Córdoba (Colombia)*. 10(1):511-543.
42. TZORA, A.; FTHENAKIS, G.C.; LINDE, K. 1998. The effects of inoculation of *Listeria monocytogenes* into the ovine mammary gland. *Vet. Microbiol. (USA)* 59:193-202.
43. VANEGAS, L.M.C.; MARTINEZ, L.A.J.; BOTINA, B.L. 2007. Detección por PCR de *Listeria monocytogenes* en productos cárnicos distribuidos en Bogotá. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 9(2):149-156.
44. VÁSQUEZ-BOLAND, J.; KUHN, M.; BERCHE, P.; CHAKRABORTY, T.; DOMÍNGUEZ-BERNAL, G.; GOEBEL, W.; GONZÁLEZ-ZORN, B.; WEHLAND, J.; KREFT, J. 2001 *Listeria* pathogenesis and molecular virulence determinants. *Clin. Microbiol. Rev. (USA)* 14(3):584-640.
45. VÁSQUEZ-BOLAND, J.A.; DOMINGUEZ, L.; BLANCO, M.; ROCOURT, J.; FERNANDEZ-GARAIZABAL, J.M.; GUTIÉRREZ, C.B.; TASCÓN, R.I.; RODRÍGUEZ-FERRI, E.F. 1992. Epidemiological investigations of a silage associated epizootic of ovine listeric encephalitis using a new *Listeria*-selective enumeration medium and phage typing. *Am. J. Vet. Res. (USA)*. 3:368-371.
46. VILLAMIL, D.; GALLEGO, M.M.I.; TORRES, O.A.; RAMÍRES, M.F. 2007. *Listeria monocytogenes* en canales de bovinos cebú en una planta de sacrificio de la Sabana de Bogotá (Colombia). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 10(1):93-101.
47. WINTER, P.; SCHILCHER, F.; BAGO, Z.; SCHOEDER, D.; EGERBACHER, M.; BAUMGARTNER, W.; WAGNER, M. 2004. Clinical and histopathological aspects of naturally occurring mastitis caused by *Listeria monocytogenes* in cattle and ewes. *J. Vet. Med. B. Infect. Dis. Vet. Public Health. (USA)* 51(4):176-179.

Recibido: Diciembre 2 de 2014

Aceptado: Noviembre 12 de 2015

Cómo citar:

Gallego, M.I.; Azumendi, J.L.; Salazar, A.F.; Gallego, C. 2015. Influencia de la Listeriosis en la fertilidad y presentación de mastitis subclínica en un conglomerado lechero de la sabana de Bogotá. Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 409-415.

EMISIÓN DE METANO ENTÉRICO EN SISTEMAS PASTORILES: ESTRATEGIAS DE REDUCCIÓN CON POTENCIAL PRÁCTICO

ENTERIC METHANE EMISSION IN PASTORAL SYSTEMS: REDUCTION STRATEGIES WITH PRACTICAL POTENTIAL

Juan Vargas¹

¹ Zootecnista, M.Sc. Producción Animal, Docente Facultad de Ciencias Pecuarias. U.D.C.A, calle 222 No. 55-37, Bogotá, D.C., Colombia, e-mail: juan.dvargas@udca.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 417-424, Julio-Diciembre 2015

RESUMEN

La producción animal debe desarrollar sistemas más eficientes y menos perjudiciales con el ambiente. El metano entérico representa una pérdida energética para el rumiante y es un gas de efecto invernadero. Por lo tanto, el objetivo de esta revisión fue plantear estrategias, que permitan disminuir la producción de metano entérico, en sistemas pastoriles. Las características botánicas y el manejo de las pasturas modifican las emisiones de metano entérico. Es por ello, que la inclusión de leguminosas taníferas, el manejo eficiente de las pasturas y el aumento en la productividad animal constituyen herramientas, que habilitarían la disminución de la producción de metano por unidad de producto. Otras estrategias reportadas en la literatura deben ser investigadas con mayor detenimiento en sistemas pastoriles.

Palabras clave: Gases efecto invernadero, nutrición, rumiantes, sistemas pastoriles.

SUMMARY

Animal production must develop more efficient systems and less harmful with the environment. Enteric methane represents an energy loss for ruminant and it is a gas of greenhouse effect. Therefore, the objective of this review was to consider strategies that allow reduce enteric methane production in pastoral systems. The enteric methane emissions are modified by botanical characteristics and management. Therefore, the inclusion of tanniferous leguminous, efficient management of pastures and the increase in animal productivity are tools that allow decreasing methane production per unit of product. In pastoral systems other strategies reported in the literature should be investigated more closely.

Key words: Greenhouse gases, nutrition, ruminants, pastoral systems.

INTRODUCCIÓN

La producción animal enfrenta grandes retos hacia el futuro. El incremento en la demanda de alimentos, el crecimiento poblacional y la reducción de las áreas cultivables hace necesario aumentar la eficiencia animal. La FAO (2009) proyecta un incremento entre el 50 y 60%, en relación al 2000, en la demanda de alimentos para el 2050, acompañado de una mayor preferencia por alimentos de origen animal. Este incremento es explicado por una alta tasa de natalidad y un mayor ingreso *per cápita* de países en desarrollo (Tilman *et al.* 2011).

Los recursos naturales que permitirían aumentar la producción de alimentos, generalmente, presentan limitaciones en forma, en calidad o en cantidad (Gerber *et al.* 2013). Algunos autores sugieren que ciertos países en desarrollo tendrían la capacidad de incrementar la producción animal; no obstante, estos lugares presentan claros indicios de deterioro ambiental (Steinfeld *et al.* 2006). Por otro lado, es reconocido que las actividades antropogénicas son responsables del desequilibrio en los ecosistemas naturales, registrándose un aumento en la temperatura atmosférica, incidencia de fenómenos extremos, deshielo de glaciares, acidificación de acuíferos, pérdida de biomasa, desertificación y disminución de las áreas de bosques (IPCC, 2013; Murgueitio *et al.* 2013).

El impacto ambiental, debido a la ganadería, es un tema de gran interés en la actualidad. Recientemente, se ha evaluado el impacto ambiental de los sistemas de producción animal, bajo enfoques integrales, como lo son el de huella de carbono, huella hídrica y ciclo de vida (Steinfeld *et al.* 2006; Hoekstra *et al.* 2011; Gerber *et al.* 2013); sin embargo, la complejidad en la comprensión holística de las interacciones entre los diferentes componentes de los sistemas ha resultado en la aceptación de asunciones y generalizaciones, que no reflejan las particularidades propias de cada sistema de

producción (Gerber *et al.* 2013). Aunado a ello, es evidente el poco desarrollo investigativo en sistemas pastoriles en el trópico, lo que ha limitado la implementación de herramientas, que permitan disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), de rumiantes en esta zona (Vargas *et al.* 2012).

Entre los impactos ambientales de origen antropogénico que han sido estudiados con mayor detenimiento, se destacan la emisión de GEI. La quema de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones de dióxido de carbono, mientras que en la agricultura, se emite una mayor proporción de metano y de óxido nítrico, provenientes de la fermentación entérica y de la utilización de fertilizantes nitrogenados, respectivamente (Lascano *et al.* 2011).

La producción animal aporta el 14,5% de las emisiones de GEI de origen antropogénico, de los cuales, el 20 y 41% provienen de los sistemas de producción bovina, destinados a leche y carne, respectivamente (Gerber *et al.* 2013). La emisión de metano entérico es la categoría con mayor participación en las emisiones de GEI, proveniente de la producción bovina, representando entre el 43 y 47% (Gerber *et al.* 2013).

En Colombia, los sistemas de producción de rumiantes están soportados nutricionalmente en pasturas. La implementación de tecnologías adecuadas para las condiciones tropicales ha permitido un aumento en la producción bovina (Holmann *et al.* 2003); sin embargo, se considera que los parámetros productivos de la ganadería colombiana están muy lejos de países altamente competitivos (FEDEGAN, 2006). Esta menor productividad ha sido asociada con una mayor emisión de GEI, por unidad de producto (Gerber *et al.* 2013).

Finalmente, el metano es un gas con un potencial de calentamiento 28 veces mayor que el dióxido de carbono (IPCC, 2013) y su tiempo de vida en la atmósfera es de, aproximadamente, diez años (Moss *et al.* 2000); con ello, el metano representa una pérdida energética para el animal, que varía entre un 2 y 12% de la energía bruta consumida (Johnson & Johnson, 1995; Kurihara *et al.* 1999). Lo anterior sugiere que el desarrollo de estrategias tendientes a disminuir las emisiones de metano entérico representaría una mayor productividad animal y una menor emisión de GEI del sector. El objetivo del presente documento fue revisar algunas estrategias, que permitan mitigar las emisiones de metano entérico, en sistemas pastoriles.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una búsqueda sistémica de documentos, que evaluaran la producción de metano entérico de rumiantes, haciendo énfasis en sistemas pastoriles. Para tal fin, se utiliza-

ron las bases de datos de Science Direct, Google Académico y SciELO. Adicionalmente, se emplearon las siguientes palabras y su combinación en idioma inglés y español: “methane enteric”, “ruminants” y “pastoral systems”. Los documentos fueron seleccionados por su relevancia. Algunos trabajos reportados en el documento fueron incluidos, para poder dar explicación a las variaciones en las emisiones de metano.

El objetivo de esta revisión es presentar estrategias, que permitan reducir las emisiones de metano entérico en sistemas pastoriles; esta revisión, se organizó de la siguiente forma: descripción de la formación de metano entérico en rumiantes y características de la pradera asociadas a la producción de metano entérico. Además, producto de esta revisión, se realizaron dos figuras que resumen los trabajos revisados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Debido a la diversidad de trabajos reportados en la literatura, este documento se enfoca en describir la producción e identificar características, que permitan explicar las variaciones en las emisiones de metano entérico, según la diversidad botánica y el manejo de la pradera y señalar estrategias, que permitan disminuir estas emisiones y establecer áreas con potencial de investigación. Por este motivo, se revisaron trabajos que hayan sido evaluados en modelos *in vivo* y que la emisión de metano se exprese por unidad de materia seca consumida, a menos que se especifique lo contrario en el texto.

Formación de metano entérico

El metano entérico es producto de la fermentación de macromoléculas en un medio anaerobio, resultado de un complejo sistema simbiótico, entre diferentes grupos microbiales, presentes a lo largo del tracto digestivo (Beauchemin *et al.* 2008). En el rumiante, el 90% de la producción de metano, tiene origen en el retículo-rumen y el 10% restante, se produce en el tracto digestivo posterior que, en su mayoría, es absorbido hacia la sangre, transportado a los pulmones y expulsado por la nariz, durante la respiración. El metano producido en el rumen es eliminado, a través de la boca y la nariz, por medio del eructo y la respiración (Murray *et al.* 1976; Lassey *et al.* 1997).

Los microorganismos del rumen metabolizan los carbohidratos de la dieta, convirtiéndolos, principalmente, en ácidos grasos volátiles, como acetato, propionato y butirato (Beauchemin *et al.* 2008). Además, procesos de biohidrogenación de ácidos grasos insaturados, de reducción de nitratos y de formación de ácido propiónico y metano son considerados sumideros de hidrógeno, lo que permite mantener un ambiente ruminal, capaz de desarrollar procesos eficientes de fermentación anaerobia (Russell & Wallace, 1997).

El metano es reducido, primordialmente, desde dióxido de carbono, por un grupo de microorganismos metanógenos del dominio *Archaea*, entre los que se destacan *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanobacterium formicicum* y *Methanomicrobium mobile* (Stewart *et al.* 1997; Attwood & McSweeney, 2008). Los protozoarios, al parecer, tienen un papel preponderante en la producción de metano en el rumen, ya que adheridos a su pared se han observado microorganismos metanogénicos, sugiriendo una posible transferencia interespecífica de hidrógeno (Giuburunca *et al.* 2014).

Características de las praderas asociadas con la producción de metano entérico

La literatura reporta diversas estrategias, que permiten reducir las emisiones de metano entérico en rumiantes. Eckard *et al.* (2010) proponen que las estrategias de mitigación deben estar enfocadas en el manejo del hato y del animal, la modificación de las poblaciones ruminales y la optimización en la alimentación. En este mismo sentido, Vargas *et al.* (2012) sugieren que, en sistemas pastoriles, la modificación en las características de las pasturas permite modular las emisiones de metano entérico en rumiantes. El reconocimiento de las variaciones y el desarrollo de estrategias, que permitan disminuir las emisiones de metano entérico, son requisitos indispensables para desarrollar programas tendientes a reducir las emisiones de GEI del sector (Pickering *et al.* 2015)

Diversidad botánica de la pradera

La inclusión de diferentes cultivares de *Lolium perenne* con un mayor contenido de carbohidratos solubles ha sido asociada con una menor producción de metano (Jonker *et al.* 2014). La fermentación de carbohidratos solubles promueve la producción de propionato, compitiendo con la formación

de metano (Moss *et al.* 2000). Ellis *et al.* (2012) simularon un incremento entre 20 y 90% en las concentraciones de carbohidratos solubles en la dieta de rumiantes y concluyeron que las emisiones de metano pueden ser incrementadas entre un 2 y 7%, debido a una mayor fermentación ruminal; sin embargo, algunos autores sugieren que la inclusión de carbohidratos no estructurales en la dieta puede disminuir las emisiones de metano por unidad de producto, al incrementar la producción animal (Gerber *et al.* 2013).

Por otra parte, las especies C3 han sido asociadas con una menor producción de metano entérico. Archimède *et al.* (2011) reportan una reducción de 17% en las emisiones de metano de rumiantes alimentados con especies C3 respecto a C4; la menor producción de metano es explicada por la menor concentración de carbohidratos estructurales en especies C3 (Ellis *et al.* 2012). Asimismo, la literatura reporta una mayor producción de metano cuando se incluyen carbohidratos estructurales respecto a carbohidratos solubles, en la dieta de rumiantes (Moe & Tyrrell, 1979).

Las emisiones de metano entérico, debido a la inclusión de leguminosas en la dieta de rumiantes, ha presentado gran variabilidad entre trabajos (Lee *et al.* 2004; Carulla *et al.* 2005). Esta variación puede ser explicada por el nivel de consumo, la digestibilidad de la dieta, la presencia de compuestos secundarios, entre otros (Hammond *et al.* 2014). Al respecto, Archimède *et al.* (2011) reportaron que las leguminosas tropicales producen 14% menos metano, que aquellas de zonas templadas; estos autores sugieren que la presencia de compuestos secundarios podría explicar esta menor producción. En la figura 1 es evidente que la inclusión de leguminosas táníferas en la dieta de rumiantes presenta una disminución en las emisiones de metano respecto a la inclusión de leguminosas, con bajos contenidos de taninos (Vargas *et al.* 2014).

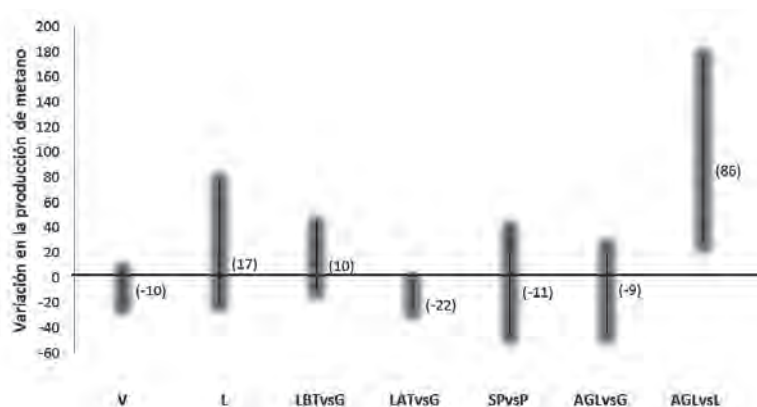


Figura 1. Variación (%) de la emisión de metano entérico en rumiantes, debido a las características de las especies presentes en las praderas. V: Variedades de gramíneas; L: Leguminosas; LBT: Leguminosas bajas en taninos; LAT: Leguminosas altas en taninos; SP: Sistemas pastoriles; P: Pasturas; AGL: Asociación gramínea-leguminosa. () Valores entre paréntesis, promedio de trabajos revisados.

Los taninos condensados en las dietas de rumiantes han sido asociados con la disminución en la degradación de la proteína (Waghorn, 2008), de la fibra (Tiemann *et al.* 2008a) y de la materia seca (Chipatecua *et al.* 2007). Algunos reportes mencionan un efecto bacteriostático o bactericida sobre poblaciones metanogénicas (Tavendale *et al.* 2005). La disminución en la fermentación de nutrientes del alimento y el efecto sobre poblaciones metanogénicas, se podría relacionar con una menor producción de metano entérico en rumiantes, alimentados con leguminosas taníferas (Tiemann *et al.* 2008b).

Pocos trabajos han evaluado las emisiones de metano cuando se incluyen arbóreas en la ración de rumiantes. Ramírez *et al.* (2010) reportan una disminución de 19% en las emisiones de metano por unidad de peso metabólico, cuando incluyó *Salix spp.*, en la dieta de ovinos. A pesar de estos resultados es evidente la necesidad de evaluar la producción de metano en otros arreglos silvopastoriles.

Manejo de la pradera

Algunos trabajos sugieren que el estado de madurez de los forrajes no afecta las emisiones de metano entérico en rumiantes (Pinares *et al.* 2007; Molano & Clark, 2008). La variación en la producción de metano podría ser explicada por las características de las especies evaluadas; por ejemplo, en la figura 2, se observa que la inclusión de gramíneas jóvenes en la dieta aumentó, ligeramente, las emisiones de metano, mientras que las de leguminosas, lo disminuye.

Los forrajes jóvenes presentan características que explicarían una menor producción de metano: la mayor concentración de proteína cruda (Lovett *et al.* 2004) y de ácidos grasos poli-insaturados y la menor concentración de carbohidratos estructurales (Aguilar *et al.* 2009). Aunque no es evidente la disminución en las emisiones de metano cuando se incluyen forrajes jóvenes, algunos autores sugieren que el aumento en la productividad animal resulta en una menor emisión de metano por unidad de producto (Clark *et al.* 2005; Pinares *et al.* 2007).

Por otro lado, la literatura reporta un disminución del 22% en las emisiones de metano por unidad de producto, cuando se utiliza un sistema de pastoreo rotacional respecto a uno continuo (DeRamus *et al.* 2003). La menor producción de metano en los sistemas rotacionales es explicada por una mayor capacidad de carga de sistema de producción resultado en una mayor producción por unidad de área. En este mismo sentido, McCaughey *et al.* (1997) mencionan que el aumento en la carga animal de 1,1 a 2,2 animales por hectárea, disminuyó las emisiones de metano en 15%. La disminución en la concentración de carbohidratos estructurales en la pastura, debido a una modificación en el forraje remanente, aumenta la productividad animal y disminuye las emisiones de metano (Wims *et al.* 2010).

La fertilización de pasturas ha sido asociada con la disminución en la producción de metano, debido, posiblemente, a la mayor concentración de proteína y menor de carbohidratos en el forraje (Murray *et al.* 2001; Ellis *et al.* 2012; Purcell *et*

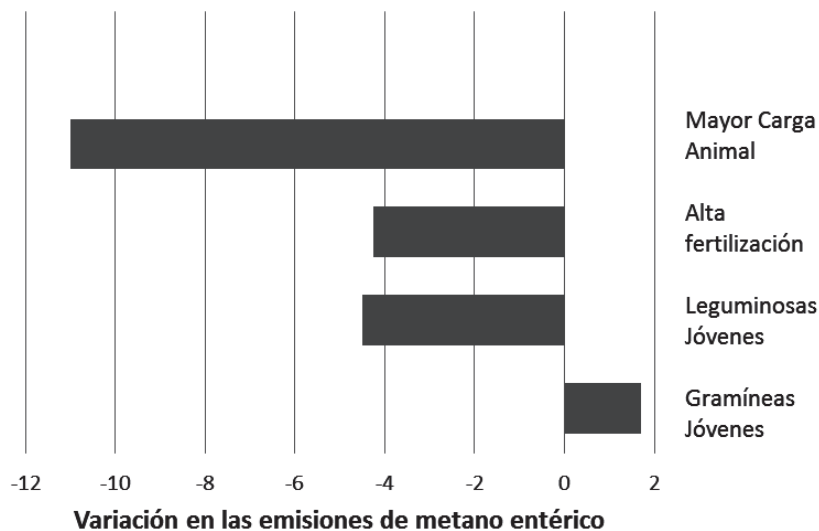


Figura 2. Variación (%) de la emisión de metano entérico en rumiantes, debido al manejo de las praderas.

al. 2014). Además, el aumento en la concentración de nitratos en forrajes fertilizados, se relaciona con la disminución en las emisiones de metano. Los nitratos se reducen hasta amonio en el rumen, pudiendo ser fuente de nitrógeno para algunas poblaciones de microorganismos, en especial, bacterias celulolíticas (Russell *et al.* 1992). Previamente, se ha sugerido que la inclusión de nitratos en la dieta de rumiantes, se relaciona inversamente con las emisiones de metano (Van Zijderveld *et al.* 2011) y se consideran una estrategia de suplementación en dietas, con bajos tenores de proteína (Leng, 2008).

Conclusión

La literatura reporta estrategias que permitirían disminuir hasta un 40% las emisiones de metano entérico de rumiantes, en sistemas pastoriles; sin embargo, existe gran variabilidad dentro de los diferentes trabajos revisados. La inclusión de leguminosas taníferas y la implementación de prácticas, que optimicen el uso de las pasturas, son estrategias promisorias, que permitirían disminuir las emisiones de metano y aumentar la productividad animal. La inclusión de arbóreas y el uso de especies o cultivares con mejor valor nutricional deben ser evaluados con mayor profundidad. Es evidente el poco desarrollo investigativo en regiones tropicales, resultando en una limitada implementación de prácticas de manejo adecuadas a las condiciones particulares de los sistemas de producción nacional.

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.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, O.; MORENO, B.; CÁRDENAS, E.; PABÓN, M.; CARULLA, J. 2009. Efecto del consumo de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) o ryegrass (*Lolium spp.*) sobre la concentración de ácido linoléico conjugado y el perfil de ácidos grasos de la grasa láctea. *Livestock research for rural development*. Volume 21, Article # 49. Disponible desde internet en: <http://www.lrrd.org/lrrd21/4/agui21049.htm> (con acceso 23/01/2015).
- ARCHIMÈDE, H.; EUGÈNE, M.; MARIE, C.; BOVAL, M.; MARTIN, C.; MORGAVI, D.P.; LECOMTE, P.; DOREAU, M. 2011. Comparison of methane production between C3 y C4 grass and legume. *Animal Feed Science and Technology*. 166-167: 54-64.
- ATTWOOD, G.; MCSWEENEY, C. 2008. Methanogen genomics to discover targets for methane mitigation technologies and options for alternative H₂ utilization in the rumen. *Austral. J. Exp. Agr.* 48:28-37.
- BEAUCHEMIN, K.A.; KREUZER, M.; O'MARA, F.; MCALLISTER, T.A. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Austral. J. Exp. Agr.* 48: 21-27.
- CARULLA, J.E.; KREUZER, M.; MACHMÜLLER, A.; HESS, H.D. 2005. Supplementation of *Acacia mearnsii* tannin decreases methanogenesis and urinary nitrogen in forage-fed sheep. *Austral. J. Agr. Res.* 56:961-970.
- CLARK, H.; PINARES-PATIÑO, C.; DEKLEIN, C. 2005. Methane and nitrous oxide emissions from grazed grasslands. En: McGilloway, D.A. (ed). *Grassland: a global resource*. Ed. Wageningen Academic Publishers. (Wageningen, Netherlands). p. 279-293.
- CHIPATECUIA, M.R.; PABÓN, M.L.; CÁRDENAS, E.A.; CARULLA, J.E. 2007. Efecto de la combinación de una leguminosa tanífera (*Lotus uliginosus* cv Maku) con *Pennisetum clandestinum*, sobre la degradación *in vitro* de proteína y materia seca. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 20:40-48.
- DERAMUS, H.A.; CLEMENT, T.C.; GIAMPOLA, D.D.; DICKISON, P.C. 2003. Methane emissions of beef cattle on forage: Efficiency of grazing management system. *J. Environ. Quality*. 32:269-277.
- ECKARD, R.J.; GRAINGER, C.; DE KLEIN, C.A.M. 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. *Livestock Sci.* 130:47-56.
- ELLIS, J.L.; DIKSTRA, J.; FRANCE, J.; PARSONS, A.J.; EDWARDS, G.R.; RASMUSSEN, S.; KEBREAB, E.; BANNINK, A. 2012. Effect of high-sugar grasses on methane emissions simulated using a dynamic model. *J. Dairy Sci.* 95:272-285.
- FAO. 2009. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (Roma, Italy). p.10-34. Disponible desde internet en: <http://www.fao.org/publications/sofa/2013/es/> (con acceso 23/01/2015).
- FEDEGAN. 2006. Plan estratégico de la ganadería Colombiana 2019. Federación colombiana de ganaderos (FEDEGAN). (Bogotá, Colombia). Disponible desde internet en: <http://www.fedegan.org.co//plan>

- estrategico-de-la-ganaderia-colombiana-2019_(con acceso 23/01/2015).
13. GERBER, P.J.; STEINFELD, H.; HENDERSON, B.; MOTTET, A.; OPIO, C.; DIJKMAN, J.; FALCUCCI, A.; TEMPIO, G. 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (Roma, Italia). Disponible desde internet en: <http://www.fao.org/docrep/018/i3437e/i3437e.pdf> (con acceso 23/01/2015).
 14. GIUBURUNCA, M.; CRISTE, A.; COCAN, D.; CONSTANTINESCU, R.; RADUCU, C.; MIRESAN, V. 2014. Methane production in the rumen and its influence on global warming. *ProEnvironment*. 7:64-70.
 15. HAMMOND, K.J.; PACHECO, D.; BURKE, J.L.; KOOLAARD, J.P.; MUIETZEL, S.; WAGHORN, G.C. 2014. The effects of fresh forages and feed intake levels on digesta kinetics and enteric methane emissions from sheep. *Animal Feed Sci. Techn.* 193:32-43.
 16. HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A.K.; ALDAYA, M.M.; MEKONNEN, M.M. 2011. The water footprint manual. Setting the global standard. Ed. Earthscan publishes. (London, UK). p.73-98. Disponible desde internet en: <http://www.waterfootprint.org/?page=files/WaterFootprintAssessmentManual> (con acceso 23/01/2015).
 17. HOLMANN, F.; RIVAS, L.; CARULLA, J.; RIVERA, B.; GIRALDO, L.; GÚZMÁN, S.; MARTÍNEZ, M.; MEDINA, A.; FARROW, A. 2003. Evolución de los sistemas de producción de leche y su interrelación con los mercados: (Un análisis del caso colombiano. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), International Livestock Research Institute (ILRI) y Systemwide Livestock Program (SLP). Documento de trabajo #193. (Cali, Colombia). p.10-100.
 18. IPCC. 2013. The final draft report-Technical Assessment. Work group I contribution to the IPCC 5th assessment report “Climate change 2013: The physical science basis”. Stocker, T.F.; Qin, D.; Plattner, G.K.; Tignor, M.; Allen, S.K.; Boshung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P.M. eds Disponible en internet en: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> (con acceso 23/01/2015).
 19. JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D.E. 1995. Methane emissions from cattle. *J. Animal Sci.* 73:2483-2492.
 20. JONKER, A.; MOLANO, G.; SANDOVAL, E.; TAYLOR, P.S.; ANTWI, C.; COSGROVE, G.P. 2014. Brief communication: Methane emissions by sheep offered high-sugar or conventional perennial ryegrass at two allowance. *Proc. New Zealand Soc. Animal Prod.* 74:145-147.
 21. KURIHARA, M.; MAGNER, T.; HUNTER, R.A.; MCCRABB, G.J. 1999. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *British J. Nutrition.* 81:227-234.
 22. LASCANO, C.E.; CARULLA, J.E.; VARGAS, J.J. 2011. Strategies for reducing methane emissions from ruminants. *Rev. Bras. Geogr. Física.* 06:1315-1335.
 23. LASSEY, K.; MARCUS, J.; ULYATT, J.; MARTIN, R.; WALKER, C.; SHELTON, D. 1997. Methane emissions measured directly from grazing livestock in New Zealand. *Atmosph. Environ.* 31(18):2905-2914.
 24. LEE, J.M.; WOODWARD, S.L.; WAGHORN, G.C.; CLARK, D.A. 2004. Methane emissions by dairy cows fed increasing proportions of with clover (*Trifolium repens*) in pastures. *Proc. New Zealand Grassland Assoc.* 66:151-155.
 25. LENG, R.A. 2008. The potential of feeding nitrate to reduce enteric methane production in ruminants. A Report. The Department of Climate Change, Commonwealth Government of Australia. Disponible desde internet en: <http://www.penambulbooks.com/Downloads/Leng-Final%20Modified%20%2017-9-2008.pdf> (con acceso 23/01/2015).
 26. LOVETT, D.K.; BORTOLOZZO, A.; CONAGHAN, P.; O'KIELY, P.O.; O'MARA, F.P. 2004. *In vitro* total and methane gas production as influenced by rate of nitrogen application, season of harvest and perennial ryegrass cultivar. *Grass Forage Sci.* 59:227-232.
 27. MCCAUGHEY, W.P.; WITTENBERG, K.; CORRIGAN, D. 1997. Methane production by steers on pasture. *Can. J. Animal Sci.* 77:519-524.
 28. MOE, P.W.; TYRRELL, H.F. 1979. Methane production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 62:1583-1586.
 29. MOLANO, G.; CLARK, H. 2008. The effect of level of intake and forage quality on methane production by sheep. *Austral. J. Exp. Agr.* 48:219-222.
 30. MOSS, A.; JOUANY, J.P.; NEWBOLD, J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Ann. Zootechnie.* 29:231-253.

31. MURRAY, P.J.; GILL, E.; BALSDON, S.L.; JARVIS, S.C. 2001. A comparison of methane emissions from sheep grazing pastures with differing management intensities. *Nutrient Cycling in Agrosystems*. 60:93-97.
32. MURRAY, R.M.; BRYANT, A.M.; LENG, R.A. 1976. Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep. *British of Nutrition*. 36:1-14.
33. MURGUEITIO, E.; CHARA, J.D.; SOLARTE, A.J.; URIBE, F.; ZAPATA, C.; RIVERA J.E. 2013. Agroforestería pecuaria y sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 26:313-316.
34. PICKERING, N.K.; CHAGUNDA, M.G.G.; BANOS, G.; MRODE, R.; MCEVAN, J.C.; WALL, E. 2015. Genetic parameters for predicted methane production and laser methane detector measurements. *J. Anim. Sci.* 93:11-20.
35. PINARES, C.S.; WAGHORN, G.C.; MACHMÜLLER, A.; VLAMING, B.; MOLANO, G.; CAVANAGH, A.; CLARK, H. 2007. Methane emissions and digestive physiology of non-lactating dairy cows fed pasture forage. *Can. J. Animal Sci.* 86:601-613.
36. PURCELL, P.J.; BOLAND, T.M.; O'KIELY, P. 2014. The effect of water-soluble carbohydrate concentration and type on *in vitro* rumen methane output of perennial ryegrass determined using a 24-hour batch-culture gas production technique. *Irish J. Agr. Food Res.* 53: 21-36.
37. RAMÍREZ, C.A.; BARRY, T.N.; MARRINER, A.; LÓPEZ-VILLALOBOS, N.; MCWILLIAM, E.L.; LASSEY, K.R.; CLARK, H. 2010. Effects of grazing willow fodder blocks upon methane production and blood composition in young sheep. *Animal Feed Sci. Techn.* 155:33-43.
38. RUSSELL, J.B.; O'CONNOR, J.D.; FOX, D.G.; VAN SOEST, P.J.; SNIFFEN, C.J. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminant fermentation. *J. Animal Sci.* 70:3551-3561.
39. RUSSELL, J.B.; WALLACE, R.J. 1997. Energy-yielding and energy-consuming reactions. En: Hobson, P.N.; Stewart, CS. (eds). *The rumen microbial ecosystem*. Ed. Blackie Academic & Professional Editorial. Second Edition. (London, UK). p.246-279.
40. STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T.; CASTEL, V.; ROSALES, M.; DE HAAN, C. 2006. *Livestock's long shadow – Environmental issues and options*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (Rome, Italy). Disponible desde internet en: <http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.HTM> (con acceso: 23/01/2015).
41. STEWART, C.S.; FLINT, H.J.; BRYANT, M.P. 1997. The rumen bacteria. En: Hobson, P.N.; Stewart, CS. (eds). *The rumen microbial ecosystem*. Ed. Blackie Academic & Professional Editorial. Second Edition. (London, UK). p.10- 72.
42. TAVENDALE, M.H.; MEAGHER, L.; PACHECO, D.; WALKER, N.; ATTWOOD, G.T.; SIVAKUMARAN, S. 2005. Methane production from *in vitro* rumen incubations with *Lotus pedunculatus* and *Medicago sativa*, and effects of extractable condensed tannin fractions on methanogenesis. *Animal Feed Sci. Techn.* 123-124:403-419.
43. TIEMANN, T.T.; RAMÍREZ, G.; LASCANO, C.E.; KREUZER, M.; HESS, H.D. 2008a. The ruminal degradability of fibre explains part of the low nutritional value and reduce methanogenesis in highly tanniferous tropical legumes. *J. Sci. Food Agr.* 88:1794-1803.
44. TIEMANN, T.T.; LASCANO, C.E.; WETTSTEIN, H.R.; MAYER, A.C.; KREUZER, M.; HESS, H.D. 2008b. Effect of the tropical tannin-rich shrub legumes *Calliandra calothyrsus* and *Flemingia macrophylla* on methane emission, nitrogen and energy balance in growing lambs. *Animal*. 2(5):790-799.
45. TILMAN, D.; BALZERB, C.; HILL, J.; BEFORTA, B.L. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proc. Natl Acad. Sci.* 108:20260-20264.
46. VAN ZIJDERVELD, S.M.; GERRITS, W.J.J.; DIJKSTRA, J.; NEWBOLD, J.R.; HÜLSHOF, R.B.A.; PERDOK, H.B. 2011. Persistency of methane mitigation by dietary nitrate supplementation in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94:4028-4038.
47. VARGAS, J.; PABÓN, M.; CARULLA, J. 2014. Producción de metano *in vitro* en mezcla de gramíneas – leguminosas del trópico alto colombiano. *Arch. Zoot.* 63 (243):397-407.
48. VARGAS, J.; CÁRDENAS, E.; PABÓN, M.; CARULLA, J. 2012. Emisión de metano entérico en rumiantes en pastoreo. *Arch. Zoot.* 61(R):51-66.

49. WAGHORN, G. 2008. Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production-Progress and challenges. *Animal Feed Sci. Techn.* 147:116-139.
50. WIMS, C.M.; DEIGHTON, M.H.; LEWIS, E.; O'LOUGHLIN, B.; DELABY, L.; BOLAND, T.M.; O'DONOVAN, M. 2010. Effect of pregrazing herbage mass on methane production, dry matter intake and milk production of grazing dairy cows during the mid-lactation period. *J. Dairy Sci.* 93(10):4976-4985.
- Recibido: Enero 29 de 2015
Aceptado: Junio: 8 de 2015

Cómo citar:

Vargas, J. 2015. Emisión de metano entérico en sistemas pastoriles: estrategias de reducción con potencial práctico. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 417- 424.

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES TERMODINÁMICAS Y TÉRMICAS DEL D-LIMONENO ENCAPSULADO MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN

EVALUATION OF THERMODYNAMIC AND THERMAL PROPERTIES FOR D-LIMONENE ENCAPSULATED BY SPRAY DRYING

Karla Rubiano¹, Jaime Cárdenas², Héctor J. Ciro-Velásquez³

¹Ingeniera Química, Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos. Calle 39A No. 63-20, Medellín, Colombia, e-mail: kdrubiano@unal.edu.co; ²Ingeniero Químico, M.Sc. TECNAS S.A., Departamento de Innovación. Carrera 50G No. 12Sur-29, Medellín, Colombia, e-mail: jcardenas@tecnas.com.co; ³Profesor Asociado, M.Sc., Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos. Calle 39A No. 63-20, Medellín, Colombia, e-mail: hjciro@unal.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 425-434, Julio-Diciembre 2015

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar las propiedades termodinámicas y térmicas del d-limoneno encapsulado, mediante secado por aspersión, determinando las isothermas de sorción, temperatura de transición vítrea, capacidad calorífica, difusividad y conductividad térmica, complementando la caracterización con análisis termogravimétricos (TGA). Las isothermas de sorción, se establecieron por el método gravimétrico dinámico, a temperaturas de 10, 20 y 30°C, ajustando los datos experimentales a los modelos de BET y GAB, dando como resultado que el modelo de GAB fue el de mejor ajuste. De igual forma, el análisis térmico –para el polvo por calorimetría diferencial de barrido (DSC)-, estableció que la temperatura de transición vítrea es de 97,1°C y el análisis termogravimétrico mostró que el producto en polvo presenta una ligera pérdida de volátiles, a 150°C y, posteriormente, se produce una degradación térmica, a temperaturas mayores de 200°C. Asimismo, las propiedades térmicas, tales como la conductividad, difusividad, y el calor específico del producto encapsulado, mostraron los siguientes valores: $0,098 \pm 0,0001 \text{ W/m}^2\text{C}$, $8,7 \times 10^{-8} \pm 0,0001 \text{ m}^2/\text{s}$ y $1,914 \text{ J/g}^{\circ}\text{C} \pm 0,001$, respectivamente.

Palabras clave: Calor de sorción, temperatura de transición vítrea, análisis termogravimétrico.

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the thermodynamic and thermal properties of d-limonene, encapsulated by spray drying determining sorption isotherms, glass transition temperature, heat capacity, thermal conductivity and thermal diffusivity, complementing the characterization with thermogravimetric analysis (TGA). Sorption isotherms were determined by dynamic gravimetric method at temperatures of 10, 20 and 30°C fitting the experimental data to GAB and BET models, showing that the best fit model was GAB model. Also, thermal analysis for the powder by calorimetry differential scanning (DSC) indicated a value of 97.1°C to the glass transition temperature and thermogravimetric analysis showed that the powder presented a slight loss of volatiles at 150°C and subsequently thermal degradation occurs after 200°C. Finally, thermal properties such as conductivity, diffusivity and specific heat of encapsulated product were $0.098 \pm 0.0001 \text{ W/m}^2\text{C}$, $8.7 \times 10^{-8} \pm 0.0001 \text{ m}^2/\text{s}$ and $1.914 \pm 0,0001 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$, respectively.

Key words: Sorption heat, glass transition temperature, thermogravimetric analysis.

INTRODUCCIÓN

El d-limoneno es un terpeno que se extrae de la cáscara de frutas cítricas, como el limón y la naranja. Es ampliamente utilizado en la industria farmacéutica, alimentaria y en perfumería, debido a sus propiedades, como aroma y sabor; sin

embargo, este es un compuesto altamente oxidativo y con elevada sensibilidad a la temperatura, por lo cual, se recurre a técnicas, como la encapsulación, con el fin de proporcionar productos con mayor vida útil y prolongar sus características (Chen *et al.* 2013).

En los productos alimentarios, conocer la naturaleza fisicoquímica del agua ligada es fundamental, para entender su efecto sobre la estabilidad del producto y las condiciones adecuadas de almacenamiento. Algunas propiedades termodinámicas, como la entalpía, la entropía y la energía libre de Gibbs, pueden ser estimadas a partir de las isotermas de sorción, que expresan la relación que existe entre la actividad de agua y el contenido de humedad del producto, a una temperatura y presión constante (Cano-Higuera *et al.* 2013). De igual forma, a partir de las isotermas, se puede predecir propiedades higroscópicas de los alimentos: la estabilidad, seleccionar materiales de empaque adecuados y establecer condiciones en cuanto al almacenamiento, de tal forma que no se deteriore el producto (Argyropoulos *et al.* 2012; Fang *et al.* 2013).

Adicionalmente, las propiedades termodinámicas son útiles para explicar las reacciones y los fenómenos, a nivel molecular, en los materiales y representan la cantidad de energía, el orden o estado excitado y el equilibrio químico de las moléculas de agua, en el interior del material (Brovchenko & Oleinikova, 2008). Asimismo, a partir de estas propiedades, se puede estimar el calor de sorción, que es importante en los procesos de adsorción de agua, para productos en polvo y procesos de secado, ya que representa la energía requerida, para romper las fuerzas intermoleculares entre el vapor de agua y la superficie de producto y se puede utilizar para estimar los requerimientos de energía en procesos de deshidratación y proporciona información importante sobre el estado del agua en los productos (Yan *et al.* 2008).

Las transiciones de fases en los productos alimentarios conllevan variaciones importantes en las propiedades físicas, que afectan la calidad y la estabilidad del producto. Estas transiciones pueden ser de primer orden, cuando se presentan cambios de la primera derivada de la energía libre, con respecto a la temperatura, como los cambios de estado y desnaturalización o, de segundo orden, cuando se generan cambios en la segunda derivada (Roos, 2010). La temperatura de transición vítrea (T_g) es una transición de segundo orden, que refleja los cambios de un producto de estado amorfo a vítreo, debido a modificaciones en la temperatura o humedad; su conocimiento es también importante para conocer la estabilidad durante el almacenamiento, ya que se recomienda emplear temperaturas de almacenamiento por debajo de la T_g (George *et al.* 2014).

De igual forma, es importante realizar una caracterización térmica de los productos alimentarios, mediante la deter-

minación de propiedades, como la capacidad calorífica, conductividad térmica y difusividad térmica. La capacidad calorífica o calor específico hace referencia a la cantidad de energía requerida para aumentar 1°C la temperatura de una muestra y permite la caracterización del estado amorfo, mientras que la conductividad y la difusividad térmica están involucradas en la determinación de la tasa de transferencia de calor, que son útiles en el diseño, la adecuación y la optimización de equipos o de procesos (Sirisomboon & Posom, 2012). Cabe resaltar que actualmente no se encuentra disponible esta caracterización en productos encapsulados.

El objetivo de este estudio fue evaluar las propiedades termodinámicas, temperatura de transición vítrea, calor específico, difusividad y conductividad térmica para el d-limoneno encapsulado, obtenido mediante secado por aspersión, complementando la caracterización con análisis termogravimétricos (TGA), para cuantificación de pérdida de volátiles y descomposición térmica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materias primas y localización. El d-limoneno –empleado como ingrediente activo–, la maltodextrina, la goma arábiga, la pectina de bajo metoxilo y tween 60 fueron proporcionados por Tecnas S.A., Medellín, Colombia. El proceso de secado por aspersión, el estudio de isotermas de sorción y las propiedades térmicas del producto fue llevado a cabo en las instalaciones de la empresa Tecnas S.A. y de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Proceso de secado por aspersión. El polvo fue obtenido a partir de una emulsión con una composición de 10% de d-limoneno, 15,9% de maltodextrina, 15,9% de goma arábiga, 0,4% de pectina de bajo metoxilo, 0,1% de tween 60 y 57,7% de agua. Para su preparación, se disolvieron los materiales de pared y tensoactivos en agua; luego, se adicionó el d-limoneno y se homogenizó a 12.000rpm, en ULTRA-TURRAX T25, IKA; posteriormente, la emulsión fue secada empleando un secador por aspersión marca Vibrasec S.A., con capacidad de evaporación de $1,5\text{Lh}^{-1}$, bajo las siguientes condiciones de operación: $156,7^\circ\text{C}$, como temperatura del aire de entrada; 90°C , temperatura del aire de salida y 30.000rpm, como velocidad del disco atomizador.

Caracterización termodinámica. Se determinaron las isotermas de sorción a partir del método gravimétrico estático (Sormoli & Langrish, 2014), empleando P_2O_5 y soluciones salinas saturadas de CH_3COOK , MgNO_3 , K_2CO_3 , CuCl_2 , NaCl y KCl , especificadas en la tabla 1. Para ello, se colocaron las soluciones y muestras de 2g del encapsulado por triplicado, en recipientes herméticamente cerrados y, posteriormente, se almacenaron a temperaturas de 4, 20 y 30°C , durante 45 días, cuando se alcanzó el equilibrio (Argyropoulos *et al.* 2012).

Tabla 1. Humedad relativa del aire en equilibrio, con disoluciones salinas sobresaturadas de algunas sales, a 4, 20 y 30°C (Martínez *et al.* 1998).

Sal	Actividad de agua (a_w)		
	4°C	20°C	30°C
CH ₃ COOK	0,2338	0,2311	0,2161
K ₂ CO ₃	0,4314	0,4316	0,4317
MgNO ₃	0,5736	0,5587	0,5140
CuCl ₂	0,6800	0,6800	0,6750
NaCl	0,7565	0,7547	0,7509
KCl	0,8677	0,8511	0,8362

Los datos de actividad de agua, de temperatura y de contenido de humedad de equilibrio, obtenidos experimentalmente, fueron ajustados a los modelos de BET, ecuación 1 y GAB, ecuación 2, citados por Andrade *et al.* (2011):

$$X_w = \frac{X_m C a_w}{(1-a_w)(1+(C-1)a_w)} \quad (1)$$

$$X_w = \frac{X_m C K a_w}{(1-K a_w)(1+(C-1) K a_w)} \quad (2)$$

X_w es el contenido de humedad en el equilibrio; X_m es el contenido de humedad en la monocapa; a_w es la actividad de agua y, C y K son constantes para los modelos.

Se determinó la bondad de ajuste de cada modelo a los datos experimentales, mediante el coeficiente de determinación (R^2), menor media cuadrada de la desviación (X^2) y la raíz cuadrada del error medio (E_{RMS}). Para un buen ajuste, se eligió el mayor valor de R^2 y los menores valores de X^2 y E_{RMS} (Goyal *et al.* 2006; Bingol *et al.* 2012):

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (M_{R,exp,i} - M_{R,pre,i})^2}{N-z} \quad (3)$$

$$E_{RMS} = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_{R,exp,i} - M_{R,pre,i})^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

$M_{R,exp,i}$ y $M_{R,pre,i}$ son los datos experimentales y calculados para cada modelo de la humedad de equilibrio (X_w), respectivamente; N es el número de observaciones y, z es el número de constantes de cada modelo.

La ecuación de Clausius-Clapeyron, para el equilibrio líquido-vapor, se aplicó a los datos experimentales de temperatura y de presión de vapor del producto, con el fin de calcular el cambio en la entalpía para diferentes niveles de humedad, asociados con el proceso de sorción, es decir, el calor diferencial de adsorción (Yan *et al.* 2008; Sormoli & Langrish, 2014).

$$\ln P = \frac{-\Delta H}{R} \frac{1}{T} + Cte \quad (5)$$

$$P = P_w^0 a_w \quad (6)$$

Donde, P presión de vapor del agua en equilibrio con el producto, a una temperatura determinada en atm; ΔH es el calor isostérico de sorción kJ/mol; R constante universal de los gases $8,314 \times 10^{-3}$ kJ/mol; T es la temperatura de adsorción K; P_w^0 en atm es la presión de vapor del agua pura y a_w es la actividad de agua, a una temperatura determinada. Luego, se determinó el calor isostérico neto de sorción Q_s , mediante la ecuación 7, que aporta información importante acerca de los cambios energéticos que ocurren en los alimentos, a un nivel de hidratación específico, producidos por cambios diferenciales en la humedad de equilibrio del producto (Viganó *et al.* 2012); adicionalmente, se estableció la energía libre de Gibbs, con la ecuación 8 y la entropía de adsorción, con la ecuación 9:

$$\Delta H = \Delta H_v + Q_s \quad (7)$$

$$\Delta G = R T \ln \left(\frac{P}{P^0} \right) = R T \ln(a_w) \quad (8)$$

$$\Delta S = \frac{\Delta H - \Delta G}{T} \quad (9)$$

Donde, ΔH es el calor isostérico de sorción kJ/mol; ΔH_v , el calor de evaporación del agua kJ/mol; Q_s , calor neto de sorción kJ/mol; ΔG , energía libre de Gibbs kJ/mol y ΔS , entropía de adsorción kJ/molK.

Transición de fases. La temperatura de transición vítrea fue determinada por triplicado, con un calorímetro diferencial de barrido Q2000, TA Instruments, para lo cual, se tomaron 10mg de muestra en un crisol de aluminio, herméticamente sellado. La velocidad de calentamiento y de enfriamiento

modulado, se fijó a 2°C/min, en un rango de temperatura de -10°C a 200°C, con amplitud de 1,3°C y periodo de oscilación de 60s (Chen *et al.* 2013).

La estabilidad térmica del d-limoneno encapsulado, se evaluó mediante análisis termogravimétrico (TGA), en una termobalanza Linseis STA PT1600, de acuerdo a la metodología con algunas modificaciones dada por Wen *et al.* (2014). Se empleó una atmosfera de nitrógeno con flujo de 50mL/min, velocidad de calentamiento de 10°C/min, en un intervalo de temperatura de 20 a 300°C. Se pesaron 10mg de muestra en crisol de aluminio realizándose las determinaciones por duplicado.

Propiedades térmicas. Se determinaron la conductividad (k) y la difusividad térmica (α) del d-limoneno encapsulado, mediante el equipo KD2 Pro, Decagon Devices, Pullman, WA, USA, con la sonda SH-1, el cual, es un sensor de doble aguja con 1,3mm de diámetro, 3cm de largo y 6mm de distancia, entre ellas. Este sensor contiene un elemento de calentamiento y una resistencia térmica, por lo que se insertó verticalmente en la muestra, para asegurar que la convección libre se reduzca al mínimo. Este equipo emplea el método de calor de línea transitoria, para medir la conductividad y la difusividad térmica. Se tomaron cinco mediciones, con un intervalo de 15min, entre cada una, para asegurar la reproducibilidad (França *et al.* 2014); posteriormente, se estableció la densidad de producto, mediante el método del picnómetro y se calculó la capacidad calorífica, de forma indirecta, a partir de la ecuación 10. Este resultado fue comparado con el obtenido, mediante el análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC):

$$C_p = \frac{k}{\rho\alpha} \quad (10)$$

Donde, κ es la conductividad (W/mK); ρ es la densidad (kg/m³) y, α es la difusividad térmica (m²/s) del d-limoneno encapsulado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1, se presenta la relación que existe entre la actividad de agua y el contenido de humedad de equilibrio, es decir, las isothermas de sorción, para el d-limoneno encapsulado. Las curvas describen una forma sigmoidea tipo II, las cuales, son típicas en productos alimentarios; se caracterizan porque el producto adsorbe pequeñas cantidades de agua a valores bajos de actividad de agua, seguido por una adsorción gradual de humedad al aumentar la actividad de agua, de acuerdo con lo reportado por Argyropoulos *et al.* 2012. También, se observa –a partir de los resultados–, que existe una relación entre el incremento de la temperatura y la disminución en el contenido de humedad, por lo cual, la hi-

groscopicidad del encapsulado disminuye con el incremento de la temperatura; resultados similares han sido reportados por Fang *et al.* (2013), para el d-limoneno encapsulado con β -ciclodextrina y Cano-Higueta *et al.* (2013), en mango en polvo que contenía maltodextrina y leche desnatada.

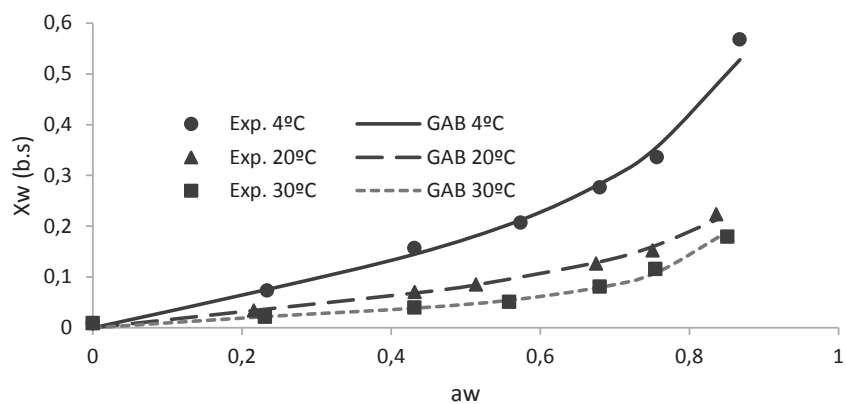
En la tabla 2, se registran los parámetros para los modelos de GAB y BET y los respectivos coeficientes de determinación, la menor media cuadrada de la desviación y el error medio para cada modelo. Se observa que el modelo de GAB mostró un mejor ajuste a los datos experimentales, con mayores coeficientes de determinación para todas las temperaturas analizadas y los menores valores de X^2 y E_{RMS} ; aunque para 30°C estos fueron ligeramente mayores, posiblemente, a variaciones aleatorias en la cámara climática empleada.

La humedad de la monocapa (X_m), que establece la cantidad de agua que se encuentra fuertemente ligada al alimento, disminuyó con el aumento de la temperatura para ambos modelos, lo que se puede deber a la menor disponibilidad de agua en las uniones puntos activos-H₂O o H₂O-H₂O (Westgate *et al.* 1992). Asimismo, un aumento de la temperatura provoca una mayor activación de las moléculas de agua, debido al aumento en el nivel de energía, favoreciendo, de este modo, el rompimiento de los enlaces moleculares de agua y, por lo tanto, una disminución en el contenido de humedad de la monocapa. Para el modelo de GAB, el de mejor ajuste, varió entre 2,69 y 9,2%. Resultados similares fueron reportados por Fang *et al.* (2013), al emplear 9,68% de limoneno.

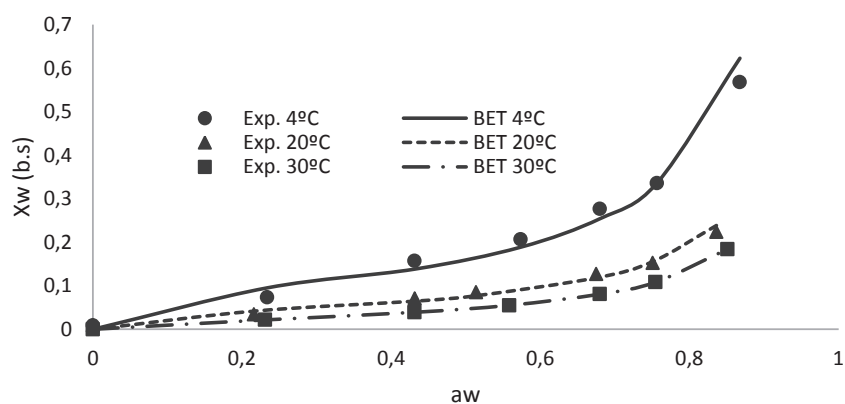
La constante C relaciona el calor de sorción de la primera capa en los sitios primarios de la muestra y presentó valores entre 2,80 y 5,48, similares a los reportados por Cano-Higueta *et al.* (2013), reflejando un aumento con la temperatura; similarmente, el valor K, que proporciona una medida de la interacción de las moléculas en las multicapas con el producto, registró valores entre 0,87-1,01 y también aumentó con el incremento de la temperatura. Según lo anterior, a una mayor temperatura aumentan las interacciones entre el agua y el alimento, causando un incremento en la constante C y K, de acuerdo con lo reportado por Lavoyer *et al.* (2013). Los resultados obtenidos para el modelo de GAB coinciden con otros estudios realizados en aceites esenciales encapsulados y jugo de naranja en polvo (Fernandes *et al.* 2014; Sormoli & Langrish, 2014).

En la figura 2, se explica la caracterización termodinámica para el d-limoneno encapsulado, a partir del calor isostérico de sorción, energía libre de Gibbs y entropía, que fueron calculados con el modelo de GAB y las ecuaciones descritas previamente.

El calor isostérico neto de sorción para el d-limoneno encapsulado varió entre 15,17 y 20,82kJ/mol, presentando un au-



A



B

Figura 1. Isotermas de sorción para el d-limoneno encapsulado bajo el modelo de GAB (A) y BET (B).

Tabla 2. Parámetros para el modelo de GAB y BET, a diferentes temperaturas.

MODELO	PARÁMETROS	4°C	20°C	30°C
GAB	X_m	0,092	0,0641	0,0269
	C	2,8037	3,3027	5,4873
	k	0,8702	0,8716	1,0127
	R^2	0,9387	0,9722	0,9748
	X^2	0,0008	$9,36 \times 10^{-5}$	$8,43 \times 10^{-5}$
	E_{RMS}	0,0197	0,0068	0,0065
BET	X_m	0,0829	0,0395	0,0284
	C	23,9952	17,3937	4,6553
	R^2	0,9174	0,9472	0,9644
	X^2	0,0012	0,00013	$4,48 \times 10^{-5}$
	E_{RMS}	0,0280	0,0095	0,0055

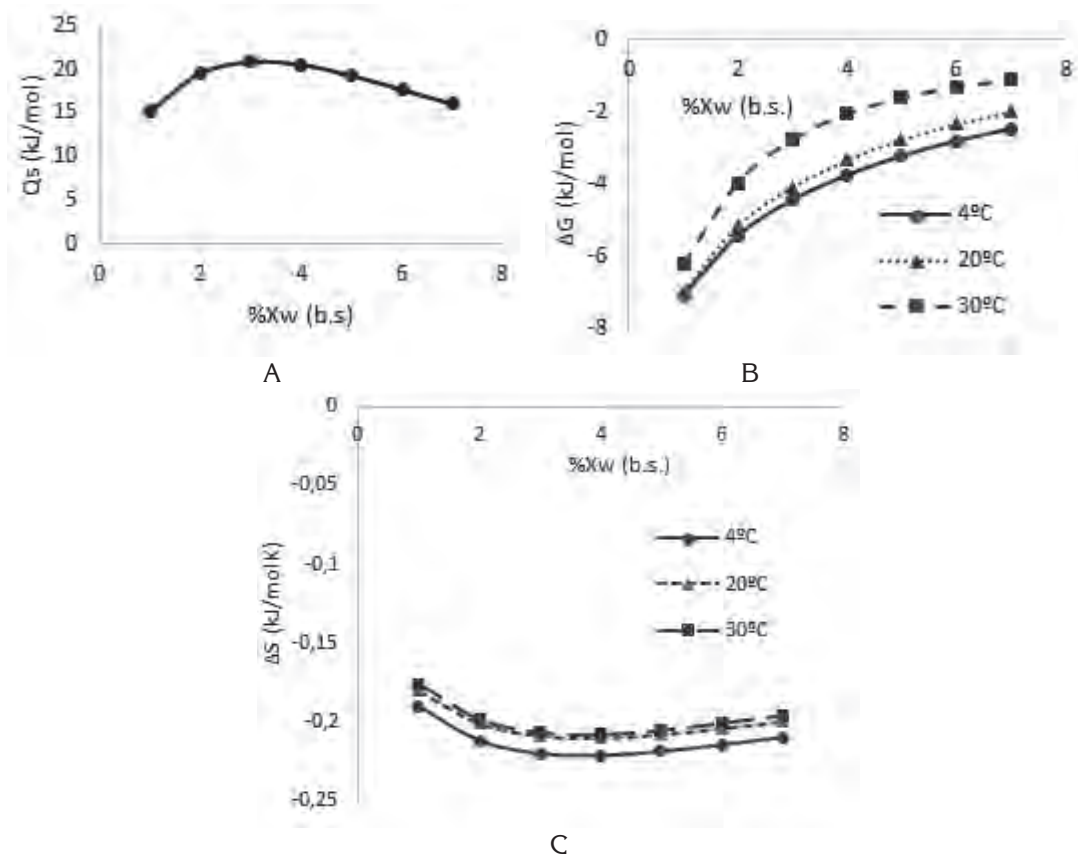


Figura 2. Caracterización termodinámica para el d-limoneno encapsulado: (A) Calor isostérico neto de sorción (Qs); (B) cambio de la energía libre de Gibbs (DG) y (C) cambio de la entropía (ΔS).

mento con bajos contenidos de humedad hasta 3% y, luego, tiende a disminuir, con una humedad mayor de 4% (Figura 2A); comportamientos similares han sido reportados para el calor isostérico neto de polvo de naranja (Sormoli & Langrish, 2014). Cabe resaltar, que el contenido de humedad, donde el calor de sorción es máximo, se ajusta aproximadamente al valor de la monocapa, que representa la humedad del producto, cuando los sitios de adsorción primarios están saturados por moléculas de agua, lo que ocasiona que el vapor de agua sea adsorbido en zonas menos accesibles, por lo que el calor de sorción es mayor, justo antes de la finalización de la monocapa (Martínez *et al.* 2014). El decrecimiento progresivo del calor de sorción con el incremento del contenido de humedad, se debe a que en el proceso inicial se produce en los sitios disponibles más activos, dando lugar a una alta energía de interacción y, a medida que estos sitios de forma progresiva se ocupan, la sorción se produce en los sitios menos activos, dando lugar a un menor requerimiento de energía.

La energía libre de Gibbs relaciona el trabajo necesario para que el producto tenga sitios disponibles para la sorción. Los resultados obtenidos indican que la adsorción de agua –para el d-limoneno encapsulado- es un proceso espontáneo, ya que se obtuvieron valores negativos ($ΔG < 0$), que es característico de fenómenos de adsorción. De la figura 2B, se observa que la energía libre de Gibbs tiende a cero, cuando el contenido de humedad es mayor, ya que habrá menos sitios disponibles para la sorción, con altos contenidos de humedad. Asimismo, la energía libre de Gibbs disminuye al aumentar la temperatura, debido a que cuando se incrementa esta variable la vibración de las moléculas aumenta, requiriéndose menos trabajo, para que haya sitios disponibles para la sorción (Goneli *et al.* 2013). Por lo tanto y de acuerdo con los resultados, el d-limoneno encapsulado será más higroscópico si se almacena a una baja temperatura; resultados similares fueron encontrados para mango y para piña en polvo (Viganó *et al.* 2012; Cano-Higueta *et al.* 2013).

El cambio en la entropía es proporcional al número de sitios de adsorción, disponibles en un nivel específico de energía y está asociado con las fuerzas de atracción o repulsión, presentada por la interfase del agua y el absorbente (Ceballos *et al.* 2013). La figura 2C muestra una tendencia a disminuir ΔS ligeramente, con un aumento del contenido de humedad, tendencia que puede ser explicada por el hecho que un aumento del contenido de humedad implica menos sitios de unión disponibles y, por lo tanto, una disminución de la entropía.

Adicionalmente, se observa que el cambio de entropía diferencial (ΔS) es menor con la disminución de la temperatura. Este comportamiento, se debe a que la energía cinética de las moléculas, que actúan en el intercambio de agua, es menor al disminuir la temperatura y, por lo tanto, tienen menor movilidad. Los resultados para el d-limoneno encapsulado corresponden a valores negativos, que se puede atribuir a la

existencia de adsorción química y modificaciones estructurales en el adsorbente, que ocasiona una pérdida de movilidad de las moléculas de agua, durante la sorción (Xiao & Tong, 2013).

La figura 3 muestra el termograma obtenido por DSC, para el d-limoneno encapsulado, donde se observa que la temperatura de transición vítrea es aproximadamente 97,1°C, comenzando en 93,1°C y con un punto final, en 107,5°C. El alto valor en la temperatura de transición vítrea es debido al bajo contenido de humedad del producto, lo que, a su vez, evita problemas de apelmazamiento y de plastificación (Subramaniam *et al.* 2013). También, se observa que alrededor de 150°C se genera un pico endotérmico en el flujo de calor total y debido a que este pico coincide con la señal del flujo de calor no reversible, representa una pérdida de algún componente volátil en ese rango de temperatura, que podría ser el d-limoneno.

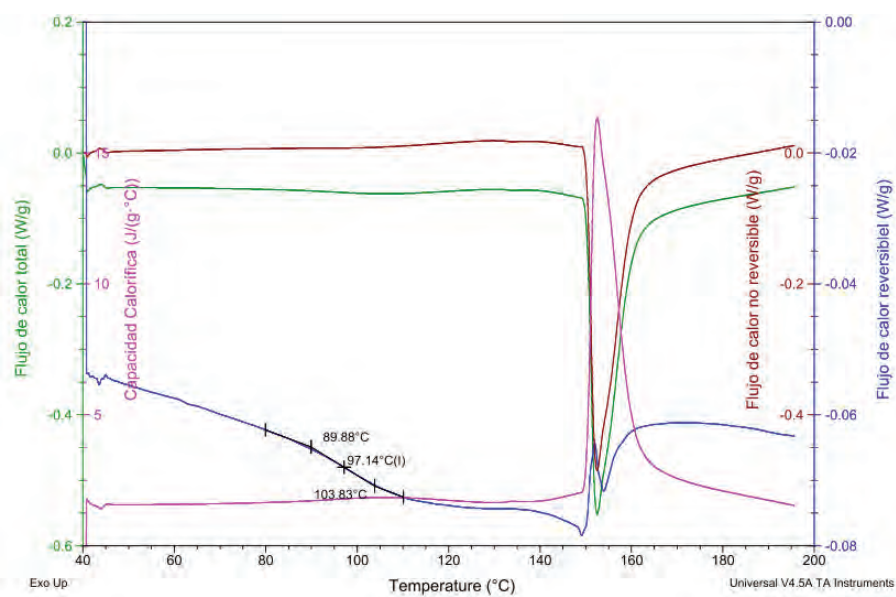


Figura 3. Análisis térmico con DSC para el d-limoneno encapsulado, mediante secado por aspersión.

La maltodextrina y goma arábiga, componentes de mayor proporción en el polvo, tienen temperaturas de transición vítrea de 162°C y 280°C, respectivamente (Kurozawa *et al.* 2009), mientras que en el producto encapsulado, se presenta una disminución, debido a la presencia de componentes de bajo peso molecular, como el d-limoneno. De igual forma, la temperatura de transición vítrea, obtenida para el producto, garantiza su estabilidad durante el almacenamiento, puesto que las temperaturas son menores de 40°C y, a su

vez, en el proceso de secado por aspersión, donde la temperatura de salida fue 90°C.

De las curvas termogravimétricas (TGA), para dos muestras del producto en polvo (Figura 4), se puede observar que el d-limoneno encapsulado presenta una buena estabilidad térmica, a temperaturas menores de 150°C, ya que no hay pérdida de masa o volátiles significativa, lo que indica la estabilidad de las microcápsulas, en ese rango de temperatura;

sin embargo, al aumentar la temperatura, se observa una leve pérdida de masa, que corresponde a pérdida de volátiles, que coinciden con los resultados reportados mediante el DSC en el flujo de calor no reversible; posteriormente, por encima de 200°C, las microcápsulas se van descomponiendo y pierden casi toda su masa, por encima de 300°C; esta pérdida, se puede atribuir a la degradación de los polisacáridos presentes en el producto encapsulado, como goma arábica y maltodextrina, que se emplearon como materiales de pared en la encapsulación, ya que se ha encontrado en la literatura que la descomposición térmica de los polisacáridos se encuentran en esta región e, incluye, varios procesos, como la deshidratación, la despolimerización y la formación de las estructuras de grafito y de carbonos aromáticos (Wen *et al.* 2014). De igual forma, los resultados encontrados concuerdan con Levic *et al.* (2011), quienes hicieron un análisis termogravimétrico al d-limoneno encapsulado con alginato y polivinil alcohol, encontrando que no hay una pérdida de masa significativa, hasta 200°C y evidenciando la estabilización térmica con la encapsulación.

Los resultados del análisis de propiedades térmicas –en un rango de temperatura de 25 a 40°C, mostraron que el d-limoneno encapsulado tiene una conductividad térmica de $0,098 \pm 0,0001 \text{ W/mK}$ y difusividad térmica de $8,7 \times 10^{-8} \pm 0,0001 \text{ m}^2/\text{s}$. Se puede observar que el valor de la conductividad es bajo, debido a la baja humedad del producto. De acuerdo con Aviara *et al.* (2008), la conductividad aumenta al incrementar la humedad y la temperatura. De igual forma, los resultados encontrados para la difusividad y la conductividad térmica son similares a los reportados por otras investigaciones, en mediciones de propiedades térmicas de semillas (Aviara *et al.* 2008; Sirisomboon & Posom, 2012) y de harina de trigo (Huang & Liu, 2009), pero para matrices formuladas con d-limoneno encapsulado, no han sido reportadas. Por otro lado, la densidad del polvo, calculada mediante el método del picnómetro, fue de $582,683 \text{ kg/m}^3 \pm 0,15$, con una humedad del 2,22%, en base húmeda y, con estos resultados, fue utilizada la ecuación 8, obteniéndose un calor específico de $1,914 \text{ J/gK}$, mientras que para el análisis con DSC, se registró un valor $1,791 \text{ J/gK}$, que son

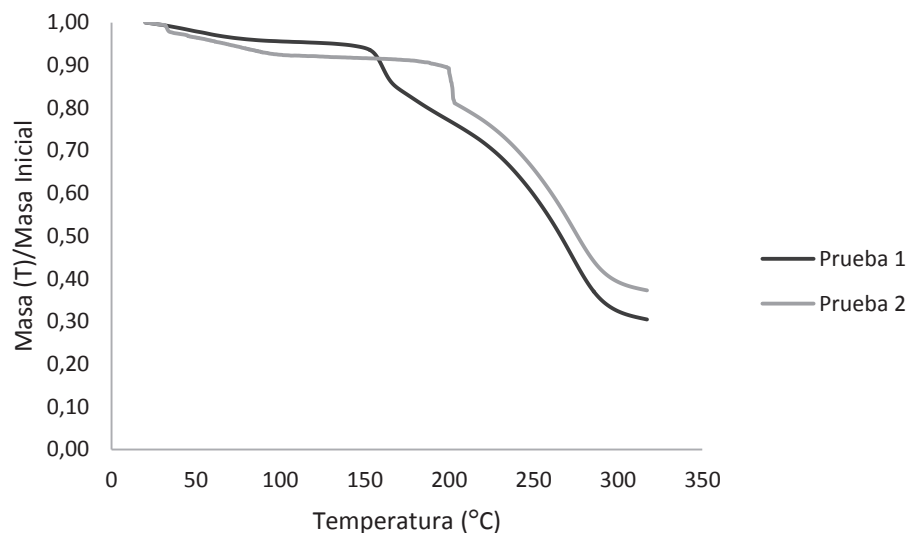


Figura 4. Análisis termogravimétrico para el d-limoneno encapsulado, mediante secado por aspersión, realizado a dos muestras bajo condiciones similares, especificadas como prueba 1 y 2.

muy próximos; sin embargo, si se aplica la ecuación de Siebel para calcularla (Onita & Ivan, 2005), se obtiene un valor de $0,912 \text{ J/gK}$, que son diferentes, debido a que esta última aproximación es más aplicable y válida a sólidos secos de frutas libres de grasa.

Se concluye, que la isoterma de sorción para el d-limoneno presenta una forma sigmoidea tipo II y el modelo de GAB

mostró un mejor ajuste en el modelamiento de los datos experimentales, en el intervalo de actividad de agua, entre 0 y 0,836, a temperaturas de 4, 20 y 30°C. También, se evidencia que el d-limoneno encapsulado es estable a las condiciones de almacenamiento, ya que posee una alta temperatura de transición vítrea ($97,1^\circ\text{C}$) y, a su vez, es estable térmicamente hasta 150°C, debido a la protección de los materiales de cobertura empleados. Las propiedades térmicas para el

d-limoneno encapsulado fueron conductividad térmica de 0,098W/mK, difusividad de $8,7 \times 10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$ y calor específico 1,914J/gK, reflejando que el producto en polvo es estable, debido a su baja conductividad térmica, relacionada con el bajo contenido de humedad y es estable en las condiciones de almacenamiento.

Agradecimientos. Los autores expresan sus agradecimientos a la Dirección de Investigaciones Sede Medellín (DIME) de la Universidad Nacional de Colombia, a Colciencias y a la empresa Tecnas S.A., por el apoyo financiero y de infraestructura recibido. **Conflictos de intereses:** El artículo 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 Tecnas S.A., Colciencias y la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARGYROPOULOS, D.; ALEX, R.; KOHLER, R.; MÜLLER, J. 2012. Moisture sorption isotherms and isosteric heat of sorption of leaves and stems of lemon balm (*Melissa officinalis L.*) established by dynamic vapor sorption. LWT - Food Sci. Techn. (Estados Unidos). 47(2):324-331.
2. ANDRADE, R.; LEMUS, R.; PÉREZ, C. 2011. Models of sorption isotherms for food: uses and limitations. VITAE, Rev. Fac. Química Farmacéutica (Colombia). 18(3):325-334.
3. AVIARA, N.; HAQIE, M.; OGÚNJIMI, L. 2008. Thermal properties of gona seed. Int. Agrophysics (Polonia). 22:291-297.
4. BINGOL, G.; PRAKASH, B.; PAN, Z. 2012. Dynamic vapor sorption isotherms of medium grain rice varieties. LWT - Food Sci. Techn. 48(2):156-163.
5. BROVCHENKO, I.; OLEINIKOVA, A. 2008. Interfacial and Confined Water. Ed. Elsevier (Inglaterra). 305p.
6. CANO-HIGUITA, D.; VILLA, H.; TELIS, J.; VÁQUIRO, H.; NICOLETTI, V. 2013. Influence of alternative drying aids on water sorption of spray dried mango mix powders: A thermodynamic approach. Food Biopr. Process. (Reino Unido). 93:19-28.
7. CEBALLOS, A.; GIRALDO, G.; ORREGO, C.; TELIS, J. 2013. Sorption thermodynamics of soursop powders obtained by different dehydration technologies. Rev. Fac. Nal. Agr.-Medellín. 66(2):7107-7116.
8. CHEN, Q.; MCGILLIVRAY, D.; WEN, J.; ZHONG, F.; QUEK, S. 2013. Co-encapsulation of fish oil with phytosterol esters and limonene by milk proteins. J. Food Eng. 117(4):505-512.
9. FANG, Z.; COMINO, P.; BHANDARI, B. 2013. Effect of encapsulation of D -limonene on the moisture adsorption property of β -cyclodextrin. LWT - Food Sci. Techn. 51(1):164-169.
10. FERNANDES, R.; BORGES, S.; BOTREL, D. 2014. Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. Carbohydr. Polymers (Reino Unido). 101:524-532.
11. FRANÇA, J.; REIS, F.; VIEIRA, S.; LOURENÇO, M.; SANTOS, F.; NIETO DE CASTRO, C.; PÁDUA, A. 2014. Thermophysical properties of ionic liquid dicyanamide (DCA) nanosystems. J. Chem. Thermodyn. (Estados Unidos). 79:248-257.
12. GEORGE, P.; LUNDIN, L.; KASAPIS, S. 2014. Effect of thermal denaturation on the mechanical glass transition temperature of globular protein/co-solute systems. Food Hydrocoll. 41:156-163.
13. GONELI, A.; CORRÉA, P.; OLIVEIRA, G.; AFONDO, P. 2013. Water sorption properties of coffee fruits, pulped and green coffee. LWT - Food Sci. Techn. 50(2):386-391.
14. GOYAL, R.; KINGSLEY, A.; MANIKANTAN, M.; ILYAS, S. 2006. Thin-layer Drying Kinetics of Raw Mango Slices. Biosystems Eng. (Estados Unidos). 95(1):43-49.
15. HUANG, L.; LIU, L. 2009. Simultaneous determination of thermal conductivity and thermal diffusivity of food and agricultural materials using a transient plane-source method. J. Food Eng. 95(1):179-185.
16. KUROZAWA, L.; PARK, K.; HUBINGER, M. 2009. Effect of maltodextrin and gum arabic on water sorption and glass transition temperature of spray dried chicken meat hydrolysate protein. J. Food Eng. 91(2):287-296.
17. LAVOYER, F.; GABAS, A.; OLIVEIRA, W.; TELIS, J. 2013. Study of adsorption isotherms of green coconut pulp. Ciênc. Tecn. Alimentos, Campinas (Brasil). 33(1):68-74.
18. LEVIC, S.; RAC, V.; MANOJLOVI, V.; RAKI, V.; BUGARSKI, B.; FLOCK, T.; KRZYCZMONIK, K.; NEDOVI, V.

2011. Limonene encapsulation in alginate/poly (vinyl alcohol). *Procedia Food Sci.* (Inglaterra). 1:1816-1820.
19. MARTÍNEZ, R.; HEREDIA, A.; CASTELLÓ, M.; ANDRÉS, A. 2014. Moisture sorption isotherms and isosteric heat of sorption of dry persimmon leaves. *Food Biosci.* (Reino Unido). 7:88-94.
20. MARTÍNEZ, N.; ANDRÉS, A.; CHIRALT, A.; FITO, P. 1998. *Termodinámica y Cinética de Sistemas: Alimento y Entorno*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia (España). 372p.
21. ONITA, N.; IVAN, E. 2005. Estimation of the specific heat and thermal conductivity of foods only by their classes of substances contents (water, proteins, fats, carbohydrates, fibers and ash). *Agroalimen. Process. Techn.* (Romania). 10(1):217-222.
22. ROOS, Y. 2010. Glass transition temperature and its relevance in food processing. *Ann. Rev. Food Sci. Techn.* (Estados Unidos). 1:469-496.
23. SIRISOMBOON, P.; POSOM, J. 2012. Thermal properties of *Jatropha curcas L.* kernels. *Biosystems Engineering* (Estados Unidos). 113(4):402-409.
24. SORMOLI, M.; LANGRISH, T. 2014. Moisture sorption isotherms and net isosteric heat of sorption for spray-dried pure orange juice powder. *LWT Food Sci. Techn.* Disponible desde Internet en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.064> (con acceso 10/11/2014).
25. SUBRAMANIAM, A.; VEAZEY, R.; SCHOBER, A.; RADA, A.; RONG, Y.; SLEEUWEN, R.; GOLDING, R.; ZHANG, S.; NORMAND, V. 2013. Orange oil stability in spray dry delivery systems. *Carbohydr. Polymers.* 97(2):352-357.
26. VIGANÓ, J.; AZUARA, E.; TELIS, V.; BERISTAIN, C.; JIMÉNEZ, M.; TELIS, T. 2012. Role of enthalpy and entropy in moisture sorption behavior of pineapple pulp powder produced by different drying methods. *Thermochimica Acta* (Holanda). 528:63-71.
27. WEN, CH.; YUAN, Q.; LIANG, Q.; VRIESEKOOP, F. 2014. Preparation and stabilization of d-limonene Pickering emulsions by cellulose nanocrystals. *Carbohydr. Polymers.* 112:695-700.
28. WESTGATE, N.; LEE, J.; LADISCH, M. 1992. Modelling Of Equilibrium Sorption of Water Vapour on Starchy Materials. *Am. Soc. Agr. Eng.* (Estados Unidos). 35:213-219.
29. XIAO, Q.; TONG, Q. 2013. Thermodynamic properties of moisture sorption in pullulan-sodium alginate based edible films. *Food Res. Int.* 54(2):1605-1612.
30. YAN, Z.; SOUSA, M.; OLIVEIRA, F. 2008. Sorption isotherms and moisture sorption hysteresis of intermediate moisture content banana. *J. Food Eng.* 86(3):342-348.

Recibido: Febrero 10 de 2015

Aceptado: Julio 1 de 2015

Cómo citar:

Rubiano, K.; Cárdenas, J.; Ciro-Velásquez, H.J. 2015. Evaluación de las propiedades termodinámicas y térmicas del d-limoneno encapsulado mediante secado por aspersión. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 425-434.

EXTRACCIÓN DE PECTINA DEL FRUTO DEL HIGO (*Opuntia ficus indica*) Y SU APLICACIÓN EN UN DULCE DE PIÑA

EXTRACTION OF PECTIN FROM PRICKLY PEAR *Opuntia ficus indica* AND ITS APPLICATION IN THE DEVELOPMENT OF A PINEAPPLE SWEET

Sandra P. Chaparro¹, Ruby A. Márquez², Jenny P. Sánchez³, Mónica L. Vargas⁴, Jesús H. Gil⁵

¹ Químico de alimentos, Especialista y Magister en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Profesora Asistente. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Avenida Central del Norte, Tunja, e-mail: patricia.chaparro@uptc.edu.co; ² Licenciada en Biología y Química, Especialista en Bioquímica, Profesora Asistente. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Avenida Central del Norte, Tunja, e-mail: ruby.marquez@uptc.edu.co; ³ Químico de Alimentos; ⁴ Químico de alimentos; ⁵ Químico, Doctor en Ciencias Químicas, Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia -Sede Medellín-, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. A.A.1779, Medellín, Colombia, e-mail: jhgilg@unal.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 435-443, Julio-Diciembre, 2015

RESUMEN

En Colombia, el higo (*Opuntia ficus indica*) se cultiva en zonas áridas y semiáridas, con fines de abastecer el mercado interno y el de exportación; no obstante, durante el cultivo y la poscosecha, se producen daños y pérdidas considerables del fruto, que hacen necesario la búsqueda de alternativas, para el aprovechamiento de los frutos, en la cadena agroindustrial. En el presente estudio, se llevó a cabo la extracción de la pectina del fruto de higo y se empleó en la elaboración de un dulce tradicional de piña. Se realizó el análisis bromatológico y la extracción de pectina del fruto de higo en tres estados de maduración: verde, madurez intermedia y maduro, con resultados concordantes, con otros estudios previos. El rendimiento de la extracción de la pectina en estado verde fue de 9,14%, con un grado de esterificación del 62%, lo que indica que es una pectina de alto metoxilo y gelificación lenta, apta en la industria alimentaria, para la elaboración de conservas, como mermeladas y dulces, en general. La viscosidad del gel elaborado con la pectina comercial fue más fuerte que el de la pectina extraída del fruto de higo; sin embargo, cuando se elaboró un dulce de piña, usando la pectina extraída del higo, como agente gelificante y se comparó sensorialmente con un producto comercial de piña, se obtuvo niveles altos de aceptabilidad del producto procesado, en cuanto a color, olor, sabor y textura. En conclusión, de los frutos verdes del higo, se obtiene una pectina de alto metoxilo y gelificación lenta, que puede ser aprovechada

como materia prima en la elaboración de dulces de piña, con buena aceptación sensorial.

Palabras clave: Higo, gelificación, bocadillo.

SUMMARY

In Colombia, prickly pear (*Opuntia ficus indica*) is grown in arid and semi-arid areas for the domestic market and export. However, during the cultivation and postharvest fruit damage and significant losses are produced, for that reason it is necessary to find alternatives for the use of the fruit in the agro-industrial chain. In the present study prickly pear pectin was extracted and used in the preparation of a traditional pineapple jam. Compositional analysis and extraction of prickly pear fruit pectin in three states of maturation (green, intermediate and mature maturity) was conducted, with results consistent with previous studies. The extraction yield of pectin in green condition was 9.14% with a degree of esterification of 62%, indicating that is a high methoxyl pectin and slow gelation, suitable in the food industry for jams and candies. The viscosity of the gel elaborated with commercial pectin was stronger than that obtained with the extracted pectin from the prickly pear. However, when a pineapple jam was prepared using the prickly pear extracted pectin as a gelling agent, and was compared sensorially with a commercial product pineapple, high levels of product acceptability in terms of color, odor, taste and texture was

obtained. In conclusion, green fruits of prickly pear can be attained a high methoxyl pectin with slow gelation and can be utilized as raw material in the production of pineapple jam with good sensory acceptance.

Key words: Prickly pear, gelation, traditional sweet.

INTRODUCCIÓN

Opuntia ficus indica (L.) Miller. es una planta tropical, que pertenece a la familia Cactaceae, ampliamente distribuida en África, en Europa, en suroeste de Estados Unidos y en Suramérica; hay cerca de 258 especies reconocidas, 100, de las cuales, están en México, donde se registran 10.000 hectáreas cultivadas (Villabona *et al.* 2013). Este cactus crece de forma silvestre en regiones áridas y semáridas y su fruto (higo, en Colombia; tuna, en México y otros países) es fuente natural de carbohidratos, de proteínas, de grasa y de micronutrientes, como vitaminas y minerales, especialmente, calcio (Sepúlveda *et al.* 2007; Stintzing & Carle, 2005; McConn & Nakata, 2004); además, contiene pectinas, fitoquímicos y mucílagos (Hernández *et al.* 2011), que han sido estudiados, como coagulante natural, en la purificación de aguas (Beta-tache *et al.* 2014; Villabona *et al.* 2013). Se ha demostrado que los frutos tienen propiedades antiulcerogénicas (Galati *et al.* 2005), actividad antioxidante (Tesoriere *et al.* 2004; Gentile *et al.* 2004), antiinflamatoria (Park *et al.* 2001) y anticancerígena (Zou *et al.* 2005) y pueden ser usados para el tratamiento de gastritis, de hiperglicemia, de aterosclerosis y de diabetes (Agozzino *et al.* 2005). El fruto tiene potencial para ser usado en las industrias en muchos países, debido, principalmente, a su color atractivo, ocasionado por la presencia de pigmentos carotenoides y betalainas, que varían desde el rojo hasta el amarillo (Stintzing & Carle, 2005). En Colombia, este fruto se consume directamente o en jugos y aunque prevalecen las pequeñas plantaciones con baja productividad y rentabilidad, se está incentivando su cultivo, por su potencial, dentro del que se encuentra un alto contenido de pectinas, un polisacárido del ácido galacturónico, que se encuentran en alta proporción en esta planta (Habibi *et al.* 2005). La pectina constituye cerca de la tercera parte (en base seca) de las paredes celulares de la mayoría de las frutas, siendo las cáscaras de manzana y los cítricos, la principal fuente comercial (10-15% y 20-30% peso en base seca, respectivamente) (Srivastava & Malviya, 2011); sin embargo, se han buscado nuevas fuentes alternativas de pectina para aprovechar los recursos naturales disponibles en los diversos ecosistemas; por lo tanto, se han aislado pectinas de tejidos vegetales y residuos o subproductos de plantas de procesamiento de frutas (Lira *et al.* 2014).

La pectina es un ingrediente importante en la industria alimentaria, donde es usado como gelificante en mermeladas y jaleas, espesante, emulsificante y estabilizante en produc-

tos lácteos, margarinas, mayonesa y salsas o sustitutos de la grasa en confitería y en helados (Casas *et al.* 2015). Este polisacárido, también se han usado para mejorar las propiedades mecánicas de las películas y recubrimientos de proteínas (Pérez *et al.* 2013). En particular, en la industria Colombiana, la pectina se emplea como gelificante de diversos dulces de fruta, como piña, mora y fresa. La piña, conocida como *Ananas comosus*, es el miembro más notable de la familia *Bromeliaceae* y es ampliamente cultivada en los países tropicales. Además, es una fruta exótica, que tiene gran demanda, para ser consumida en fresco, en pulpa, en concentrados, en productos deshidratados, en jugos, en enlatados, en mermeladas y en dulces (Hashib *et al.* 2015).

El objetivo de este trabajo fue caracterizar bromatológicamente el fruto de *O. ficus indica* y extraer la pectina, con fines de aplicación en la elaboración de un producto tradicional en Colombia, como es el bocadillo de piña.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron frutos de *O. ficus indica* provenientes del Municipio de Duitama-Boyacá (Colombia). El muestreo, se realizó al azar, obteniendo un total de tres lotes, cada uno de 5kg; los frutos fueron seleccionados por estado fitosanitario y clasificados, según las tablas de color de la cáscara empleadas por Cooprohigo (Asociación colombiana), en: verde (0-1), madurez intermedia (3-4) y maduro (5-6); posteriormente, los frutos se lavaron, se desinfectaron y se despulparon. Los análisis fisicoquímicos y proximales de la pulpa del fruto, se ejecutaron por triplicado, en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Los reactivos utilizados fueron de grado analítico.

Caracterización fisicoquímica y proximal del higo: Se determinó la acidez total (939.05) (AOAC, 2000), el pH, el contenido de ácido ascórbico (976.22) (AOAC, 2000), los sólidos solubles por refractometría y sólidos insolubles (AOAC, 2000) al fruto del cactus. El contenido de proteína cruda, humedad, cenizas, fibra cruda y grasa fueron determinados mediante los métodos estándar 979.09B, 945.09B, 923.03, 962.09E y 920.39C, respectivamente, (AOAC, 2000) y carbohidratos por diferencia.

Extracción y caracterización de la pectina: La extracción de la pectina, se llevó a cabo mediante el método de hidrólisis en medio ácido, ya que es el que maneja la industria en este tipo de proceso (Alegría *et al.* 2005; Untiveros, 2003). Se pesaron 80 g de pulpa de fruta y se disolvieron en agua (1 L) destilada caliente; seguidamente, se ajustó el pH a 2, con HCl 6 N y se sometió a calentamiento (85°C), durante 40 min; luego, se filtró la mezcla. El filtrado, se concentró hasta aproximadamente ¼ del volumen inicial, a 60°C (estufa VEB MLW). Al concentrado obtenido, se adicionó etanol absoluto (relación

en volumen 1:2) y se dejó en reposo durante 4 horas, hasta precipitación de la pectina; se filtró y el residuo fue lavado con etanol al 70 y 96% v/v. La pectina se secó en estufa a 60°C, por 2 horas, hasta peso constante; se determinó el rendimiento de la pectina en los frutos, con diferente grado de madurez. A la pectina obtenida del fruto con mayor rendimiento, se le determinó el grado de metoxilación (titulación con NaOH 0,1 N) (Untiveros, 2003), el grado de esterificación (método volumétrico) (Schultz, 1965) y la viscosidad, en un viscosímetro Brookfield LVDVE115 con acople #3, a una velocidad de tres revoluciones por minuto. Para esta última prueba, se prepararon 200mL de un gel estándar, compuesto por pectina extraída del higo (1%), azúcar, ácido y agua (65% SS, pH 3,4). Paralelamente, se elaboró un gel de las mismas características, pero usando una pectina comercial (pectina rápida 105) (CIMPA, 2013).

Elaboración y caracterización del dulce de piña: Para la elaboración del dulce, se seleccionaron, pelaron y escaldaron (95°C durante 10 min) 6kg piña, de la variedad perolera, con 13°Brix (madurez óptima) (Codex Alimentarius, 1993); se obtuvo la pulpa y se filtró, a través de un lienzo. Se sometieron a cocción 3kg de la pulpa extraída y se agregó el 15% del azúcar total, con el objeto de lograr la mayor inversión de la sacarosa, disminuir el riesgo de caramelización del edulcorante y facilitar la evaporación de agua, necesaria para lograr la concentración de sólidos, hasta alcanzar 45°Brix, agitando constantemente. Antes que la mezcla alcanzara 80°C, se adicionó la pectina seca, mezclada con el resto del azúcar; se continuó con el proceso de cocción, hasta alcanzar 72-75°Brix. Antes de finalizar la cocción, se ajustó el pH a 3,1 con ácido cítrico, de acuerdo con la metodología reportada por Camacho (2009). El producto se vertió en bandejas de metal, que fueron previamente engrasadas, hasta formar una capa de 2cm de espesor; se dejó enfriar el producto a temperatura ambiente, por 12 horas.

Caracterización del bocadillo: Al producto elaborado, se le realizaron pruebas de acidez, pH, grados Brix y análisis microbiológicos (bacterias aerobias mesófilas, hongos y *Escherichia coli*). El análisis sensorial, se llevó a cabo a través de una escala verbal-numérica tipo hedónica de cinco puntos –me gusta mucho (1) y no me gusta (5)–, para medir el grado de aceptabilidad del bocadillo de piña (Witting, 2001); se determinó la diferencia entre la muestra y un bocadillo de piña de marca comercial; los parámetros medidos fueron color, textura, sabor y aroma. Los productos fueron evaluados por 50 consumidores.

Análisis estadístico: Todas las determinaciones, se realizaron por triplicado. El análisis estadístico fue llevado a cabo usando Análisis de Varianza de una vía, con un valor de significancia de $P < 0.05$, usando la prueba de Tukey, para diferenciación de medias entre los estados de madurez.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis fisicoquímico y proximal del higo: En la tabla 1, se presentan los resultados de los parámetros fisicoquímicos y el análisis proximal, evaluados en la pulpa del fruto de higo, en tres estados de maduración. Se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre los estados de maduración ($P < 0.05$), en todas las pruebas realizadas. El fruto verde presentó el mayor valor de acidez, el cual, declinó con la maduración, debido a que los ácidos orgánicos son metabolizados o convertidos en azúcares, resultados que concuerdan con lo encontrado por Yahia & Mondragón (2011), en este mismo fruto (0,03 a 0,10%). El grado de madurez está íntimamente ligado al contenido de ácidos, de tal manera que, a medida que estos compuestos disminuyen, el contenido de sólidos solubles aumenta y el producto se ve afectado por la pérdida de la firmeza (Moreno *et al.* 2012). El contenido de ácido ascórbico (AA) en las frutas está en un rango entre 10 a 100mg/100g de pulpa (Cortes & Torija, 2003); en el caso del fruto analizado, se obtuvieron concentraciones máximas de 17,2 mg/100g, valor similar al reportado por Figueroa *et al.* (2010), en 12 variedades de higo, procedente de México (5-25 mg/100 g). Además, el contenido de AA en el higo fue mayor en comparación con frutas, como la guayaba (3,05mg/100g) (Medina & Pagano, 2003) y el banano (1,20-2,66g/100g) (Villalonga, 1995). El pH de la pulpa del fruto se fue incrementando a medida que madura el higo, lo que concuerda con los resultados de la acidez, que disminuyen con la maduración. El pH está dentro del rango de 5,1 a 5,3, similar a lo reportado por Sáenz (2000 pero más bajo que lo obtenido por Ochoa & Guerrero (2010), para el fruto de la *Opuntia ficus indica*; debido al pH alto, se afecta, de manera importante, la vida útil del fruto, en estado fresco y en el procesamiento. El contenido de sólidos solubles muestra un aumento con el desarrollo fisiológico del fruto, alcanzando valores medios entre 6 y 12°Brix, valores más bajos que los conseguidos por Ochoa & Guerrero (2012), en higo maduro (14°Brix) y Yahia & Mondragón (2011), en frutos de diversas variedades (11 a 15°Brix). El contenido de sólidos solubles totales está directamente relacionado con la firmeza y la aceptación del producto, así que, a medida que el fruto madura, el contenido de azúcares se incrementa, además de la dulzura y la aceptabilidad. En los sólidos insolubles, se observó una disminución conforme aumenta su grado de maduración, debido, posiblemente, a la degradación de los carbohidratos.

Los valores del análisis proximal variaron de acuerdo a lo encontrado por otros autores (Tegegne, 2005; Mataix & Mañas, 1998; Sawaya *et al.* 1983), lo que depende, posiblemente, de la variabilidad genética, el grado de madurez, las condiciones del suelo, el uso de fertilizantes, el clima y la disponibilidad de luz y agua, entre otros (Alegría *et al.* 2005).

Tabla 1. Análisis fisicoquímico y proximal* del higo, de acuerdo a su estado de maduración.

PARÁMETRO	VERDE	MADUREZ INTERMEDIA	MADURO
Acidez (%ácido cítrico)	0,156±0,022a	0,111±0,031b	0,010±0,021c
Ácido ascórbico (mg/100 g)	17,2±0,7a	11,9±0,4b	9,83±0,5c
pH	5,10±0,05c	5,26±0,08b	5,34±0,07a
Sólidos solubles (°Brix)	6,0±0,9c	9,3±0,8b	12,5±0,9a
Sólidos insolubles (%)	8,86±0,7a	7,40±0,8b	5,35±0,8c
Humedad (%)	85,14±0,18a	83,30±0,23b	82,18±0,15c
Cenizas (%)	1,12±0,28c	1,67±0,19b	2,28±0,12a
Proteína (%)	0,69±0,21c	1,39±0,17b	1,48±0,23a
Grasa (%)	0,53±0,27c	1,14±0,28a	0,61±0,16b
Fibra (%)	3,86±0,12a	3,14±0,16b	3,08±0,27c
Carbohidratos (%)	8,36±0,18c	9,16±0,16b	10,24±0,17a

*Valores expresados en base húmeda.

Los resultados muestran el promedio \pm la desviación estándar. ANOVA de una vía: las letras diferentes indican diferencias significativas entre los diferentes estado de madurez del higo ($P < 0.05$).

El contenido de proteína presentó diferencia estadísticamente significativa en los tres estados de maduración ($P < 0,05$), siendo mayor para el fruto maduro, lo que puede ser ocasionado por la disminución de la humedad; además, el valor es alto, en comparación con lo obtenido por Sawaya *et al.* (1983); no obstante, se encuentra dentro de los valores reportados por Tegegne (2005). Igualmente, está dentro de los resultados hallados para otras frutas, como aguacate, chirimoya y kiwi (cerca del 1%); frambuesa y mora ($\approx 0,9\%$) o cereza (0,8%) (Mataix & Mañas, 1998). El contenido de fibra está dentro del 4,0%, reportado por Pérez (2003), pero los valores encontrados son más bajos comparados con el 11%, apreciado por Hernández-Urbiola *et al.* (2010), en cáscara de este fruto. En los carbohidratos, el mayor valor correspondió al fruto maduro, lo que concuerda con el contenido de fibra cruda que se va reduciendo con el tiempo, debido a la degradación, no sólo de estos compuestos sino también de carbohidratos poliméricos, como el almidón, en azúcares más simples (Aranceta, 2006). Los valores hallados, se registran dentro del rango (12-17%), encontrado por Yahia & Mondragón (2011) y son relativamente bajos, comparados con lo obtenido (16%), por Astiasarán (2003).

Extracción y caracterización de la pectina: En la pulpa de los frutos de madurez intermedia y maduros, el rendimiento de pectina fue de 0%; quizás, en los frutos se produce la degradación de la pectina a ácidos pépticos. Solamente, se caracterizó la pectina obtenida de la pulpa del fruto verde que, en dos etapas de extracción, alcanzó un porcentaje de rendimiento del 9,14%, en base seca; este valor es inferior al hallado por Lira *et al.* (2014), en la cáscara *Opuntia albicarpa* (9,8%) y por Habibi *et al.* (2005; 2004), en cáscara de *Opuntia ficus indica* (18,5; 12,4%, respectivamente); es posible, que influyen el órgano del fruto, a partir, del cual, se realiza la extracción, el grado de madurez del fruto, las características genéticas de cada variedad, el contenido de minerales y otras moléculas, que benefician la formación de estos compuestos y la presencia de estructuras que acompañan a las pectinas y que pueden llegar a afectar en el método de extracción usado (Alegria *et al.* 2005). El contenido de metoxilo de la pectina obtenida de pulpa de fruto verde fue de 7,6%, lo que corresponde a una pectina de alto metoxilo; mientras que el grado de esterificación obtenido fue de 62%, lo que indica, según Camacho (2009), que es una pectina de gelificación lenta, apta en la industria alimentaria, para la

elaboración de conservas, como mermeladas y dulces, en general.

Los resultados de la tabla 2 muestran que el gel elaborado con la pectina comercial es más fuerte que el de la pectina extraída del fruto, lo que concuerda con el grado de esterificación hallado (62%) y que para la pectina comercial, se registra en un rango de 68 a 75%; por lo tanto, esta última, presentó una gelificación instantánea, irreversible y firme.

Elaboración y caracterización del bocadillo de piña: Se realizaron tres formulaciones para elaborar el bocadillo; la primera (pulpa 50%, azúcar 50% y pectina extraída del higo 1%) se descartó, debido a que no gelificó; en la segunda formulación (pulpa 55%, azúcar 45% y pectina 1,5%), se aumentó la cantidad de pulpa y pectina, pero no fue suficiente para lograr un gel resistente, aunque se disminuyó el contenido de azúcar, mejorando el sabor, el color y el olor y la tercera formulación (pulpa 65%, azúcar 35% y pectina 2%) presentó

Tabla 2. Viscosidad de los geles elaborados con pectina extraída y comercial.

Pectina	pH	Temperatura del ensayo (°C)	°Brix	Viscosidad (Pas•s)
Higo	3,43±0,05	50±0,2	65	9,74±0,08a
Comercial	3,46±0,03	50± 0,2	65	14,45±0,07a

Los resultados muestran el promedio ± la desviación estándar. ANOVA de una vía: las letras diferentes indican diferencias significativas entre las pectinas ($P < 0.05$).

un gel consistente, fácil de cortar, con sabor, con color y con olor agradables, siendo ésta la definitiva, para la elaboración y la caracterización del bocadillo.

La tabla 3 contiene los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados al bocadillo de piña elaborado con la pectina extraída del higo. Aunque la acidez es más baja que lo sugerido por la norma, el pH y los grados Brix están dentro del rango. Los resultados microbiológicos demuestran que el producto es aceptable y que está dentro del rango establecido (ICONTEC, 2011); el análisis sensorial es un método importante para determinar la calidad y la aceptabilidad organoléptica de un producto. En la figura 1, se puede observar la diferencia entre el bocadillo de piña experimental (amarillo intenso) y el bocadillo comercial; en la figura 2, se observan los resultados del análisis sensorial. La muestra 1 pertenece al bocadillo de piña elaborado con la

pectina extraída del higo y la muestra 2, al bocadillo de piña comercial. Según la evaluación del color, se puede observar que el 74% de los consumidores calificó la muestra 1 como de alta aceptabilidad frente a un 8%, que calificó la muestra 2, con el mismo nivel de agrado; observando los demás porcentajes, para los diferentes valores de puntuación de las dos muestras, se evidencia un mayor porcentaje de aceptabilidad del color, para la muestra 1. En cuanto al olor, sobresalió la muestra 1, con 56% de alta aceptabilidad frente a un 16%, de la muestra 2. En la textura, el bocadillo elaborado con pectina de higo obtuvo un 44%, en “me gusta mucho” frente a un 26%, obtenido por el producto comercial. En el sabor, sobresale la muestra 1, con 80% frente a un 4%, de la muestra 2. En general, el bocadillo preparado con la pectina obtenida del cactus presentó mayor aceptabilidad, por parte de los consumidores.

Tabla 3. Caracterización fisicoquímica y microbiológica del bocadillo de piña.

PARÁMETRO	RESULTADOS	RANGO ESTABLECIDO*
Acidez (%)	0,53±0,18	Min. 0,7 expresado en % ácido cítrico
pH	3,41±0,09	3,1-3,9
°Brix	75	74-81
Bacterias aerobias mesófilas	< 10 UFC/g	Máx. 200 UFC/g
Hongos	< 10 UFC/g	Máx. 100 UFC/g
<i>Escherichia coli</i>	Ausente	Ausente

*Icontec (2011).

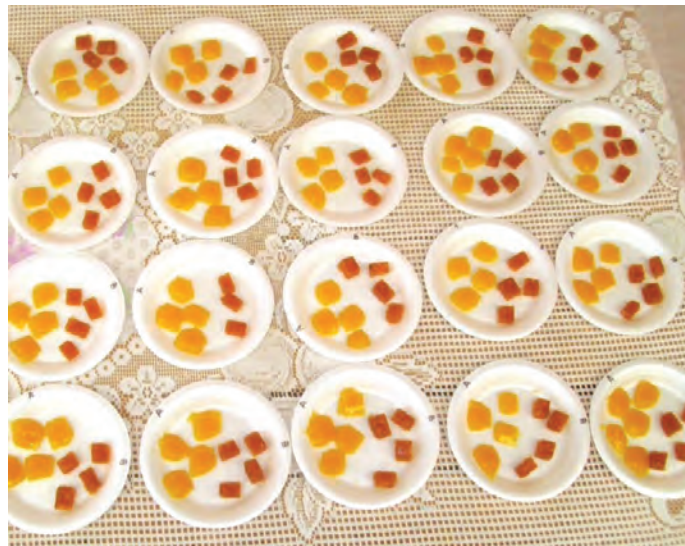


Figura 1. Bocadillo de piña elaborado con la pectina extraída (amarillo) y bocadillo comercial (rojo).

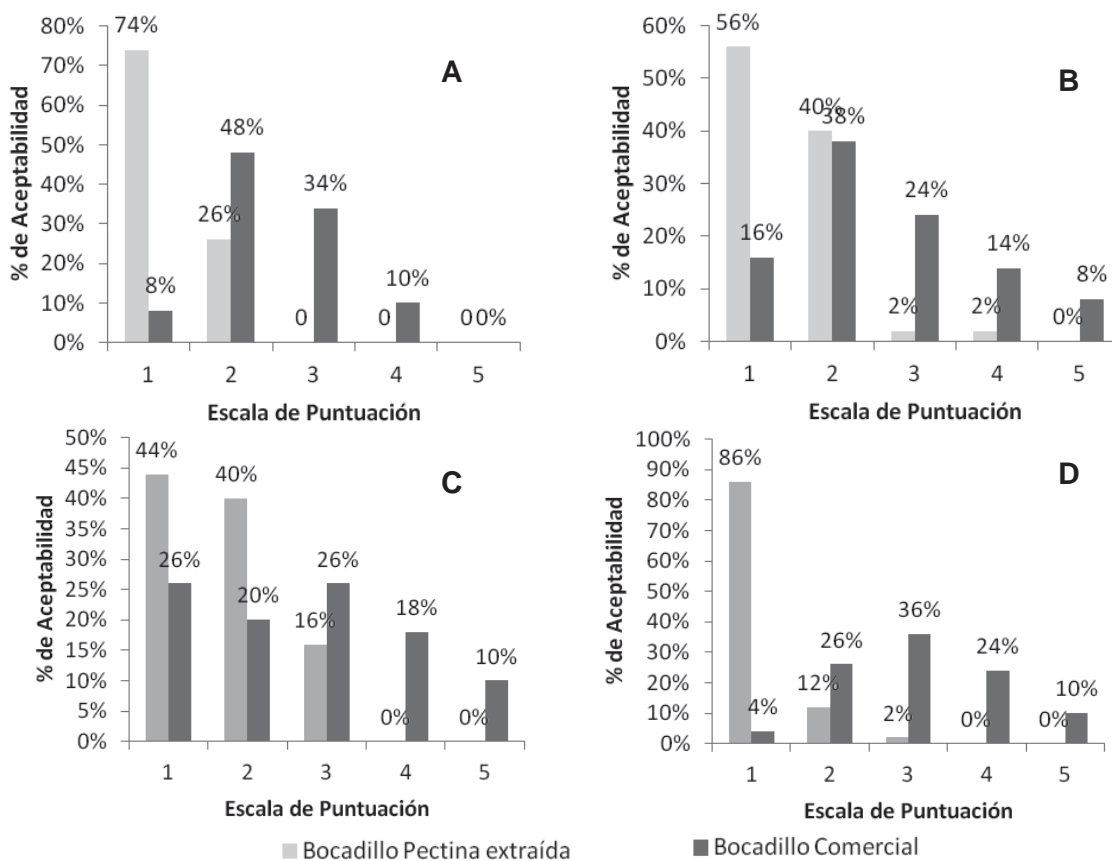


Figura 2. Resultados de aceptabilidad en bocadillos de piña comercial elaborados con pectina del fruto de *Opuntia ficus indica*: Color (A), Olor (B); Textura (C) y sabor (D). Escala de puntuación: 1=me gusta mucho, 2=me gusta, 3=me gusta moderadamente, 4=me gusta poco, 5=no me gusta.

Se concluye, que el fruto de la *Opuntia ficus indica* es una fuente de pectina con potencial para su aplicación en la industria alimentaria, como gelificante, espesante y estabilizante. Esta macromolécula fue extraída del higo en estado verde y presentó un contenido de metoxilo de 7,6%, un grado de esterificación de 62%, características de una pectina de alto metoxilo. Infortunadamente, se obtuvo un bajo rendimiento (9,1%), limitando así su posible uso en la industria, debido a que incrementaría los costos de producción en comparación con otras fuentes de pectina, como la cáscara de naranja y la manzana; sin embargo, el bocadillo de piña preparado con la pectina del higo presentó textura blanda, con olor y sabor característicos de esta fruta; además, en todas las características sensoriales de calidad (olor, color, textura y sabor), se observó un nivel de agrado y mayor preferencia por el bocadillo de piña elaborado con la pectina extraída de frutos de *O. ficus indica*, en comparación con el bocadillo de piña comercial.

Conflicto 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.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGOZZINO, P.; AVELLONE, G.; CERACULO, L.; FERRUGIA, M.; FILIZZOLA, F. 2005. Volatile profile of Sicilian prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) by SPME-GC/MS analysis. *Ital. J. Food Scie.* 17(3):341-348.
2. ALEGRÍA, P.; JORDAN, J.; HOYOS, S.; OLGA, L.; PRAADO, C.; JULIAN, A. 2005. Evaluación del comportamiento de la pulpa del fruto del zapote (*Matisia cordata*) frente a procesos de transformación agroindustrial. *Rev. Fac. Cien. Agropec.* 3(1):42-46.
3. ARANCETA, J. 2006. Frutas, verduras y salud. España. Editorial Elsevier. p.2-5.
4. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY -AOAC-. 2000. Official Methods of Analysis. Edición 11. Estados Unidos; 1115p.
5. ASTIASARÁN, I. 2003. Alimentos y Nutrición en la Práctica Sanitaria. España. Ediciones Díaz de Santos S.A. p.30 -31.
6. BETATACHE, H.; AOUBED, A.; DROUICHE, N.; LOUNICI, H. 2014. Conditioning of sewage sludge by prickly pear cactus (*Opuntia ficus Indica*) juice. *Ecol. Eng.* 70:465-469.
7. CAMACHO, G. 2009. Procesamiento y conservación de frutas. [on line]. Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Disponible desde Internet en: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2006228/.../p3.htm> (con acceso 30/06/2014).
8. CASAS, D.; VILLA, A.; BUSTAMANTE, F.; GONZÁLEZ, L. 2015. Process development and simulation of pectin extraction from orange peels. *Food Bioprod. Process.* 96:86-98.
9. CIMPA. 2013. Ficha técnica pectina rápida 105. [Artículo de internet]. <http://cimpaltda.com/modulo/quimicos/pectina%20rapida%20105.pdf>.
10. CODEX ALIMENTARIUS. 1993. Norma para la Piña. (CODEX STAN 182-1993) Disponible desde Internet en: www.codexalimentarius.net/download/standards/313/CXS_182s.pdf (con acceso 22/06/2014).
11. CORTES, M.; TORIJA, E. 2003. Frutas y Verduras fuentes de salud. Departamento de Nutrición y Bromatología II. Bromatología. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid. p.13-67.
12. FIGUEROA, I.; MARTÍNEZ, M.T.; RODRÍGUEZ, E.; COLINAS, M.; VALLE, S.; RAMÍREZ, S.; GALLEGOS, C. 2010. Contenido de pigmentos, otros compuestos y capacidad antioxidante en 12 cultivares de tuna (*Opuntia ssp*) de México. *Agrociencia.* 44:763-771.
13. GALATI, E.; MONDELLO, M.R.; LAURIANO, E.R.; TAVIANO, M.F.; GALLIZO, M.; MICELI, N. 2005. *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. fruit juice protects liver from carbon tetrachloride-induced injury. *Phytother. Res.* 19(9):796-800.
14. GENTILE, C.; TESORIERE, L.; ALLEGRA, M.; LIVREA, M.A.; D'ALESSIO, P. 2004. Antioxidant betalains from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) inhibit endothelial ICAM-1 expression. *Ann. NY Acad. Sci.* 1028:481-486.
15. HABIBI, Y.; HEYRAID, A.; MAHROUZ, M.; VIGNON, M.R. 2004. Structural features of pectic polysaccharides from the skin of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits. *Carbohydr. Res.* 339(6):1119e1127.
16. HABIBI, Y.; MAHROUZ, M.; VIGNON, M. 2005. Isolation and structural characterization of protopectin from the skin of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits. *Carbohydr. Polym.* 60(2):205-213.

17. HASHIB, S.; RAHMAN, N.; SUZIHAKUE, M.U.; IBRAHIM, U.; HANIF, N. 2015. Effect of slurry concentration and inlet temperature towards glass temperature of spray dried pineapple powder. *Procedia – Soc. Behav. Sci.* 195:2660- 2667.
18. HERNÁNDEZ, M.; PÉREZ, E.; RODRÍGUEZ, M. 2011. Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus indica*) at varied ages in an organic harvest. *Int J Environ. Res. Public Health.* 8(5):1287-1295.
19. HERNÁNDEZ-URBIOLA, M.I.; CONTRERAS-PADILLA, M.M.; PÉREZ-TORRERO, E.; HERNÁNDEZ-QUEVEDO, G.; ROJAS-MOLINA, J.I.; CORTES, M.E.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, M.E. 2010. Study of nutritional composition of nopal (*Opuntia ficus indica* cv. Redonda) at different maturity stages. *Open Nutr. J.* 4:11-16.
20. ICONTEC. 2011. Norma Técnica Colombiana 5856. p.5.
21. LIRA, A.L.; RESÉNDIZ, F.; RÍOS, E.; CONTRERAS, J.C.; CHAVARRÍA, N.; VARGAS, A.; RODRÍGUEZ, A. 2014. Pectins from waste of prickly pear fruits (*Opuntia albicarpa* Scheinvar 'Reyna'): Chemical and rheological properties. *Food Hydrocolloid.* 37:93-99.
22. MATAIX, J.; MAÑAS, M. 1998. Tabla de composición de alimentos españoles. 3ª ed. Ed. Universidad de Granada. España. p.15-20.
23. McCONN, M.; NAKATA, P. 2004. Oxalate reduced calcium availability in the pads of the prickly pears cactus through formation of calcium oxalate crystals. *J. Agric. Food Chem.* 52(5):1371-1374.
24. MEDINA, B.; PAGANO, G. 2003. Caracterización de la pulpa de guayaba (*Psidium guajava* L.) tipo "Criolla Roja". *Rev. Fac. Agron.* 20(1):283-294.
25. MORENO, A.; CORTÉS, C.; YAHUACA, B. 2012. Evolución de indicadores de calidad de guayaba almacenada en frigorífico. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Disponible desde Internet en: <http://dieumsnh.qfb.umich.mx/indicadores.htm> (con acceso 23/03/2014).
26. OCHOA, C.; GUERRERO, J. 2012. Efecto del almacenamiento a diferentes temperaturas sobre la calidad de tuna roja (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller). *Inform. Tecnológica.* 23(1):117-128.
27. PARK, E.H.; KAHNG, J.H.; LEE, S.H.; SHIN, K.H. 2001. An anti-inflammatory principle from cactus. *Fitoterapia.* 72(3):288-290.
28. PEREZ, C.D.; DE NOBILLA, M.D.; RIZZO, S.A.; GERSCHENSON, L.N.; DESCALZO, A.M.; ROJAS, A.M. 2013. High methoxyl pectin-methylcellulose films with antioxidant activity at a functional food interface. *J Food Eng.* 116:162-169.
29. PÉREZ, L. 2003. Composición química proximal de variedades de nopal cultivado. Instituto de Ecología y Alimentos de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. *Rev. Fac. Salud Públ. Nutr. Ed. Especial No.3:*28-31.
30. SÁENZ, C. 2000: Processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia* spp) fruits and cladodes. *J. Arid Environm.* 46:209-225.
31. SAWAYA, W.N.; KHATCHADOURIAN, H.A.; SAFI, W.M.; AL-MUHAMMAD, M. 1983. Chemical characterization of prickly pear pulp, *Opuntia ficus indica* and the manufacturing of prickly pear jam. *J. Food Tech.* 18(2):183-193.
32. SCHULTZ, T. 1965. Determination of the degree of esterification of pectin, determination of the ester methoxyl content of pectin by saponification and titration. *Meth. Carbohyd. Chem.* 5:189-198.
33. SEPÚLVEDA, E.; SÁENZ, C.; ALIAGA, E.; ACEITUNO, C. 2007. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *J. Arid Environ.* 68:534-545.
34. SRIVASTAVA, P.; MALVIYA, R.; 2011. Sources of pectin, extraction and its applications in pharmaceutical industry – an overview. *Indian J. Nat. Prod. Resour.* 2:10-18.
35. STINTZING, F.; CARLE, R. 2005. Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Mol. Nutr. Food Res.* 49(2):175-194.
36. TEGEGNE, F. 2005. Nutritional value of *Opuntia ficus-indica* as a ruminant feed in Ethiopia. FAO Corporate Document Repository. Disponible desde internet en: <http://www.fao.org/docrep/005/Y2808E/y2808e0e.htm> (con acceso 18/02/2014).
37. TESORIERE, L.; BUTERA, D.; PINTAUDI, A.M.; ALLEGRA, M.; LIVREA, M.A. 2004. Supplementation with cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit decreases oxidative stress in healthy humans: A comparative

- study with vitamin C. Am. J. Clin. Nutr. 80(2):391-395.
38. UNTIVEROS, G. 2003. Obtención y Caracterización de pectinas de alto y bajo metoxilo de la manzana variedad Pachacamac. Rev Soc Quím. Peru. 69(3):155-162.
39. VILLABONA, A.; PAZ, I.C.; MARTÍNEZ, J. 2013. Caracterización de la *Opuntia ficus indica* para su uso como coagulante natural. Rev. Col. Biotecnol. 15(1):137-144.
40. VILLALONGA, A. 1995. Caracterización fisicoquímica en algunas variedades de banana. Cátedra de Química I. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Rev. Fac. Agron. 12(1):95-107.
41. WITTING, E. 2001. Evaluación Sensorial. Una metodología actual para Tecnología de Alimentos. Biblioteca Digital de la Universidad Santiago de Chile. Disponible desde internet en: [http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/wittinge01/index .htm](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/wittinge01/index.htm) (con acceso 25/02/2014).
42. YAHIA, E.; MONDRAGÓN, C. 2011. Nutritional components and anti-oxidant capacity of ten cultivars and lines of cactus pear fruit (*Opuntia* spp.). Food Res. Int. 44(7):2311-2318.
43. ZOU, D.; BREWER, M.; GARCÍA, M.; FEUGANG, J.M.; WANG, J.; ZANG, R.; LIU, H.; ZOU, C. 2005. Cactus pear: A natural product in cancer chemoprevention. Nutr J. 4(25):25-36.

Recibido: Julio 31 de 2014

Aceptado: Septiembre 8 de 2015

Cómo citar:

Chaparro, S.P.; Márquez, R.A.; Sánchez, J.P.; Vargas, M.L.; Gil, J.H. 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. 18(2): 435-443.

IMPACTO DE LA ADICIÓN DE CABOXIMETILCELULOSA Y AGUA EN LAS PROPIEDADES FISCOQUÍMICAS Y DE CALIDAD DE PAN LIBRE DE GLUTEN

IMPACT OF CARBOXYMETHYLCELLULOSE AND WATER ADDITION ON BAKING QUALITY AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF GLUTEN-FREE BREAD

Fernán Martínez-Jiménez¹, Eduardo Rodríguez-Sandoval², María Soledad Hernández-Gómez³

¹Ingeniero de Alimentos, Departamento Ingeniería Agrícola y Alimentos, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, calle 59A No 63-20, Medellín, Antioquia, Colombia, e-mail: fernandavidm@gmail.com; ²Doctor en Ingeniería, Profesor Asociado, Departamento Ingeniería Agrícola y Alimentos, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, calle 59A No 63-20, Medellín, Antioquia, Colombia, e-mail: edrodriguez@unal.edu.co; ³Doctor en Ciencias Agrarias, Profesora Titular, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA). Universidad Nacional de Colombia, carrera 45 No 26-85, Bogotá D.C., Colombia, e-mail: mshernandez@unal.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 445-454, Julio-Diciembre, 2015

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar la influencia de la adición de agua y de carboximetilcelulosa (CMC) en las propiedades fisicoquímicas y de calidad de pan libre de gluten (GF), elaborado con harina de arroz, almidón de maíz y almidón de yuca. La harina de arroz presentó los valores más altos de índice de absorción de agua (WAI) e índice de solubilidad de agua (WSI). Las concentraciones de CMC y agua fueron de 1-3% y 80-90%, con base en la harina de arroz, componente mayoritario de la mezcla, respectivamente. Se utilizó la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR). Los valores máximos para el volumen específico (3,92mL/g) y la altura (77,82mm), se mostraron con 85% de agua y 2% de CMC. El mayor rendimiento, se evidenció con 3% de CMC y 80% de agua, pero este tratamiento tuvo el volumen específico y la altura más baja. En cuanto a las propiedades texturales, la combinación de 3% de CMC y 80% de agua generó una miga con la mayor firmeza (16,6N) y dureza (91,2N); los valores más bajos de estos parámetros, se presentaron con 85% de agua y 2% de CMC. El mayor valor de cohesividad (0,46), se registró con 90% de agua y 3% de CMC y la condición más baja de cohesividad, se reportó con 80% de agua y 1% de CMC. La inclusión de mayores concentraciones de CMC (3%) genera productos GF, con mayor firmeza, cohesividad, elasticidad y dureza.

Palabras clave: Celiacía, almidón, hidrocoloide, textura, entalpia.

SUMMARY

The objective of this study was to determine the influence of water and carboxymethylcellulose (CMC) addition on physicochemical properties and baking quality of gluten-free (GF) bread made from rice flour, corn and cassava starch. Rice flour showed the highest values of water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI). The CMC concentrations and moisture content were 1-3% and 80-90%, based on rice flour, major component of the mixture, respectively. Response Surface Methodology (RSM) was used. The maximum values for the specific volume (3.92mL/g) and height (77.82mm) are presented with 85% moisture content and 2% CMC. The best yields were obtained with 3% CMC and 80% moisture content; but this treatment had the lowest specific volume and height. As for the textural properties, the combination of 3% CMC and 80% moisture content resulted in higher firmness crumb (16.6N) and hardness (91.2N), the lowest values of these parameters were presented with 85% moisture content and 2% CMC. The higher cohesiveness value (0.46) was showed with 90% moisture content and 3% CMC, and lower cohesiveness condition reported with 80% moisture content and 1% CMC. The adding of higher concentrations of CMC (3%) resulted in GF products with more firmness, cohesiveness, elasticity and hardness.

Key words: Celiac disease, starch, hydrocolloid, texture, enthalpy.

INTRODUCCIÓN

El incremento de la demanda de los productos libres de gluten, se debe al aumento real o aparente de la enfermedad celiaca o a otras reacciones alérgicas al consumo de gluten. La enfermedad está relacionada con la inflamación del intestino delgado, lo que conlleva a la mala absorción de varios nutrientes importantes y al daño de la mucosa intestinal. El único tratamiento efectivo es una dieta estricta, sin gluten durante toda la vida (Lazaridou *et al.* 2007; Arendt *et al.* 2008). La sustitución de la matriz de gluten en los procesos de panificación representa un desafío tecnológico, dado que atribuye características reológicas deseables al pan, como la elasticidad, la extensibilidad, la resistencia a la deformación y la capacidad de retención de gas. Las masas sin gluten –antes del horneado- presentan mucha fluidez, ocasionando características indeseables, como miga débil, fisuras en la corteza y otros defectos de calidad (Lazaridou *et al.* 2007; Goesart *et al.* 2005; Arendt *et al.* 2008). Además, la mayoría de los productos de panificación sin gluten que se consiguen en el mercado son de baja calidad, por tal motivo, se ha buscado un sustituto al gluten, para la fabricación de este tipo de productos. Para su producción, se necesita, principalmente, almidones, proteínas (lácteas, soya u otras) y sustancias poliméricas, que imiten las propiedades viscoelásticas del gluten (Arendt *et al.* 2008).

En productos de panificación, el almidón contribuye a la textura, a la apariencia y a la aceptabilidad general de los alimentos a base de cereales. Los hidrocoloides son polímeros hidrófilos de origen vegetal, animal, microbiano o de material sintético que, por lo general, contienen gran cantidad de grupos hidroxilos y son ampliamente utilizados para controlar las propiedades funcionales de los alimentos. Los hidrocoloides han sido ampliamente utilizados, como aditivos para mejorar la textura de los alimentos y las características viscoelásticas, reducir la velocidad de retrogradación del almidón, actuar como aglutinante de agua; aumentar la vida útil y funcionan como sustitutos del gluten en procesos de panificación (Arendt *et al.* 2008).

El aumento en la concentración de metilcelulosa (MC), de carboximetilcelulosa (CMC) o de hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) aumenta la firmeza de la miga. El proceso de producción de estos hidrocoloides, se realiza mediante la sustitución de hidrógeno en el grupo hidroxilo de la celulosa con metiléter, carboximetílico o grupos hidroxipropilo, en condiciones alcalinas. La celulosa modificada produce polímeros solubles en agua, con una afinidad por la fase no polar de la masa; por consiguiente, la afinidad neta de las fases acuosa y no acuosa de la masa ayuda a mantener la uniformidad y la estabilidad de la emulsión de la masa. Esto induce propiedades adicionales, como un aumento de la actividad

interfacial en los límites de las alveolos de gas en expansión, lo que resulta en masas más firmes (Onyango *et al.* 2009b).

Los panes libres de gluten elaborados a partir de harina de arroz, metilcelulosa (MC) y agar-agar presentan alta porosidad y miga no homogénea, mientras que los preparados con goma xantana, CMC, xantana -guar, xantana -algarrobo e hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) muestran miga uniforme (Demirkesen *et al.* 2014). El uso de gomas xantana y guar, a partir de harina de arroz, de almidón de maíz y de papa, mejoró el rendimiento del producto; además, la mezcla de diferentes niveles de estas gomas, aumentó la retención de gas al interior de la matriz, ayudando a la estabilidad de la masa, durante el proceso de horneado (Mahmoud *et al.* 2013). El pan libre de gluten elaborado con almidón de maíz y con harina de arroz presentó mayor cantidad de alveolos al usar CMC, mientras que con goma xantana mostró una disminución en la dureza, un aumento en la elasticidad y una mayor capacidad para retener agua. Al mezclar los dos hidrocoloides, se consiguió una disminución en la dureza, aumento en la elasticidad y mayor retención de gas (Arendt *et al.* 2008).

Entre los almidones modificados, procedentes de almidón de yuca, utilizados en productos de panadería, se destaca la línea Expandex® de Ingredion Colombia S.A. El Expandex® es un ingrediente empleado en el mercado de productos libres de gluten, que tiene unas características de expansión únicas, similares a las encontradas en productos que contienen gluten. También, ayuda a retener agua, mejora las propiedades de la masa durante los ciclos de congelación-descongelación y no contribuye a dar ningún sabor u olor particular. Entre los beneficios de la utilización de este ingrediente, se incluyen: mejorar la apariencia textura y sabor de los productos de panadería y repostería, generar una miga más húmeda y suave, reducir la cantidad de hidrocoloides necesarios en la formulación y aumentar la vida útil de los productos libres de gluten (Ingredion Colombia S.A., 2013).

Por otro lado, la formación de una red estable de proteína es crucial en la producción de panes libres de gluten (GF), con calidad aceptable. Fuera de mejorar la textura, los ingredientes ricos en proteína aumentan la calidad nutricional de los productos GF. Posibles ingredientes de proteína para la formulación de panes GF son extractos de plantas, como derivados de soya, aislados de garbanzo, sésamo y frijol. Los extractos animales, como concentrado de proteína de pescado, huevo o fracciones de leche, también pueden ser empleados; sin embargo, el uso comercial de algunas de estas proteínas, se puede restringir por varios factores, como disponibilidad, costo, fácil producción, presencia de inhibidores o compuestos que inducen alergias, intolerancia al consumo y propiedades funcionales limitadas. La soya, se puede utilizar en la formulación de productos GF en difer-

entes formas, como harina con o sin grasa, concentrado o asilado (Onyango *et al.* 2009a). La soya contiene fitoquímicos que tienen beneficios a la salud como prevención del cáncer y osteoporosis, y reducción del colesterol. Además, la soya también exhibe actividad antioxidante natural, que puede aumentar la vida útil de los productos, a los que se les ha incorporado (Conforti & Davis, 2006).

A pesar de los trabajos realizados en panes libres de gluten, a partir de harina de arroz, almidón de maíz, almidón de papa y diferentes combinaciones de estos materiales, aún no se cuenta con estudios de panes elaborados con almidón de yuca modificado (Expandex®), almidón de maíz y harina de arroz, usando carboximetilcelulosa (CMC). Por lo tanto, el objetivo de este estudio es determinar las propiedades texturales y de calidad de pan elaborado, a partir de harina de arroz, almidón de maíz y Expandex®, cambiando la concentración de hidrocoloide y agua en su formulación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la formulación del pan libre de gluten, se emplearon harina de arroz blanco (Haritec, Alimentos Caribe, Itagüi, Colombia), almidón modificado de yuca Expandex® (Ingredion Colombia S.A., Cali, Colombia), almidón de maíz Buffalo (Ingredion Colombia S.A., Cali, Colombia), aislado de proteína de soya (Solae, Tecnas, Medellín, Colombia), carboximetilcelulosa sódica de grado alimenticio (Protokimica, Medellín, Colombia), ésteres de ácido diacetil tartárico de monoglicéridos (DATEM) (Panodan G 20-20, Danisco), azúcar, sal, levadura instantánea, margarina, propionato de calcio y agua. El contenido de humedad de la materia prima (almidón modificado de yuca, harina de arroz, almidón de maíz y aislado de proteína de soya) fue determinado secando 2g de muestra en un horno (UFE-400, Memmert GmbH + Co. KG, Munich, Alemania), de acuerdo al método 44-15.02 AACC (AACC, 2000). El contenido total de nitrógeno de la materia prima, se evaluó de acuerdo al método 920.87 AOAC (AOAC, 1997); el contenido de proteína fue calculado adoptando 6,25, como factor de conversión. Grasa (945.16), ceniza (942.05) y fibra cruda (978.10), se establecieron usando la metodología de AOAC (AOAC, 1997). El contenido de almidón, se determinó por el método polarímetro de Ewers (ISO 10520, 1997). Todas las mediciones, se realizaron por duplicado.

Las propiedades térmicas de las muestras amiláceas, se monitorearon usando un DSC (DSC-Q200, TA Instruments, New Castle, DE, USA); la calibración, se realizó con indio y una cápsula vacía, que se usó como referencia. La muestra, se selló con una prensa, se dejó equilibrar durante 24h y se calentó de 25°C hasta 100°C, empleando una rampa de calentamiento de 10°C/min y una rampa de enfriamiento de 25°C/min, hasta llegar a la temperatura inicial (Rodríguez *et*

al. 2001). Los resultados fueron: temperatura de inicio (T_0), temperatura de pico (T_p), temperatura final (T_f) y cambio en la entalpía de fusión o de gelatinización (ΔH). Esta medición, se realizó por triplicado.

Las pruebas de índice de absorción de agua (WAI) e índice de solubilidad de agua (WSI), se pueden utilizar como un indicativo del grado de modificación de los almidones por tratamientos termomecánicos. El método que se siguió para la determinación de WAI y WSI fue tomado de Anderson *et al.* (1969), con algunas modificaciones. Las pruebas de WAI y WSI, se determinaron pesando 0,65g de muestra y 7,8g de agua destilada en un tubo de centrifuga, empleando una balanza de precisión. Después, el tubo con la muestra, se llevó a un vortex (Classic advanced, Velp científica, Usmate, Italia), durante 30 s; la muestra, se colocó en baño maría, con agitación (WNB-14, Memmert GmbH + Co. KG, Munich, Alemania), durante 30 min, a 30°C; luego, se centrifugó (Universal 320-R, Andreas Hettich GmbH & Co. KG, Tuttingen, Alemania), durante 10 min, a 5200rpm y 20°C. El sobrenadante de las muestras centrifugadas, se adicionó a una caja Petri y el sedimento permaneció en el fondo del tubo. Ambas muestras se pesaron. El sobrenadante se secó a 105°C, durante 24 h en estufa. Las muestras, se realizaron por triplicado.

En la elaboración del pan, inicialmente, se mezclaron las harinas: 250g de harina de arroz, 125g de almidón modificado de yuca y 125g de almidón de maíz, durante 2 min, en una batidora (Profesional Series 600-KP26M1XER, Kitchenaid, St. Joseph, MI, USA). Después, se incorporó 30g de aislado de proteína de soya, 25g de azúcar, 10g de sal, 2,5g de propionato de calcio, 2,5g de DATEM y CMC, de acuerdo al diseño experimental; luego, se disolvió 15g de levadura en 150g de agua, se adicionó a la mezcla con 40g de margarina y se mezcló durante 2 min más; por último, se adicionó el agua restante, de acuerdo al diseño experimental y se mezcló por 4 min, hasta obtener una masa homogénea. El moldeado, se realizó en recipientes de aluminio engrasados (17,2cm de largo, 6,2cm de alto, 8,9cm de ancho), donde se depositó –en forma uniforme– 280g de masa. Los moldes con masa, se situaron en un fermentador, a 35-38°C, con una humedad relativa por encima de 80%, durante 30 min. Las masas fermentadas, se hornearon en un horno de gas (GFO-4B, Guangzhou Youjia Machinery Co, China), a 200°C, durante 25 min.

El porcentaje de rendimiento del proceso, se determinó empleando la relación de la masa antes de fermentar y el producto después de horneado y enfriado. La altura del pan, se determinó realizando un promedio de las alturas de los extremos y de la mitad de la muestra; las medidas, se realizaron empleando un calibrador digital; el volumen específico del pan, se determinó usando la metodología de desplazami-

ento de semilla de mijo (Sahin & Sumnu, 2006); la humedad de la corteza y la miga (2g de muestra), se determinó por secado en estufa, a 130°C, durante 3 h (AOAC, 1997); la actividad de agua, se determinó empleando un higrómetro de punto de rocío, a 25°C (Aqualab serie 3TE, Decagon, Devices, Pullman, WA, USA) (Manjarres-Pinzon *et al.* 2013).

La firmeza de la miga, se midió empleando un analizador de textura (TA-XT2i, Stable Micro Systems, Godalming, U.K.), con celda de carga de 25kg, software TextureExpertExceed versión 2,64 (2002) y una sonda cilíndrica de 35mm (SMSP/35) y en modo fuerza en compresión. La prueba, se realizó empleando una rodaja de pan de 25mm de grosor. Los parámetros de trabajo para la prueba fueron: velocidad de pre-test de 1,0mm/s; velocidad de test de 1,7mm/s; velocidad post-test de 10mm/s y compresión del 40% de la muestra (10mm). La firmeza de la miga, se midió a una deformación del 25% de la muestra, de acuerdo al método AACC 74-09 (AACC, 2000).

La cohesividad, la dureza y la elasticidad de las muestras, se determinaron empleando el mismo analizador de textura, descrito, inicialmente, con una celda de carga de 50kg, un disco plano de 75mm de diámetro (SMSP/75) y la prueba en modo TPA (Texture Analysis Profile). La muestra fue una rodaja de pan de 25mm de grosor y los parámetros de trabajo fueron: velocidad de pre-test de 2mm/s; velocidad de test de 2mm/s; velocidad post-test de 5mm/s; una compresión de 15mm de la muestra y tiempo de espera 5 s.

Los datos experimentales, se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA), con el objetivo de conocer el efecto del CMC y agua sobre las características físicas y texturales del pan. Para el manejo de los datos, se empleó el software Design Expert versión 8.0.6 (Stat-Ease, U.S.A., 2010), aplicando la metodología de superficie de respuesta (RSM) y un diseño central compuesto (CCD), centrado frontal con 8 corridas sencillas (puntos factoriales y axiales) y 5 puntos centrales, con un nivel de significancia del 5% y de dos factores, % de CMC y % de agua, variando de 1% a 3% y de 80% a 90%, respectivamente. Para establecer el ajuste del modelo, se observaron los coeficientes de determinación, la falta de ajuste y los gráficos de los residuos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La prueba de WAI mide el volumen ocupado por el gránulo de almidón después del hinchamiento en exceso de agua, mientras que la prueba de WSI determina la cantidad de moléculas libres lixivadas del granulo de almidón en exceso de agua (Rodríguez-Sandoval *et al.* 2014). La tabla 1 presenta los valores de WAI, WSI y la composición química del almidón de maíz (CS), almidón de yuca modificado (E), aislado de proteína de soya (SPI) y harina de arroz (RF). Los

valores más altos de WAI y WSI, se registraron en el aislado de proteína de soya y la harina de arroz, respectivamente. Por otro lado, el almidón de yuca modificado y de maíz mostraron los valores más bajos de WAI y WSI. Valores altos de WAI y WSI indican gelatinización del almidón, daños en su estructura y en su cristalización (Rodríguez-Sandoval *et al.* 2012). Kaushal *et al.* (2012) y Pongjaruvat *et al.* (2014) reportan valores semejantes a los encontrados en harina arroz de WAI y WSI (2,43g/g y 2,66%, respectivamente). Lee *et al.* (2008) encontraron un WAI de 1,96g/g, para el almidón de yuca; sin embargo, el WSI está por encima de lo obtenido en esta investigación, 76,3%. Diop *et al.* (2011) reportaron que el WSI, para el almidón de maíz, está por debajo de 0,5% y el WAI, se encuentra en el rango de 2,25 a 2,5g/g, lo cual, concuerda con lo presentado en esta investigación. De los materiales amiláceos empleados, la harina de arroz fue la que mostró el mayor contenido de proteína, de fibra cruda y de grasa, mientras que el almidón de maíz y de yuca modificado son las materias primas con mayor cantidad de almidón. El aislado de proteína de soya evidencia la mayor concentración de proteína y cenizas.

Tabla 1. Índice de absorción de agua (WAI), índice de solubilidad en agua (WSI) y composición química de la materia prima (promedio±SD).

Propiedades	CS*	E*	RF*	SPI*
Humedad (%)	11,7±0,3	12,4±0,3	9,3±0,3	4,1±0,2
Cenizas (g/100g dm)	0,1±0,0	0,7±0,0	0,7±0,1	3,9±0,2
Fibra cruda (g/100g dm)	0,1±0,0	0,2±0,0	0,3±0,0	0,4±0,0
Grasa (g/100g dm)	1,27±0,0	0,14±0,0	1,31±0,0	0,41±0,0
Proteína (g/100g dm)	0,6±0,0	0,2±0,1	8,0±0,1	82,9±0,2
Almidón total (g/100g dm)	89,9±0,1	91,0±0,1	79,6±0,1	1,1±0,0
WAI (g/g)	2,29±0,06	1,99±0,02	2,42±0,03	7,62±0,03
WSI (%)	0,25±0,02	1,74±0,13	2,06±0,03	--

*La definición de cada sigla correspondiente a la muestra evaluada: CS: almidón de maíz, E: almidón de yuca modificado, SPI: aislado de proteína de soya, y RF: harina de arroz.

En cuanto a las propiedades térmicas, el almidón modificado de yuca presentó la entalpia más alta y la harina de arroz, la más baja, mientras que la temperatura inicial de gelatinización –para las tres muestras de almidones- empieza después de los 63°C (Tabla 2). La temperatura de pico

más alta, se presentó en la harina de arroz y la menor, en el almidón modificado de yuca. Por último, la mayor temperatura final, se observó en el almidón modificado de yuca y la menor, en la harina de arroz. Las temperaturas de inicio, pico y final de gelatinización, para las muestras trabajadas, son semejantes a las reportadas en otras investigaciones (Hasjim *et al.* 2013; Hager *et al.* 2013). El almidón empieza a colapsar, estructuralmente, después de los 63°C.

Tabla 2. Propiedades térmicas de materias primas amiláceas*.

T ₀ [°C]	T _p [°C]	T _f [°C]	ΔH
63,90±0,34	69,07±0,13	79,98±0,08	10,28±0,63
63,53±0,28	69,04±0,66	80,04±0,07	12,76±0,71
63,27±0,30	67,25±0,30	82,09±1,96	13,10±0,66

*La definición de cada sigla correspondiente a la variable respuesta: T₀: temperatura de inicio, T_p: temperatura de pico, T_f: temperatura final y ΔH: cambio en la entalpía de fusión o de gelatinización.

La razón por la cual se presentan diferencias en las temperaturas y en las entalpías de gelatinización radica en la cantidad de almidón que tiene cada muestra, su estructura y composición (Ji *et al.* 2007). Según lo reportado por Hasjim *et al.* (2013), valores altos de temperatura de pico se dan por una alta resistencia a la transferencia de calor, lo que ocasiona que se deba aplicar más energía en forma de calor, para que los almidones se gelatinicen y ayuden al soporte del pan. En términos de calidad, la temperatura inicial de gelatinización indica la estabilidad térmica de la estructura molecular del almidón, por lo tanto, temperaturas bajas denotarían estructuras cristalinas modificadas. Al igual que la temperatura inicial, la entalpía de gelatinización tiene suma importancia en el análisis de calidad, dado que bajos valores de entalpía se dan por dos razones: el bajo contenido de almidón o una alta cantidad de almidón dañado (Onyango *et al.* 2011; Hasjim *et al.* 2013).

Los resultados obtenidos para el porcentaje de rendimiento, altura del pan, humedad de la corteza y miga, actividad de agua y volumen específico, se muestran en la tabla 3. Respuestas obtenidas para cada corrida. La figura 1 (a), (b) y (c) presenta las respectivas superficies de respuesta para el rendimiento altura y volumen específico, las cuales, se ajustaron a modelos cuadráticos (Tabla 4). Con respecto a la altura, ninguno de los factores tuvo un efecto significativo; sin embargo, para el rendimiento y el volumen específico, el único factor que presentó un efecto significativo fue la cantidad de CMC. El tratamiento con 3% de CMC y 80% de agua

reportó los valores más bajos en altura y volumen específico del pan. La razón de este comportamiento radica en la naturaleza hidrófila del hidrocoloide, que conlleva a una mayor retención de agua y un aumento de la viscosidad de la masa, produciendo una masa muy compacta y que crece muy poco en el proceso de leudado (Lazaridou *et al.* 2007). Otra posible razón es por la menor cantidad de agua empleada en la formulación, lo que ocasiona que la masa se vuelva quebradiza, se presenten defectos en la corteza y se deshidrate rápidamente la superficie (Arendt *et al.* 2008).

A medida que disminuye la concentración de CMC va disminuyendo el rendimiento, como se muestra en la figura 1(a). La presencia de fracturas en la corteza, durante el proceso de horneado, ocasionando que se escape gran cantidad de vapor, desde el interior de la matriz; una explicación para que suceda este comportamiento es por la disminución en la adición de CMC, lo cual, debilita la red estructural de la masa, aumentando la posibilidad de fracturas y mayor escape de agua, durante el horneado (Ziobro *et al.* 2013).

La presencia de fisuras en el pan es un indicativo de bajo volumen específico, ya que no se cuenta con una red que contenga el dióxido de carbono producido en la fermentación (Onyango *et al.* 2011; López-Tenorio *et al.* 2012). Los valores máximos de volumen específico y altura, se presentaron con 85% de agua y 2% de CMC, teniendo en cuenta la figura 1 (b) y (c), donde la retención de gas –en el interior de la matriz del alimento– se da por la formación de redes, que se originan por la interacción entre los derivados de celulosa (Onyango *et al.* 2009b). Esta estructura sirve para aumentar la viscosidad y fortalecer los límites de los alveolos en expansión, lo que facilita la retención de gas, a través del horneado y ocasiona un aumento en el volumen (Lazaridou *et al.* 2007). En diferentes estudios, se han encontrado que la adición de hidrocoloides, como el CMC, favorece la retención de gas en la matriz del pan, aumentando su volumen específico (Guarda *et al.* 2004; Lazaridou *et al.* 2007; Arendt *et al.* 2008; Hager *et al.* 2013). Adicionalmente, la proteína tiene un papel importante en la estabilidad del producto, ya que al desnaturalizarse proporciona un soporte a los almidones e hidrocoloides, ocasionando que el producto tenga características físicas deseables (Arendt *et al.* 2008; Ziobro *et al.* 2013). Por otro lado, el efecto de la composición de las materias primas (Tabla 1) y sus propiedades térmicas (Tabla 2) y funcionales, se ve reflejado en las características finales de los panes libres de gluten, elaborados de acuerdo a la formulación de este estudio.

Los datos obtenidos para la humedad de la corteza, de la miga y la actividad de agua no se ajustaron a ningún modelo matemático y, de igual forma, los factores no fueron significativos. La actividad de agua encontrada, experimentalmente, se encuentra dentro del rango (0,95-0,98) y está de acuerdo

Tabla 3. Respuestas obtenidas para cada corrida.

Corrida	Factores sin codificar		Variables de respuesta*									
	Agua (%)	CMC (%)	R[%]	h[mm]	H _m [%]	H _c [%]	A _w [-]	F _m [N]	C[-]	Du[N]	E[-]	ν
1	90	2	90,28	66,26	89,65	25,63	0,97	5,61	0,32	50,25	0,94	3,27
2	90	1	88,65	58,45	85,25	21,21	0,97	5,80	0,29	64,88	0,85	2,55
3	80	2	91,23	63,68	79,06	23,41	0,97	8,25	0,36	64,22	0,93	2,76
4	85	2	89,86	69,61	82,81	25,57	0,97	3,58	0,37	46,81	0,90	2,93
5	80	3	91,76	50,49	73,63	24,37	0,97	16,57	0,37	91,22	0,90	1,83
6	85	2	87,81	77,82	77,46	19,63	0,97	2,29	0,39	41,81	0,95	3,10
7	80	1	88,40	65,30	79,41	23,38	0,97	7,21	0,27	49,44	0,90	2,75
8	85	2	89,44	62,57	77,47	25,10	0,97	4,86	0,41	52,60	0,92	3,05
9	85	2	88,23	75,46	82,01	33,63	0,97	2,61	0,39	31,96	0,93	3,92
10	85	3	91,29	59,41	82,68	31,46	0,96	8,39	0,44	82,18	0,94	2,31
11	85	2	88,18	71,41	71,35	18,63	0,95	3,00	0,41	42,87	0,94	3,55
12	85	1	87,07	59,27	72,48	21,53	0,95	5,65	0,32	53,90	0,8*	2,97
13	90	3	91,21	58,48	84,88	30,87	0,96	7,78	0,47	44,35	0,93	1,95

*La definición de cada sigla correspondiente a la variable respuesta: R rendimiento, h altura, H_m humedad de la miga, H_c humedad de la corteza, A_w actividad de agua, F_m firmeza de la miga, C cohesividad, Du dureza, E elasticidad, ν volumen específico.

Tabla 4. Ecuaciones de los modelos determinados en las superficies de respuesta.

Variable respuesta (Y)	Coeficientes de regresión estimados						Adecuación modelo	
							R ²	Falta de ajuste (p>0,05)
R[%]	503,47	-9,88	5,53	0,06	-0,12	-0,04	0,828	0,578
h[mm]	-965,89	24,97	-27,53	-0,15	-9,50	0,74	0,746	0,776
F _m [N]	856,07	-20,19	21,31	0,12	3,11	-0,37	0,939	0,257
C[-]	11,63	0,28	0,28	-1,72E-3	3,91E-3	4,3E-3	0,887	0,105
Du[N]	1010,24	-26,35	211,63	0,18	15,37	-3,12	0,820	0,237
E[-]	5,21	0,03	-0,24	-2,13E-4	-0,03	4,3E-3	0,776	0,773
ν	-92,94	2,23	1,11	-0,01	-0,71	0,02	0,809	0,887

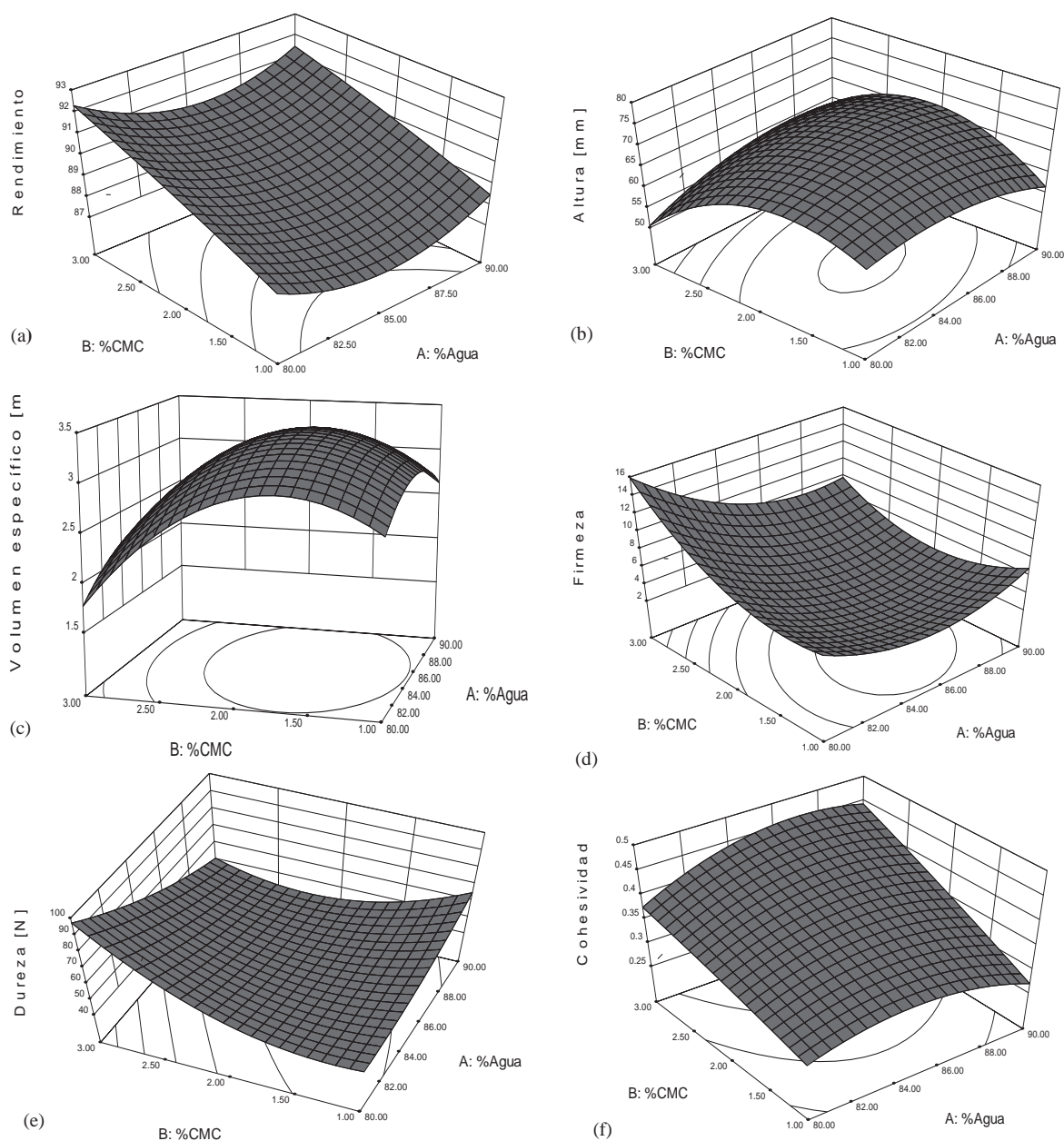


Figura 1 Propiedades físicas y texturales de pan libre de gluten. (a) rendimiento, (b) altura, (c) volumen específico, (d) firmeza de la miga, (e) dureza y (f) cohesividad.

a los resultados obtenidos en investigaciones de productos libres de gluten (Lazaridou *et al.* 2007; Mariotti *et al.* 2013). Los mayores contenidos de humedad de la miga, se presentaron cuando se adicionó mayor cantidad de agua (90%) y concentraciones superiores al 2% de CMC. Estudios previos han mostrado una relación directa entre la humedad de la

miga y la cantidad de CMC, usados en la formulación. Esto se da por los grupos hidroxilos presentes en el CMC, que ligan fuertemente el agua y evitan que se pierda por evaporación, durante el proceso de horneado (Guarda *et al.* 2004; Mohammadi *et al.* 2013; Hager *et al.* 2013).

La tabla 3 presenta los valores de firmeza de la miga, dureza, cohesividad y elasticidad de las muestras, para cada tratamiento. La figura 1 (d), (e) y (f) presenta las respectivas superficies de respuesta para firmeza de miga, dureza y cohesividad, ajustándose a un modelo cuadrático. Con respecto a la fuerza de la miga, todos los factores fueron significantes, al igual que la interacción entre éstos. En cuanto a la elasticidad, el porcentaje de CMC es significativo, al igual que la interacción de cada factor. Los factores por separados no son significantes en la dureza de las muestras; sin embargo, la interacción si lo son y para la cohesividad, el único factor significativo fue el porcentaje de CMC.

La mayor firmeza de la miga, se presentó con una concentración de 3% en CMC y 80% de agua, siendo esta misma muestra la que reportó los menores valores de volumen específico y altura. Estos resultados concuerdan con los reportados por Lazaridou *et al.* (2007), donde a menor cantidad de agua la muestra presentaba un aumento en la firmeza de la miga. En diferentes estudios, se ha encontrado que la fuerza de la miga disminuye a medida que aumenta el contenido de CMC y agua (Mohammadi *et al.* 2013; Sciarini *et al.* 2012; Demirkesen *et al.* 2010); además, se ha registrado que la cantidad de CMC ocasiona un aumento en la fuerza de la miga. Estos resultados son semejantes a los reportados por Onyango *et al.* (2009b), quienes consiguieron que el aumento en la concentración de metilcelulosa (MC), carboximetilcelulosa (CMC) o hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) conlleva al aumento de la firmeza de la miga. Una posible explicación del efecto del CMC en las propiedades mecánicas y la estructura de pan libre de gluten es por un aumento de la rigidez, como resultado de la disminución del hinchamiento de los gránulos de almidón y la reducción del lixiviado de amilosa (Mohammadi *et al.* 2013). Cabe destacar que, según el modelo encontrado, la interacción que más afecta la firmeza de la miga es el CMC, seguido de la doble interacción de este factor y el agua (Tabla 4). Este último es el de menor impacto en la firmeza, porque los constituyentes de la masa, los diferentes almidones, aislado de proteína de soya, lípidos, hidrocoloides y carbohidratos, van a estar compitiendo por el agua disponible, teniendo en cuenta los valores reportados por WAI, lo que ocasiona que disminuyan las interacciones agua-CMC y, por consiguiente, se reduce el efecto de esta interacción en la fuerza de la miga (Cappa *et al.* 2013; de la Hera *et al.* 2014).

La mayor elasticidad de las muestras, se presentó con una concentración de CMC de 2% y 85% de agua; la menor, con 90% de agua y 1% de CMC. Estos resultados concuerdan con lo reportado en la literatura, donde describen que la mayor elasticidad se da con una concentración de 2% de CMC (Arendt *et al.* 2008; Lazaridou *et al.* 2007). El aumento en la elasticidad de la masa refleja el grado de unión entre los elementos estructurales, por lo tanto, valores altos de elasti-

cidad implican una menor deformación o ruptura de la red de material compuesto (Onyango *et al.* 2009b).

La cohesividad aumenta con mayor concentración de CMC y agua (Figura 1 (f)). Esta variable refleja la cohesión interna del material, lo que indica que un pan con alta cohesividad es deseable, ya que forma una masa, en lugar de desintegrarse durante el proceso de masticación, mientras que valores bajos de cohesividad, indican aumento de la susceptibilidad del pan a la fractura (Onyango *et al.* 2011). En otros estudios, se ha encontrado que la cohesividad del producto aumenta a medida que se incrementa la cantidad de agua en la formulación, entre el rango de 70-80% de agua, lo cual, es congruente con lo hallado en este estudio y, en valores superiores al 85% de agua, se reporta una disminución en la cohesividad (de la Hera *et al.* 2014). Esto se podría explicar, porque los materiales van a estar interactuando con el agua y algunos van a ligar más agua que otros, afectando la formación de la matriz necesaria en la estructura de la masa libre de gluten (Arendt *et al.* 2008). La mayor firmeza de la miga, se presentó con 3% de CMC y 80% de agua y la menor, se registró con el nivel medio de 2% de CMC y 85% de agua. Como se puede observar, en la figura 1 (e), un aumento en la concentración de CMC ocasiona un gran incremento en la firmeza del producto; este resultado ya se ha reportado en otro estudio (Guarda *et al.* 2004). El CMC es el factor más influyente en la firmeza de la miga. Demirkesen *et al.* (2010) indican que la adición de CMC en productos libres de gluten es esencial para asegurar que los parámetros de calidad sean semejantes a productos con gluten. Según Hager *et al.* (2013), el agua no tiene un efecto significativo, pero la interacción agua-CMC sí es significativa; esto se da por la alta afinidad del CMC en ligar agua. Como se puede observar, en la figura 1, la firmeza de la miga tienden a aumentar a medida que la concentración de CMC aumenta, cuando se emplea un 80% de agua en la formulación; en el caso de la cohesividad, se mostró el pico máximo, con 3% de CMC y 87% de agua, después de este punto, con una mayor cantidad de agua, la cohesividad disminuyó; estos resultados están de acuerdo a los reportados por Onyango *et al.* (2011). Las propiedades texturales del TPA tienen relación con el análisis sensorial de las productos evaluados, por lo cual, se recomienda, en futuras investigaciones, aplicar pruebas sensoriales, para comprobar los resultados obtenidos.

Agradecimientos: Los autores agradecen a la empresa Ingridion de Colombia S.A., por facilitar la materia prima para realizar la investigación. **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 la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

BIBLIOGRAFÍA

1. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS -AACC-. 2000. Approved Methods of Analysis, 10th ed. Methods 44-15A, 74-09. American Association of Cereal Chemists. AACC International, St Paul, MN, USA.
2. AOAC INTERNATIONAL. 1997. Official Methods of Analysis, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
3. ANDERSON, R.A.; CONWAY, V.F.; PFEIFER, V.F.; GRIF-FIN, E.L. 1969. Gelatinization of corn grits by roll – and extrusion – cooking. *Cereal Sci. Today*. 14:4-12.
4. ARENDT, E.K.; MORRISSEY, A.; MOORE, M.M.; DAL BELLO, F. 2008. 13 - Gluten-free breads. In: Elke, K.A.; Dal Bello, F. (eds). *Gluten-Free Cereal Products and Beverages*. Ed. Academic Press. p.289-319.
5. CAPP, C.; LUCISANO, M.; MARIOTTI, M. 2013. Influence of Psyllium, sugar beet fibre and water on gluten-free dough properties and bread quality. *Carbohydr. Polym.* 98(2):1657-1666.
6. CONFORTI, F.D.; DAVIS, S.F. 2006. The effect of soya flour and flaxseed as a partial replacement for bread flour in yeast bread. *Int. J. Food Sci. Tech.* 41:95-101.
7. DE LA HERA, E.; ROSELL, C.M.; GOMEZ, M. 2014. Effect of water content and flour particle size on gluten-free bread quality and digestibility. *Food Chem.* 151:526-531.
8. DEMIRKESEN, I.; KELKAR, S.; CAMPANELLA, O.H.; SUMNU, G.; SAHIN, S.; OKOS, M. 2014. Characterization of structure of gluten-free breads by using X-ray microtomography. *Food Hydrocoll.* 36:37-44.
9. DEMIRKESEN, I.; MERT, B.; SUMNU, G.; SAHIN, S. 2010. Rheological properties of gluten-free bread formulations. *J. Food Eng.* 96(2):295-303.
10. DIOP, C.I.K.; LI, H.L.; XIE, B.J.; SHI, J. 2011. Effects of acetic acid/acetic anhydride ratios on the properties of corn starch acetates. *Food Chem.* 126(4):1662-1669.
11. GOESAERT, H.; BRIJS, K.; VERAVERBEKE, W.S.; COURTIN, C.M.; GEBRUERS, K.; DELCOUR, J.A. 2005. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends Food Sci. Tech.* 16(1-3):12-30.
12. GUARDA, A.; ROSELL, C.M.; BENEDITO, C.; GALOTTO, M.J. 2004. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocoll.* 18(2):241-247.
13. HAGER, A.S.; ARENDT, E.K. 2013. Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat. *Food Hydrocoll.* 32(1):195-203.
14. HASJIM, J.; LI, E.; DHITAL, S. 2013. Milling of rice grains: Effects of starch/flour structures on gelatinization and pasting properties. *Carbohydr. Polym.* 92(1):682-690.
15. INGREDION COLOMBIA S.A. 2013. ExpandexTM modified tapioca starch. Consultado 25 de mayo de 2013. Disponible desde Internet en: www.expandexgluten-free.com (con acceso 25/05/2013).
16. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION -ISO-. 1997. ISO 10520: Determination of starch content – Ewers polarimetric method. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
17. JI, Y.; ZHU, K.; QIAN, H.; ZHOU, H. 2007. Staling of cake prepared from rice flour and sticky rice flour. *Food Chem.* 104(1):53-58.
18. KAUSHAL, P.; KUMAR, V.; SHARMA, H.K. 2012. Comparative study of physicochemical, functional, antinutritional and pasting properties of taro (*Colocasia esculenta*), rice (*Oryza sativa*) flour, pigeonpea (*Cajanus cajan*) flour and their blends. *LWT - Food Sci. Tech.* 48(1):59-68.
19. LAZARIDOU, A.; DUTA, D.; PAPAGEORGIOU, M.; BELC, N.; BILIADERIS, C.G. 2007. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *J. Food Eng.* 79(3):1033-1047.
20. LEE, S.Y.; CHEN, H.; HANNA, M.A. 2008. Preparation and characterization of tapioca starch-poly(lactic acid) nanocomposite foams by melt intercalation based on clay type. *Indust. Crops Products.* 28(1):95-106.
21. LÓPEZ-TENORIO, J.A.; RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E.; SEPÚLVEDA-VALENCIA, J.E. 2012. Evaluación de características físicas y texturales de pandebono. *Acta Agron.* 61(3):273-281.

22. MAHMOUD, R.M.; YOUSIF, E.I.; GADALLAH, M.G.E.; ALAWNEH, A.R. 2013. Formulations and quality characterization of gluten-free Egyptian balady flat bread. *Ann. Agr. Sci.* 58(1):19-25.
23. MANJARRES-PINZON, K.; CORTES-RODRIGUEZ, M.; RODRIGUEZ-SANDOVAL, E. 2013. Effect of drying conditions on the physical properties of impregnated orange peel. *Braz. J. Chem. Eng.* 30(3):667-676.
24. MARIOTTI, M.; PAGANI, M.A.; LUCISANO, M. 2013. The role of buckwheat and HPMC on the breadmaking properties of some commercial gluten-free bread mixtures. *Food Hydrocoll.* 30(1):393-400.
25. MOHAMMADI, M.; SADEGHNIA, N.; AZIZI, M.H.; NEYES-TANI, T.R.; MORTAZAVIAN, A.M. 2013. Development of gluten-free flat bread using hydrocolloids: Xanthan and CMC. *J. Indust. Eng. Chem.* 20(4):1812-1818.
26. ONYANGO, C.; MUTUNGI, C.; UNBEHEND, G.; LINDHAUER, M.G. 2009a. Creep-recovery parameters of gluten-free batter and crumb properties of bread prepared from pregelatinised cassava starch, sorghum and selected proteins. *Int. J. Food Sci. Tech.* 44:2493-2499
27. ONYANGO, C.; UNBEHEND, G.; LINDHAUER, M.G. 2009b. Effect of cellulose-derivatives and emulsifiers on creep-recovery and crumb properties of gluten-free bread prepared from sorghum and gelatinised cassava starch. *Food Res. Int.* 42(8):949-955.
28. ONYANGO, C.; UNBEHEND, G.; LINDHAUER, M. 2011. Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. *LWT - Food Sci. Tech.* 44(3):681-686.
29. PONGJARUVAT, W.; METHACANON, P.; SEETAPAN, N.; FUONGFUCHAT, A.; GAMONPILAS, C. 2014. Influence of pregelatinised tapioca starch and transglutaminase on dough rheology and quality of gluten-free jasmine rice breads. *Food Hydrocoll.* 36:143-150.
30. RODRÍGUEZ, P.; SAN MARTÍN, M.E.; GONZÁLEZ DE LA CRUZ, G. 2001. Calorimetría diferencial de barrido y rayos-x del almidón obtenido por nixtamalización fraccionada. *Superf. Vacío.* 13:61-65.
31. RODRIGUEZ-SANDOVAL, E.; SANDOVAL, G.; CORTES-RODRIGUEZ, M. 2012. Effect of quinoa and potato flours on the thermomechanical and breadmaking properties of wheat flour. *Braz. J. Chem. Eng.* 29(3):503-510.
32. RODRIGUEZ-SANDOVAL, E.; FRANCO, C.M.L.; MANJARRES-PINZON, K. 2014. Effect of fructooligosaccharides on the physicochemical properties of sour cassava starch and baking quality of gluten-free cheese bread. *Starch-Stärke.* 66:678-684.
33. SAHIN, S.; SUMNU, S.G. 2006. *Physical Properties of Foods.* Ed. Springer Verlag. New York, NY, USA. p.30-33.
34. SCIARINI, L.S.; RIBOTTA, P.D.; LEÓN, A.E.; PÉREZ, G.T. 2012. Incorporation of several additives into gluten free breads: Effect on dough properties and bread quality. *J. Food Eng.* 111(4):590-597.
35. ZIOBRO, R.; WITCZAK, T.; JUSZCZAK, L.; KORUS, J. 2013. Supplementation of gluten-free bread with non-gluten proteins. Effect on dough rheological properties and bread characteristic. *Food Hydrocoll.* 32(2):213-220.

Recibido: Noviembre 28 de 2014

Aceptado: Julio 21 de 2015

Cómo citar:

Martínez-Jiménez, F.; Rodríguez-Sandoval, R.; Hernández-Gómez, M.S. 2015. Impacto de la adición de caboximetilcelulosa y agua en las propiedades fisicoquímicas y de calidad de pan libre de gluten. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18((2): 445-454.

PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS Y SENSORIALES DE SALCHICHAS ELABORADAS CON INCLUSIÓN DE QUITOSANO

PHYSICOCHEMICAL, MICROBIOLOGICAL AND SENSORY PARAMETERS OF SAUSAGES PREPARED WITH INCLUSION OF CHITOSAN

José Igor Hleap¹, Lina Cardona², Johana Agudelo², Alejandra Gómez²

¹Ingeniero Pesquero, PhD. Ingeniería de Alimentos, Docente. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Administración, Palmira, Valle del Cauca, Colombia, e-mail: jihleapz@unal.edu.co; ²Estudiantes de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Administración, Palmira, Valle del Cauca, Colombia, e-mail: lncardonas@unal.edu.co, djagudeloc@unal.edu.co, maagomezhe@unal.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 455-464, Junio-Diciembre, 2015

RESUMEN

Las industrias cárnica y pesquera están buscando constantemente ingredientes, como alternativas seguras para aumentar las características de sabor y de color de los productos finales, sin afectar las propiedades sensoriales, nutricionales y funcionales. En este estudio, se evaluó el quitosano, como un elemento extensor en embutidos de carne y de pescado. Se elaboraron cuatro tipos de embutidos: dos, a base de carne de cerdo y dos, de filete de tilapia. Cada grupo, se dividió en dos subgrupos. En el primer subgrupo, se añadió harina de trigo, como único componente (100% de harina de trigo), mientras que en el otro, se añadieron 35% quitosano y 65% de harina de trigo. Se sometieron a análisis microbiológicos, fisicoquímicos y sensoriales; el análisis sensorial fue realizado por un grupo de 77 panelistas no entrenados, utilizando una escala hedónica de siete puntos, estudiando el sabor, el color, el olor, la textura y la opinión general; todas las características fueron aceptables, excepto el color. Los parámetros fisicoquímicos no mostraron diferencias estadísticamente significativas dentro de cada subgrupo de salchichas; sin embargo, la comparación entre los dos grupos, mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) en el contenido de proteína y de grasa. Para las salchichas de carne de cerdo, más del 50% de los panelistas juzgaron positivamente sobre los parámetros sensoriales. A partir de los productos elaborados, las salchichas de carne de cerdo tuvieron mejor aceptación organoléptica, para las de filete de pescado no fue así, probablemente, debido a la falta de conocimiento de este producto no tradicional.

Palabras clave: Embutidos, evaluación sensorial, industria cárnica, industria pesquera, sustancias extensoras.

SUMMARY

Meat and fish industries are constantly searching ingredients as safe alternatives to increase flavor and color characteristics of the final products without affecting sensory, nutritional and functional properties. In this study, chitosan was evaluated as an extender element in meat and fish sausages. Four types of sausages were produced: two based on pork meat and two based on tilapia fillet. Each group was divided into two more subgroups. In the first subgroup, wheat flour was added as the only component (100% of wheat flour) while in the other subgroup 35% chitosan and 65% wheat flour were added. They were submitted to microbiological, physicochemical and sensory analysis. Sensory analysis was made by a group of 77 untrained panelists, using a seven-point hedonic scale, analyzing the taste, color, smell, texture and general opinion attributes. All the characteristics were acceptable except color. The physicochemical parameters showed no statistically significant differences within each group of sausages. However, comparison between groups of sausages, showed significant differences ($p < 0.05$) in protein and fat contents. For the pork meat sausage, more than 50% of the panelists judged positively about sensory parameters. From the processed products, the pork sausages meat had the best organoleptic acceptance, while the fish fillet sausages had not well acceptance, probably due to the absence of knowledge of this non-traditional product.

Key words: Sausages, sensory evaluation, meat industry, fish industry, extensor substances.

INTRODUCCIÓN

La actividad pesquera en Colombia, se caracteriza por el manejo, a nivel de pequeñas empresas, de un número importante de recursos de origen hidrobiológico. Entre estos recursos, se dispone de los camarones, cuyo destino es el mercado internacional. Según datos de la AUNAP, la captura de estos recursos naturales en Colombia está representada en 3.790t anuales (AUNAP, 2014). Para las exportaciones, se usan las colas enteras, desvenadas y congeladas, quedando, como subproducto de esta operación, los caparazones, que contienen, aproximadamente, entre el 20-30% de un polímero natural, la quitina (Ramya *et al.* 2012), de la cual, extrae el quitosano, que tiene aplicaciones en las múltiples industrias (Mármol *et al.* 2011).

El quitosano es uno de los pocos polisacáridos catiónicos naturales, con un pKa de alrededor de 6,5, lo que le confiere propiedades muy particulares (Krajewska, 2004); se deriva de la quitina, mediante la desacetilación de la misma (Rabea *et al.* 2003). Presenta la habilidad de ligar lípidos y metales y puede extender la vida de anaquel de productos alimenticios frescos y con alta actividad de agua, como frutas, verduras y carnes (Jeon *et al.* 2002).

La quitina, sustancia de la cual se obtiene el quitosano, es el segundo polisacárido en abundancia en la naturaleza, después de la celulosa, derivado del exoesqueleto de los crustáceos, así como también, de las paredes celulares de hongos e insectos (Tharanathan & Kittur, 2003), aspecto que hace que en el mercado actual tenga un potencial de aceptación, como ingrediente en la elaboración de múltiples productos, entre otros, alimenticios (Mahdy *et al.* 2013). La principal fuente comercial la constituyen los desechos de camarón y de cangrejo (Rinaudo, 2006).

La quitina y el quitosano tienen un gran impacto económico, debido a sus actividades biológicas y sus aplicaciones técnicas, industriales y biomédicas. Gracias a las propiedades del quitosano, como la adsorción, las propiedades formadoras de película (Velázquez-Moreira & Guerrero, 2014) y las propiedades antioxidantes (Georgantelis *et al.* 2007) y antimicrobianas (Zhang *et al.* 2011), se utiliza en la preservación de alimentos (No *et al.* 2007), en la elaboración de cosméticos (Abdel-Mohsen *et al.* 2014), en la agricultura (Zeng *et al.* 2012), en la biotecnología (Mármol *et al.* 2011), en el procesamiento de fibras textiles (Abdel-Mohsen *et al.* 2012), así como en los campos de la medicina (Przekora & Ginalska, 2014).

Tradicionalmente y con la finalidad de reducir los costos de producción en la formulación de los productos cárnicos, se han introducido algunas sustancias, denominadas “extensores”, cuyo objetivo es sustituir una parte de la carne, ofre-

ciendo el aporte proteico y funcional adecuado (Andújar *et al.* 2000). Los ligadores, al igual que los extensores, buscan aumentar los valores nutricionales y funcionales de los productos finales; generalmente, se basan en harinas, féculas o almidones. Son materiales, que sólo ocupan el lugar de la carne, ligando una cantidad de agua considerable, pero sin un aporte proteico. Estos extensores cárnicos tienen propiedades funcionales, tales como la retención de agua, la emulsificación de grasas y la gelificación, importantes desde el punto de vista tecnológico (Güemes, 2007). Así, la presencia de un tipo de extensor u otro, no solo dará economía a la fórmula sino que, también, actuará como facilitador del proceso (Blanno, 2006).

En la industria alimentaria, la quitina y el quitosano tienen usos, como aditivos en los alimentos, con carácter espesante, gelificante y emulsificante (Shahidi *et al.* 1999; Rinaudo, 2006).

Este trabajo buscó aplicar el quitosano como extensor, en productos emulsionados, derivados de la carne y del pescado y evaluar, sensorial, microbiológica y bromatológicamente, las características de los productos finales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras de estudio. Los caparazones de camarón (*Penaeus vannamei*) fueron traídos desde el puerto de Buenaventura, Valle del Cauca, Colombia, al Laboratorio de Tecnología de Carnes de la Universidad Nacional de Colombia -sede Palmira. La carne de cerdo, al igual que los filetes de tilapia y el rebanado o grasa dorsal fueron adquiridos en un supermercado de la ciudad de Palmira, Valle del Cauca; los demás insumos y aditivos, se obtuvieron en una casa comercializadora de insumos para la industria alimenticia.

A partir de los caparazones del camarón, se obtuvo la quitina, según el procedimiento planteado por Shahidi *et al.* (1999), el cual, se desarrolló en Laboratorio de Química de la Universidad Nacional de Colombia - sede Palmira. Por desacetilación de la quitina, utilizando una solución de NaOH al 50% (p/v) y una temperatura de 40°C, durante 15 horas, en una relación 1:4, se obtuvo el quitosano.

Se elaboraron dos tipos de salchichas: una, a base de carne de cerdo (*Sus scrofa domestica*) y, la otra, de filetes de tilapia (*Oreochromis* sp.) (Tabla 1). Se trabajó con dos matrices cárnicas de diferentes características funcionales y sensoriales, ya que se buscaba evaluar el comportamiento de algunos parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales, de dichos productos, con adición de quitosano, como elemento extensor, independiente del tipo de materia prima cárnica utilizada. En ambos casos, se desarrollaron dos alternativas: una, con el 100% de la cantidad de harina de trigo estipulada

por la formulación, desarrollada en experimentaciones previas y, la otra, sustituyendo el 35% de ésta por el quitosano elaborado. Con base en las experimentaciones preliminares, se determinó que un mayor porcentaje de adición de quitosano conlleva a la alteración de las características texturales del producto final, afectando parámetros, como la adhesividad, la cohesividad y la masticación; por el contrario, un menor porcentaje de adición del quitosano, no se refleja en las características de ligazón, que se buscan con la adición de extensores no cárnicos.

Las materias primas, insumos y aditivos, se pesaron de acuerdo a la formulación. Se trabajaron por separado las salchichas de carne de cerdo y las de filete de tilapia. Después de descongelar las materias primas cárnicas, se procedió a fraccionarlas manualmente en trozos, cerca de 5cm de lado, con el fin de facilitar las operaciones de mezclado, en un cúter Hobart 84181-D Corporation Troy, Ohio, USA, durante 15 minutos, hasta obtener una emulsión homogénea. Se embutió en una embutidora hidráulica marca Javar EM 30 Javar Tecnología Alimentaria Bogotá, Colombia. Se utilizó tripa artificial Amicel® calibre 22. Las salchichas, se amarra-

ron manualmente, de acuerdo a un peso de 60g por unidad. Para lograr la coagulación de las proteínas y la consecuente cocción del embutido, las salchichas se sometieron al proceso de escaldado en agua a 80°C, hasta que alcanzaron una temperatura interna de 72°C, que se verificó con un termómetro de aguja Checktemp HI 98501 Hanna Instruments Ltda., Inglaterra, introducido en el centro de una salchicha, tomada en forma aleatoria. Con el objetivo de reducir la temperatura de las salchichas, se realizó una inmersión en agua fría, para generar un choque térmico del producto, que permaneció, aproximadamente, a 15°C, durante un tiempo de 5min. El producto terminado, se empacó en bolsas especiales con una máquina al vacío EGARVAC Basic B. Vacarisses, Barcelona, España, en presentaciones de siete salchichas, con un rótulo, identificando el tipo de salchicha. Las salchichas empacadas, se almacenaron a temperaturas de refrigeración 2°C ± 2°C, hasta el momento de realizar las pruebas microbiológicas, fisicoquímicas y sensoriales. Los análisis microbiológicos y fisicoquímicos, se hicieron por triplicado y fueron contratados con un laboratorio comercial de análisis de alimentos, ubicado en la ciudad de Cali, Valle del Cauca.

Tabla 1. Formulación utilizada para la elaboración de las salchichas.

Producto	Salchichas de carne de cerdo		Salchichas de filete de tilapia		%
	100% harina de trigo	65% harina de trigo y 35% quitosano	100% harina de trigo	65% harina de trigo y 35% quitosano	
	g	g	g	g	
Carne de cerdo (pH 6,5)	638,30	638,30	-	-	38,91
Filete de tilapia	-	-	638,30	638,30	
Rebanado (grasa dorsal)	279,80	279,80	279,80	279,80	17,05
Ligador XT-202	42,20	42,20	42,20	42,20	2,57
Hielo	474,00	474,00	474,00	474,00	28,89
Sal	30,00	30,00	30,00	30,00	1,82
Nitral	7,10	7,10	7,10	7,10	0,43
Condimento salchicha	19,00	19,00	19,00	19,00	1,15
Glutamato mono sódico	2,20	2,20	2,20	2,20	0,13
Polifosfatos	7,90	7,90	7,90	7,90	0,48
Ascorbato	4,70	4,70	4,70	4,70	0,28
Humo líquido	4,70	4,70	4,70	4,70	0,28
Cebolla en polvo	4,70	4,70	4,70	4,70	0,28
Ajo en polvo	4,70	4,70	4,70	4,70	0,28
Harina de trigo	121,00	78,65	121,00	78,65	7,37
Quitosano en polvo	-	42,35	-	42,35	
TOTAL	1640,30	1640,30	1640,30	1640,30	100,00

Fuente: Adaptado de Hleap & Velasco, 2012.

Análisis microbiológico. Para cada uno de los cuatro productos elaborados, se determinó: Aerobios mesófilos totales UFC g⁻¹, según norma NTC 4519 (2009); Coliformes totales UFC g⁻¹, según norma NTC 4458 (2007); *Escherichia coli* UFC g⁻¹, según norma NTC 4458 (2007); Esporas de *Clostridium Sulfito Reductor* UFC g⁻¹, según norma INVIMA (1998); *Salmonella* en 25g, según norma NTC 4574 (2007) y *Estafilococo coagulasa positiva* UFC g⁻¹, según norma NTC 4779 (2007).

Análisis fisicoquímico. Se realizaron los siguientes análisis: humedad y materia volátil, según el método de secado directo (AOAC 950.46, 2011); proteína total medida como N x 6,25, según el método Kjeldhal (AOAC 2011.04, 2011); grasa total, según el método extracto etéreo (AOAC 991.36, 2011); cenizas, de acuerdo al método (AOAC 991.36, 2011); carbohidratos totales, por método de cálculo; valor energético, medido como calorías totales en Kcal/100g, según el método de la bomba calorimétrica de Berthelot – Mahler; nitritos en partes por millón, según el método químico (AOAC 973.31, 2011) y presencia de almidón %, según el método colorimétrico.

Análisis sensorial. Se realizaron pruebas afectivas, para lo cual, se contó con el concurso de 77 jueces evaluadores no entrenados. Para realizar las degustaciones, se calentaron las salchichas a la plancha, a una temperatura aproximada de 90°C y se trocearon a un tamaño promedio de 1 a 2cm. La degustación, se realizó entre las 9 y 11 a.m. y las 2 y 5 p.m., para evitar que los jueces tuvieran sesgos, debidos a la saciedad o al hambre. Se ofreció a cada juez evaluador un trozo de cada uno de los productos, identificado con un número aleatorio de tres cifras; entre degustación y degustación transcurrieron, aproximadamente, tres minutos, tiempo en el que los evaluadores debieron enjuagar la boca con agua, para evitar sesgos sensoriales, entre una muestra y la siguiente. Las pruebas realizadas fueron: prueba de grado de satisfacción y prueba de aceptación y preferencia. Para la

primera, los jueces, después de probar cada una de las salchichas, deberían diligenciar una encuesta, con una escala hedónica de siete puntos (Tabla 2), que indicarían el grado de satisfacción del consumidor, para los atributos sabor, olor, color, textura y opinión general. La segunda prueba, se estableció en orden aleatorio y se llevó a cabo, simultáneamente, con la prueba de grado de satisfacción. Los jueces evaluadores deberían escoger la de mayor agrado sensorial entre las dos muestras, con inclusión de 35% de quitosano, ya que la adición de esta sustancia era lo que se quería evaluar en el producto final, además, que permitió obtener datos sobre las características de los jueces evaluadores.

Análisis estadístico. Para procesar la información recolectada en las encuestas, se utilizó el programa estadístico IBM SPSS Statistics 19, donde se obtuvo un análisis de medias y varianza ANOVA y la prueba Tukey, para determinar las diferencias estadísticas entre las muestras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros fisicoquímicos. El análisis de los parámetros fisicoquímicos evaluados (Tabla 3) presentó diferencias significativas ($p < 0,001$), para humedad, proteína, grasas, carbohidratos, valor energético y contenido de nitritos. Las salchichas elaboradas a base de filetes de tilapia, estadísticamente, presentan los mayores valores de humedad, de cenizas y de carbohidratos y, los más bajos contenidos, de proteína y de grasas. Los valores de humedad, de proteína y de carbohidratos, para las salchichas fabricadas a base de filete de tilapia, son similares a los mostrados por Hleap & Velasco (2010a); sin embargo, para las grasas el valor obtenido fue menor, debido al bajo porcentaje de inclusión de grasa de cerdo en los productos elaborados. Comparando los dos tipos de salchichas, se puede observar que el contenido de humedad es similar, ajustándose ambos a lo estipulado por la Norma Técnica Colombiana NTC 1325 (ICONTEC, 2008), que establece, para productos denominados Calidad Premium,

Tabla 2. Escala hedónica utilizada en la prueba del grado de satisfacción.

Calificación hedónica	Calificación numérica
Me gusta muchísimo	7
Me gusta mucho	6
Me gusta ligeramente	5
Ni me gusta ni me disgusta	4
Me disgusta ligeramente	3
Me disgusta mucho	2
Me disgusta muchísimo	1

el contenido máximo de humedad, de 67%. El contenido de humedad obtenido para las salchichas a base de carne de cerdo fue similar al encontrado por O'Flynn *et al.* (2014), de 63,06%; en otro estudio realizado con salchichas fabricadas a base de bagre tailandés (*Clarias macrocephalus*), por Intarasirisawat *et al.* (2014), se registraron valores ligeramente superiores, de 75%, a los hallados en este trabajo, utilizando harina de tapioca (*Manihot esculenta*), como agente extensor y, finalmente, Yang *et al.* (2007) obtuvieron 67 a 68% de humedad en salchichas de cerdo bajas en grasa, con adición de harina de avena, como sustancia extensora. El contenido de humedad de las salchichas, se encuentra estrechamente relacionado con el tipo de ingrediente cárnico utilizado para su elaboración, lo cual, puede ser clasificado de acuerdo a su capacidad de retención de agua (Savadkoohi *et al.* 2014). Probablemente, los valores de humedad hallados, se pueden deber a que la carne de cerdo, los filetes de tilapia y otras matrices cárnicas utilizadas, se caracterizan por una disminución de la capacidad de retención de humedad, durante el escurrido, el secado y el almacenamiento de los productos finales, así como a las diferentes formulaciones empleadas en su fabricación, que son muy variadas, dependiendo de los gustos sensoriales en diferentes países y de las normativas vigentes en los mismos.

Para los dos tipos de salchichas, se hallaron valores de proteína similares, no encontrándose diferencias estadísticas. La diferencia presentada, se puede deber a la mayor pérdida de humedad en las salchichas de pescado, durante el escal-

ado, ya que el músculo es una carne con menor contenido de tejido conectivo y fibroso y, por lo tanto, es más sensible a estos procesos térmicos. Los valores obtenidos para las salchichas de carne de cerdo son superiores, a los reportados en salchichas tipo Viena, por De Landaeta *et al.* (2012), quienes encontraron valores de 11,3 a 11,8%. Para las salchichas de filete de tilapia, los valores obtenidos son superiores a los reportados por Hleap *et al.* (2010b), quienes presentaron valores de 10,10%, para salchichas elaboradas a partir de carduma (*Cetengraulis mysticetus*) y plumuda (*Opsithone-ma spp.*), con adición de harina de trigo, como extensor. En contraste, están por debajo de los valores obtenidos en otro trabajo –en salchichas elaboradas con carne de atún y res-, de 15,53%, en donde se utilizó, igualmente, harina de trigo, como sustancia extensora (García *et al.* 2005).

El contenido de grasa de las salchichas de los dos grupos mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$), atribuibles a las variaciones en el contenido de grasa de las materias primas utilizadas; sin embargo, dentro de cada grupo de salchichas, la adición de quitosano, como sustancia extensora, no influyó en el contenido de grasa en los productos finales, ya que no se observaron diferencias significativas entre los valores obtenidos, lo cual, se explica por ser el quitosano un polisacárido libre de sustancias lipídicas. Estos datos difieren de los presentados por De Landaeta *et al.* (2012), quienes reportaron valores de 13,6%, para productos comercializados, en Argentina; igualmente, García *et al.* (2005) obtuvieron valores de 5,15%, para salchichas elaboradas con carne

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos de las salchichas elaboradas.

Parámetro analizado	Salchicha de carne de cerdo 100% harina de trigo	Salchicha de carne de cerdo 65% harina de trigo y 35% quitosano	Salchicha de filete de tilapia 100% harina de trigo	Salchicha de filete de tilapia 65% harina de trigo y 35% quitosano
Humedad, %	63,29 ± 0,45 ^a	66,15 ± 0,27 ^a	68,96 ± 0,73 ^b	69,81 ± 0,57 ^b
Proteína total (N x6,25), %	12,18 ± 0,62 ^a	12,24 ± 0,75 ^a	10,06 ± 0,71 ^b	10,48 ± 0,92 ^b
Grasa total, %	11,02 ± 0,34 ^a	10,91 ± 0,66 ^a	4,79 ± 0,95 ^b	5,61 ± 0,83 ^b
Cenizas, %	4,12 ± 0,57 ^a	4,34 ± 0,39 ^a	5,99 ± 0,88 ^a	5,78 ± 0,68 ^a
Carbohidratos totales, %	9,39 ± 0,45 ^a	6,36 ± 0,52 ^a	10,20 ± 0,82 ^b	8,32 ± 0,75 ^b
Caloría totales, Kcal/100g	183,12 ± 1,15 ^a	172,61 ± 1,61 ^a	126,14 ± 0,99 ^b	125,69 ± 1,14 ^b
Nitritos, ppm	136,38 ± 0,27 ^a	137,37 ± 0,36 ^a	199,89 ± 0,15 ^b	202,18 ± 0,21 ^b
Almidón, %	1,62 ± 0,33 ^a	1,54 ± 0,23 ^a	0,98 ± 0,64 ^a	0,94 ± 0,41 ^a

Dentro de una fila los valores con diferente letra representa diferencias significativas $p < 0,05$.

de atún, valores similares a los encontrados en la presente investigación. El análisis relacionado con el contenido de grasas mostró que las salchichas elaboradas, se hallan dentro de los parámetros estipulados por la Norma Técnica Colombiana NTC 1325, que permite, para productos Premium, un contenido no superior a 28%, de grasa total.

Respecto a los carbohidratos, su contenido fue mayor en las salchichas elaboradas a partir de filetes de tilapia. Para los cuatro tipos de salchichas, el contenido fue ligeramente superior a lo permitido por la NTC 1325, que permite un máximo de 5%, para productos Premium. Teniendo en cuenta que la adición de harina de trigo y quitosano fue igual para cada grupo de salchichas, se recomienda revisar la formulación, para adecuarla a lo estipulado por la norma.

Respecto al aporte de calorías totales, las salchichas elaboradas a base de carne de cerdo registraron los valores más altos. Igualmente, en los productos elaborados, se observa un mayor valor que en las carnes materia prima, debido a la grasa que contienen las salchichas, siendo mayor su contenido en la carne de cerdo que en los filetes de tilapia. Lo anterior está acorde con los datos reportados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2015), con 1,97% de grasa, para filete de tilapia y 9,21%, para carne fresca de cerdo, así como también, con los reportados –para filete de tilapia-, por Hernández-Sánchez & Aguilera-Morales (2012), de 0,79 a 8,5%.

La cantidad de nitritos (ppm) varía entre los grupos de salchichas, ajustándose ambos a lo estipulado en la Norma Técnica Colombiana NTC 1325.

Es importante resaltar que, estadísticamente, la inclusión de quitosano no influyó en los resultados de los parámetros físico-químicos evaluados para cada grupo de salchichas elaboradas; sin embargo, al analizar dentro de cada grupo las salchichas con 100% de inclusión de harina de trigo y aquellas con adición de 35% de quitosano, sí se observan diferencias en los parámetros analizados.

Parámetros microbiológicos. Los resultados del análisis microbiológico (Tabla 4) muestran que, tanto las salchichas de carne de cerdo como las elaboradas a base de filete de tilapia, cumplen con los requisitos establecidos por la Normas Técnicas Colombianas NTC 1325 (2008) y NTC 4519 (2009).

La carne no es una materia prima estéril y los condimentos y las especias pueden contener microorganismos, que no mueren en el proceso de escaldado, ocasionando una aceleración en el deterioro de los productos finales. Los resultados obtenidos para los cuatro tipos de salchichas, se ubicaron dentro de lo permitido por las normas 1325 y 4519, establecidas por el ICONTEC NTC 1325 (2008) y NTC 4519 (2009), lo cual, permite asegurar una buena calidad e inocuidad de los mismos. Los resultados derivados de esta investigación

Tabla 4. Análisis microbiológicos para los productos elaborados.

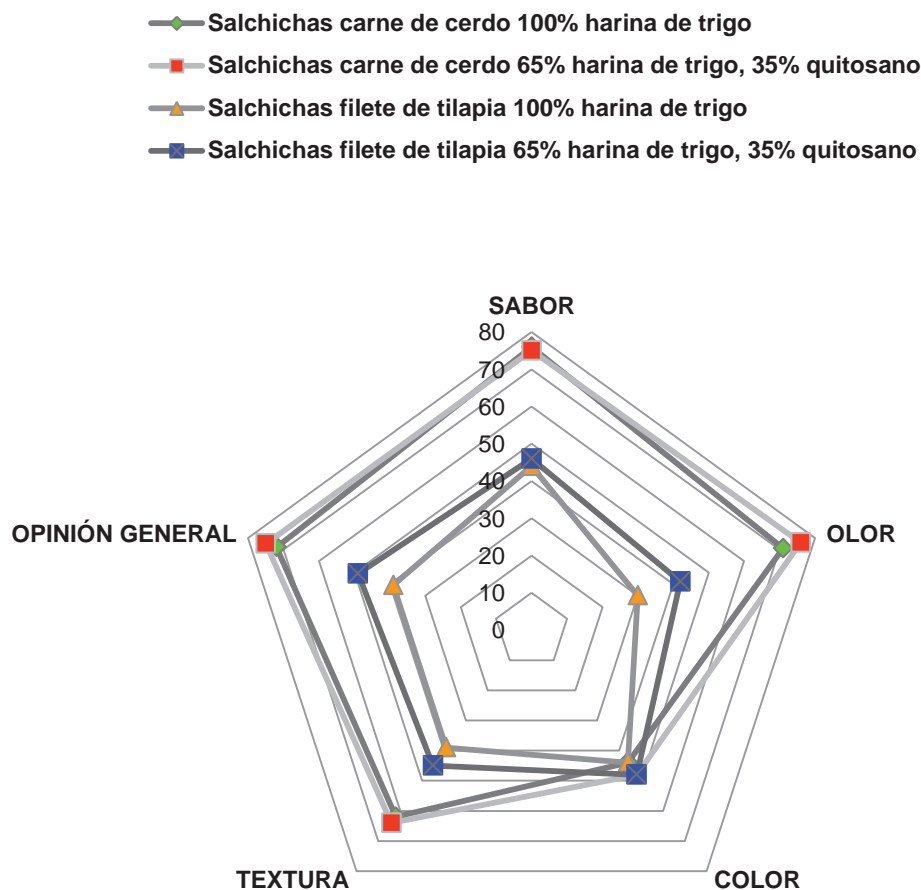
Parámetros analizado	Método	Salchicha de carne de cerdo 100% harina de trigo	Salchicha de carne de cerdo 65% harina de trigo y 35% quitosano	Salchicha de filete de tilapia 100% harina de trigo	Salchicha de filete de tilapia 65% harina de trigo y 35% quitosano	Valor admisible
Aerobios mesófilos UFC g ⁻¹	NTC 4519	< 10	< 10	60	50	< 100.000
Coliformes totales UFC g ⁻¹	NTC 4458	< 10	< 10	< 10	< 10	500 Max.
<i>Escherichia coli</i> UFC g ⁻¹	NTC 4458	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Esporas <i>Clostridium</i> Sulfito Reductor UFC g ⁻¹	INVIMA	< 10	< 10	< 10	< 10	100 Max.
<i>Salmonella</i> en 25g	NTC 4574	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Estafilococo coagulasa positiva UFC g ⁻¹	NTC 4779	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100

concuerdan con los reportados por García *et al.* (2005) y por Izquierdo *et al.* (2007), quienes, en sus respectivos trabajos, sugieren que el bajo conteo microbiológico, se debe al uso de materia fresca y, su buen manejo sanitario, a la alta temperatura en la cocción, al rápido enfriamiento del producto y al uso de envolturas impermeables. A pesar que el resultado de *Escherichia coli* en los productos elaborados fue menor de 10 UFC g⁻¹, lo que coincide con el límite permisible por las normas colombianas, la presencia de bacterias coliformes en los alimentos no significa, necesariamente, que hubo una contaminación o que existen patógenos entéricos presentes (Castillo & Andino, 2010).

Parámetros sensoriales. Se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos, dentro de la escala hedónica de “me gusta

muchísimo”, “me gusta mucho” y “me gusta ligeramente”, para los parámetros sabor, olor, color, textura y opinión general (Figura 1).

La media de los datos recolectados entre los jurados osciló alrededor de “me gusta mucho”, en los atributos sabor y olor. Respecto al color de las muestras presentadas, los datos variaron entre “me gusta mucho” y “me gusta ligeramente”, citando comentarios referentes a color muy pálido, en comparación con salchichas comerciales; con relación a la textura y a la opinión general, las respuestas se registraron entre “me gusta mucho” y “me gusta ligeramente”. Para todos los atributos sensoriales, a excepción del color, las opiniones de más del 50% de los jueces se encontraron en los niveles “me gusta muchísimo” y “me gusta mucho”, lo cual,



Los valores de la escala 0 a 80 representan las respuestas de los evaluadores, en los 3 puntos significativos de la escala hedónica.

Figura 1. Parámetros sensoriales para los productos elaborados.

permitió concluir que se trató de salchichas de muy buena aceptación. La adición de quitosano, como agente extensor, en una cantidad de 35% de sustitución de harina de trigo, no afecta los aspectos sensoriales de las salchichas elaboradas con carne de cerdo; ésto se corroboró con el análisis estadístico, al notar que la mayor frecuencia expresada entre las personas encuestadas con respecto a sabor, olor, textura y opinión general de las salchichas elaboradas con carne de cerdo fue “me gusta mucho”; respecto al color, la mayor frecuencia fue “ni me gusta ni me disgusta”. A las salchichas no se les adicionó colorante suplementario, resultando las salchichas con su color natural, que difiere con las salchichas comerciales, habituales para los jueces evaluadores.

Para las salchichas elaboradas a partir de filete de tilapia, la frecuencia de los datos obtenidos en las encuestas, se encontró entre “me gusta ligeramente”, “ni me gusta, ni me disgusta” y “me disgusta ligeramente”, para todos los atributos elaborados, que presentaron opinión por encima del 50% de los evaluadores, en estos tres puntos de la escala hedónica y ello, se puede deber al poco conocimiento que se tiene de este tipo de productos, que no son comerciales en Colombia y no se tiene la referencia para su consumo. Con relación al atributo color, se tuvieron las mismas apreciaciones que en el caso de las salchichas de carne de cerdo y, esto igualmente se explica, por la no adición de colorantes artificiales, a los productos elaborados.

Finalmente, las dos muestras con 35% de adición de quitosano fueron sometidos a una prueba de aceptación y de preferencia, por parte de los 77 jueces evaluadores, la cual, mostró que de las dos salchichas, la de mayor aceptación fue la elaborada a partir de carne de cerdo. En el análisis estadístico ANOVA, se nota una preferencia por las salchichas elaboradas con carne de cerdo, por 61 de los evaluadores, mientras que la aceptación por las salchichas a base de filete de tilapia fue de 16 opiniones positivas, mostrando una diferencia significativa entre las dos muestras.

Se obtuvieron dos tipos de salchichas: uno, elaborado a base de carne de cerdo y, el otro, de filete de tilapia, ambos con adición de quitosano, en una sustitución del 35% del total de harinas utilizada en su fabricación, como elemento extensor. De los dos productos fabricados, la salchicha de carne de cerdo tuvo la mejor aceptación sensorial, mientras que la de filete de pescado, no fue de gran agrado, debido, probablemente, al desconocimiento en el medio de este producto no tradicional.

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:** Este estudio fue financiado por la Universidad Nacional de

Colombia - sede Palmira, dentro del Programa Nacional de Semilleros de Investigación, Creación e Innovación, de la Universidad Nacional de Colombia 2013 – 2015.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABDEL-MOHSEN, A.; ABDEL-RAHMAN, R.; HRDINA, R.; IMRAMOVSKÝ, A.; BURGERT, L.; ALY, A. 2012. Antibacterial cotton fabrics treated with core-shell nanoparticles. *Int. J. Biol. Macromol.* 50(5):1245-1253.
2. ABDEL-MOHSEN, A.; ABDEL-RAHMAN, R.; FOUDA, M.; VOJTOVA, L.; UHROVA, L.; HASSAN, A.; AL-DEYAB, S.; EL-SHAMY, I.; JANCAR, J. 2014. Preparation, characterization and cytotoxicity of schizophyllan/silver nanoparticle composite. *Carbohydr. Polymers.* 102:238-245.
3. ANDÚJAR, G.; GUERRA, A.; SANTOS, R. 2000. La utilización de extensores cárnicos. Experiencias de la industria cárnica cubana. Instituto de investigaciones para la industria alimenticia. Disponible desde Internet en: <http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/pdf/extensor.pdf> (con acceso 15/09/2014).
4. AOAC. 2011. Official Method in Meat and Meat Products. Gaithersburg, MD: AOAC International.
5. AUTORIDAD NACIONAL DE ACUICULTURA Y PESCA –AUNAP-. 2014. La pesca y la Acuicultura en Colombia 2014. Documento de compilación de información. 26p.
6. BLANNO, M. 2006. Extensores cárnicos: consideraciones de funcionalidad y valor nutricional. *Mundo Lácteo y Cárnico.* (México). 1:9-13.
7. CASTILLO, Y.; ANDINO, F. 2010. Curso Microbiología de los alimentos: Un enfoque práctico para la inocuidad alimentaria. Universidad Nacional de Ingeniería UNI – Estelí. Nicaragua, 61p.
8. DE LANDAETA, M.; PIGHIN, A.; MARCHESICH, C.; CABRERA, M.; MARCHINI, M. 2012. Composición centesimal y contenido de minerales en comidas rápidas: hamburguesas y salchichas de viena de primeras marcas crudas y cocidas. *Diaeta.* (Argentina). 30(140):18-24.
9. GARCÍA, A.; IZQUIERDO, P.; UZCÁTEGUI, S.; FARÍA, J.; ALLARA, M. 2005. Formulación de salchichas con atún y carne: Vida útil y aceptabilidad. *Rev. Cient. FCV-LUZ.* (Venezuela). 15(3):272-278.

10. GEORGANTELIS, D.; BLEKAS, G.; KATIKOU, P.; AMBROSIADIS, I.; FLETOURIS, D. 2007. Effect of rosemary extract, chitosan and α -tocopherol on lipid oxidation and colour stability during frozen storage of beef burgers. *Meat Sci.* (USA). 75(2):256-264.
11. GÜEMES, N. 2007. Utilización de los derivados de los cereales y leguminosas en la elaboración de productos cárnicos. *Nacameh.* (México). 1(2):110-117.
12. HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, F.; AGUILERA-MORALES, M. 2012. Nutritional richness and importance of the consumption of tilapia in the Papaloapan Region. *Rev. Electr. Vet.* (España). 13(6):1-12.
13. HLEAP, J.; VELASCO, V. 2010a. Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis* sp.). *Biotechn. Sector Agrop. Agroind.* (Colombia). 8(2):46-56.
14. HLEAP, J.; GUTIÉRREZ, A.; RIVERA, L. 2010b. Análisis microbiológico y sensorial de productos elaborados a partir de surimi de carduma (*Cetengraulis mysticetus*) y plumuda (*Opisthonema* spp.). *Biotechn. Sector Agrop. Agroind.* 8(2):57-65.
15. ICONTEC. 2007. Normas Técnicas Colombianas 4458, 4574 y 4779. Microbiología de alimentos y alimentos para animales. 1ª Act. Bogotá.
16. ICONTEC. 2008. Norma Técnica Colombiana 1325. Industrias alimentarias. Productos cárnicos procesados no enlatados. 5ª Act. Bogotá.
17. ICONTEC. 2009. Norma Técnica Colombiana 4519. Microbiología de los alimentos para consumo humano y animal. 1ª Act. Bogotá.
18. INSTITUTO NACIONAL DE VIGILANCIA DE MEDICAMENTOS Y ALIMENTOS –INVIMA-. 1998. Manual de técnicas de análisis para control de calidad microbiológico de alimentos para consumo humano. Bogotá, Colombia. 22p.
19. INTARASIRISAWAT, R.; BENJAKUL, S.; VISESSANGUAN, W.; WU, J. 2014. Effect of skipjack roe protein hydrolysate on properties and oxidative stability of fish emulsion sausage. *LWT – Food Sci. Technol.* 58(1):280-286.
20. IZQUIERDO, P.; GARCÍA, A.; ALLARA, M.; ROJAS, E.; TORRES, G.; GONZÁLEZ, P. 2007. Análisis proximal, microbiológico y evaluación sensorial de salchichas elaboradas a base de cachama negra (*Colossoma macropomum*). *Rev. Cient. FCV-LUZ.* 17(3):294-300.
21. JEON, Y.; KAMIL, J.; SHAHIDI, F. 2002. Chitosan as an edible invisible film for quality preservation of herring and Atlantic cod. *J. Agr. Food Chem.* (USA). 50(18):5167-5178.
22. KRAJEWSKA, B. 2004. Application of chitin – and chitosan-based materials for enzyme immobilizations: a review. *Enzyme Microbial Technol.* 35(2-3):126-139.
23. MAHDY, S.; EL-KALYOUBI, M.; KHALAF, M.; EL-RAZIK, A. 2013. Physicochemical, functional, antioxidant and antibacterial properties of chitosan extracted from shrimp wastes by microwave technique. *Ann. Agr. Sci. (Egypt).* 58(1):33-41.
24. MÁRMOL, Z.; PÁEZ, G.; RINCÓN, M.; ARAUJO, K.; AIELLO, C.; CHANDLER, C.; GUTIÉRREZ, E. 2011. Quitina y quitosano polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones. *Rev. Tecnocient. URU.* (Venezuela). 1:53-58.
25. NO, H.; MEYERS, S.; PRINYAWIWATKUL, W.; XU, Z. 2007. Applications of chitosan for improvement of quality and shelf life of foods: a review. *J. Food Sc.* 72(5):87-100.
26. O'FLYNN, C.; CRUZ-ROMERO, M.; TROY, D.; MULLEN, A.; KERRY, J. 2014. The application of high-pressure treatment in the reduction of phosphate levels in breakfast sausages. *Meat Sci.* 96(1):633-639.
27. PRZEKORA, A.; GINALSKA, G. 2014. Biological properties of novel chitosan-based composites for medical application as bone substitute. *Central Eur. J. Biol.* 9(6):634-641.
28. RABEA, E.; BADAWY, M.; STEVENS, C.; SMAGGHE, G.; STEURBAUT, W. 2003. Chitosan as antimicrobial agent: applications and mode of action. *Biomacromolecules.* (United States). 4(6):1457-1465.
29. RAMYA, R.; VENKATESAN, J., KIM, S.; SUDHA, P. 2012. Biomedical applications of chitosan: an overview. *J. Biomat. Tissue Enginee.* (United States). 2(2):100-111.
30. RINAUDO, M. 2006. Chitin and chitosan: properties and applications. *Progr. Polymer Sci.* 31(7):603-632.

31. SAVADKOOHI, S.; HOOGENKAMP, H., SHAMSI, K.; FARAHNAKY, A. 2014. Color, sensory and textural attributes of beef frankfurter, beef ham and meat-sausage containing tomato pomace. *Meat Sci.* 97(4):410-418.
32. SHAHIDI, F.; VIDANA, J.; JEON, Y. 1999. Food applications of chitin and chitosans. *Trends Food Sci. Technol.* 10(2):37-51.
33. THARANATHAN, R.; KITTUR, F. 2003. Chitin – the undisputed biomolecule of great potential. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr. (USA)*. 43(1):61-87.
34. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA-. 2015. National Nutrient Database for Standard Reference. Disponible desde Internet en: <http://fnic.nal.usda.gov/food-composition> (con acceso 17/06/2015).
35. VELÁZQUEZ-MOREIRA, A.; GUERRERO, J. 2014. Algunas investigaciones recientes en recubrimientos comestibles aplicados en alimentos. *Temas Selectos Ing. Alimentos. (México)*. 8(2):5-12.
36. YANG, H.; CHOI, S.; JEON, J.; PARK, G.; JOO, S. 2007. Textural and sensory properties of low fat pork sausages with added hydrated oatmeal and tofu as texture-modifying agents. *Meat Sc.* 75(2):283-289.
37. ZENG, D.; LUO, X.; TU, R. 2012. Application of bioactive coatings based on chitosan for soybean seed protection. *Int. J. Carbohydr. Chem. (United States)*. Article ID 104565, 5p.
38. ZHANG, Y.; ZHANG, X.; DING, R.; ZHANG, J.; LIU, J. 2011. Determination of the degree of deacetylation of chitosan by potentiometric titration preceded by enzymatic pretreatment. *Carbohydr. Polymers*. 83(2):813-817.

Recibido: Mayo 6 de 2015

Aceptado: Octubre 13 de 2015

Cómo citar:

Hleap, J.I.; Cardona, L.; Agudelo, J.; Gómez, A. 2015. Parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales de salchichas elaboradas con inclusión de quitosano. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 455-464.

CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA DE UNA ESPUMA A BASE DE CLARA DE HUEVO, AZÚCAR Y PULPA DE TAMARINDO

RHEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF A FOAM BASED ON EGG WHITE, SUGAR AND TAMARIND PULP

Diego Tirado¹, Diofanor Acevedo², Ramiro Torres³

¹Ingeniero de Alimentos, c. MSc. Ingeniería. Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería. Campus de Piedra de Bolívar, Cartagena-Bolívar, Colombia, e-mail: dtiradoa@unicartagena.edu.co; ²Ingeniero de Alimentos, PhD. Ingeniería de Alimentos. Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería de Alimentos, Grupo de Investigación NUSCA. Avenida El Consulado, calle 30 No. 48-152, Cartagena, Bolívar-Colombia, e-mail: diofanor3000@gmail.com; ³Ingeniero Químico, MSc. Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería de Alimentos, carrera 6 No 76-103 km. 3, vía Cereté, Córdoba-Colombia, e-mail: rtorres@correo.unicordoba.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 465-473, Julio-Diciembre, 2015

RESUMEN

El conocimiento de las propiedades viscoelásticas, además de ser importante para el control de calidad, también es muy útil en el diseño y en la predicción de la estabilidad de muestras almacenadas. En el presente trabajo, se caracterizó, reológicamente, una espuma elaborada a base de clara de huevo, azúcar y pulpa de tamarindo, teniendo en cuenta la influencia de la relación de azúcar y clara de huevo. Se determinaron los módulos de almacenamiento y de pérdida, viscosidad compleja y valores de tangente del ángulo de desfase, a diferentes concentraciones de azúcar y clara de huevo en la espuma, ajustando los datos experimentales al modelo de Maxwell. Las mayores concentraciones de azúcar aumentaron el carácter viscoso de la espuma, presentando mayor módulo de pérdida. El modelo reológico de Maxwell, se ajustó adecuadamente a los datos experimentales de las propiedades reológicas de la espuma, donde se pudo evidenciar una incidencia significativa del azúcar y la clara de huevo, en el tiempo de relajación.

Palabras clave: Propiedades viscoelásticas, módulo elástico, viscosidad compleja, *Tamarindus indica* L.

SUMMARY

Knowledge of the properties of viscoelastic, in addition to being important for quality control, is also very useful in the design and prediction of the stability of stored samples. In the present work rheologically it was characterized a foam made from egg white, sugar and tamarind pulp, considering the influence of the relationship of sugar and egg white. The

modules of storage and loss, complex viscosity and values of tangent of the phase angle at different concentrations of sugar and white egg in foam, were determined by fitting the experimental data to Maxwell's model. The highest concentrations of sugar increased the viscous nature of the foam, presenting greater loss module. Maxwell rheological model is properly adjusted to the experimental data of the rheological properties of foam, which was evident a significant incidence of sugar and egg white in the relaxation time

Key words: Viscoelastic properties, elastic modulus, complex viscosity, *Tamarindus indica* L.

INTRODUCCIÓN

El tamarindo (*Tamarindus indica* L.) es originario del continente africano y fue introducido al americano, por los españoles. Perteneció a la familia de las leguminosas. El fruto es una vaina curvada, de 12 a 15cm de longitud, del cual, la pulpa constituye, de 30 a 55%; la cáscara y la fibra, de 11 a 30% y las semillas, de 33 a 44% (Acevedo *et al.* 2014a; Tirado *et al.* 2014). En la costa caribe colombiana, se conoce la “jalea de tamarindo”, como un producto de consistencia cremosa, elaborado con pulpa de tamarindo, clara de huevo y azúcar, con concentración entre 60 y 70°Brix; sin embargo, técnicamente no cumple los requisitos de una jalea (Norma Técnica Colombiana 285), en cuanto a los requerimientos de pectina (ICONTEC, 2007; Fredes *et al.* 2009), a pesar que la pulpa de tamarindo la contiene (Muzaffar & Kumar, 2015).

La “jalea de tamarindo” es un producto que forma parte de los alimentos denominados espumas (Foegeding *et al.*

2006; Raikos *et al.* 2007; Davis & Foegeding, 2007; Plancken *et al.* 2007), las cuales, presentan una amplia diversidad de formas, de componentes y de consistencias, para ser más atractivos al consumidor (Licciardello *et al.* 2012). Según Abirached *et al.* (2010), las espumas son dispersiones de burbujas de aire en un medio líquido, que contiene un agente activo de superficie (agente espumante), que tiende a situarse en la superficie, protegiendo del colapso a las burbujas. Por su parte, Davis & Foegeding (2007), las define como un sistemas coloidales, en las que existen burbujas de aire dispersas en una fase continua líquida, también denominadas lamela (Plancken *et al.* 2007). La composición y las propiedades de la capa adsorbida determinan la estabilidad y las propiedades físicas, resultantes de la espuma (Maldonado-Valderrama *et al.* 2007).

En la espuma de tamarindo, la clara de huevo actúa como la fase continua líquida, que contiene el agente activo espumante (Abirached *et al.* 2010), que le otorga textura, volumen y esponjosidad (Fredes *et al.* 2009) y el azúcar aumenta los sólidos solubles, aportándole viscosidad y debido al aumento de la presión osmótica, actúa como conservante (Tirado *et al.* 2014); la concentración de estos componentes influyen, por tanto, en estas propiedades, en especial, las reológicas, importante para su procesamiento, empaquetado, almacenamiento y presentación.

Los ensayos reologicos dinámicos permiten determinar la proporción entre el componente elástico y viscoso de un alimento y cuantificar en qué medida se comporta como semi-sólido o como semilíquido, a través de funciones viscoelásticas, tales como el modulo complejo G^* , definido, según Gunasekaran & Ak, (2000), como:

$$G^* = \sqrt{G'^2 + G''^2} \tag{1}$$

Donde, G' es el módulo de almacenamiento y relaciona los eventos moleculares de naturaleza elástica y G'' es el módulo de pérdidas y representa los eventos moleculares de naturaleza viscoso (Gunasekaran & Ak, 2000; Acevedo *et al.* 2014b). Estos módulos, se determinan según las ecuaciones 2 y 3:

$$G' = \left(\frac{\tau_0}{\gamma_0}\right) \cos\delta \tag{2}$$

$$G'' = \left(\frac{\tau_0}{\gamma_0}\right) \sin\delta \tag{3}$$

Donde, τ_0 y γ_0 son respectivamente las amplitudes de las ondas del esfuerzo y de la deformación y δ es el ángulo de desfase; si el fluido es puramente elástico, se cumple que $\delta = 0^\circ$, $G^* = G'$ y $G'' = 0$; en un fluido viscoso ideal $\delta = 90^\circ$, $G^* = G''$ y $G' = 0$ (Chhabra & Richardson, 2008; Gunasekaran & Ak,

2000). Otras funciones viscoelásticas son el módulo de viscosidad compleja (η^*) y la tangente del desplazamiento de fase o del ángulo de fase, llamado $\tan \delta$, popularmente, usada para describir comportamiento viscoelástico (Narsimhan, 1994). Estas funciones viscoelásticas han sido usadas para caracterizar algunos tipos de alimentos, tales como mantequilla (Shukla & Rizvi, 1995), gel de arroz (Jena & Bhattacharya, 2003), gel de queso (Castillo *et al.* 2006), carnes de pescado (Campo & Tovar, 2008) y derivados de yema de huevos (Miranda *et al.* 2000).

El modelo usado para interpretar y correlacionar datos de la prueba dinámica de alimentos viscoelásticos es el de Maxwell, que se expresa en las ecuaciones 4 y 5 (Narsimhan, 1994; Garzón *et al.* 2009):

$$G'(\omega) = \sum_n \frac{G_i \lambda_i^2 \omega^2}{(1 + \lambda_i^2 \omega^2)} \tag{4}$$

$$G''(\omega) = \sum_n \frac{G_i \lambda_i \omega}{(1 + \lambda_i^2 \omega^2)} \tag{5}$$

Tal interpretación, en términos de mecanismos teóricos, proporciona las directrices necesarias para dar sentido a las observaciones, relacionar el comportamiento de la composición y estructura, predecir y modificar las propiedades, así como para comparar un método experimental con otro (Barbosa-Cánovas *et al.* 1996).

Por otro lado, el conocimiento de las propiedades viscoelásticas, además de ser importante para el control de calidad (Schramm, 2000), también es muy útil en el diseño y en la predicción de la estabilidad de muestras almacenadas (Tabilo-Munizaga & Barbosa-Cánovas, 2005). Basado en lo anterior, el objetivo de esta investigación fue caracterizar, reológicamente, la espuma a base de clara de huevo, azúcar y pulpa de tamarindo, teniendo en cuenta la influencia que tiene el contenido de azúcar y la clara de huevo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Formulación y elaboración de la espuma a base de clara de huevo, azúcar y pulpa de tamarindo. Se tomó como formulación base, la receta típica utilizada en el municipio de Montería (Palacios *et al.* 2012) y se estandarizaron las medidas artesanales a unidades del sistema internacional, obteniéndose la siguiente formulación: 58,14g, de clara de huevo; 500g, de pulpa de tamarindo; 2.000g, de azúcar; 2g, de bicarbonato y 75cm³, de agua tibia. A la formulación, se le varió el contenido de azúcar y clara de huevo, manteniendo la proporción de pulpa y de agua de la formulación base, tal como se puede ver en la tabla 1.

Tabla 1. Concentraciones de azúcar y clara de huevo en muestras de espuma, a base de clara de huevo, de azúcar y de pulpa de tamarindo.

Muestras	Pulpa tamarindo (%)	Azúcar (%)	Clara de Huevos (%)	Bicarbonato (%)	Agua (%)
1	24,81	70,26	1,14	0,08	3,71
4	23,87	70,26	2,21	0,08	3,58
7	22,88	70,26	3,35	0,08	3,43
2	19,9	75,9	1,14	0,08	2,98
5	18,97	75,9	2,21	0,08	2,84
8	17,98	75,9	3,35	0,08	2,69
3	16,55	79,75	1,14	0,08	2,48
6	15,62	79,75	2,21	0,08	2,34
9	14,63	79,75	3,35	0,08	2,19

Para la elaboración de la espuma, se pesaron los ingredientes obtenidos del comercio de la ciudad de Montería, en una balanza analítica OHAUS®, con exactitud $\pm 0,001$ g y se procedió a mezclarlos de forma manual, empleando una varilla de vidrio como agitador, a un tiempo de mezclado de 5 minutos, por muestra. Las muestras, se empacaron en bolsas ziploc y se conservaron refrigeradas en nevera, a una temperatura de 4°C.

Caracterización viscoelástica. A las diferentes muestras de espuma, se les realizaron ensayos de barrido de deformación y se les determinó la deformación en el rango de viscoelasticidad lineal. Se efectuó el barrido de frecuencia, en un rango entre 0,1 a 100Hz. La temperatura de las muestras, se mantuvo a $25 \pm 0,1$ °C. Los ensayos se ejecutaron en un reómetro TA AR 1500® TA Instruments Ltda., utilizando un plato de 40mm, controlado por el programa TA Universal Analysis Versión 5.2®, instalado en un ordenador PC, conectado al reómetro. El análisis de datos reológicos, se realizó aplicando el software Rheology Advantage Data Analysis Versión 5.7®. Con los ensayos oscilatorios, se determinaron los módulos de almacenamiento (G') y de pérdidas (G''), las viscosidades complejas (η^*) y los valores del factor de pérdida ($\tan \delta$), en función de frecuencia de la deformación. Todas las muestras se dejaron reposar durante 15 minutos, para permitir la relajación de las mismas, antes de practicar el ensayo.

Diseño experimental y análisis estadístico. Se utilizó un diseño completamente al azar y un arreglo factorial 3^2 . Se controlaron los factores proporción de azúcar y de clara de huevo, con tres niveles para el primero: 70,3, 75,90 y 79,7% y tres para el segundo: 1,1, 2,3 y 3,4%. Se hicieron

tres repeticiones por muestra, para un total de 27 unidades experimentales, teniendo como variables de respuesta los módulos de almacenamiento, el módulo de pérdidas y la viscosidad compleja. Se ajustaron los datos experimentales a los modelos de Maxwell de cuatro elementos, utilizando, como criterios estadísticos, el coeficiente de determinación R^2 , el error estándar y el análisis de los residuales. A los diferentes parámetros del modelo de Maxwell, se les realizó un análisis de varianza y un test de Tukey, con un nivel de significancia del 5%, para determinar la influencia de la proporción de azúcar y de clara de huevo, en el comportamiento viscoelástico de la espuma. El procesamiento de los datos, se realizó en el software STATISTICA® versión de prueba 8.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rango lineal de las muestras estuvo entre 1 y 4% de deformación; para realizar los ensayos de barrido de frecuencia a las diferentes muestras, se tomó una deformación relativa de 2,5%.

Tal como se evidencia en la figura 1a, en la muestra con concentración en peso de 70,26%, de azúcar y clara de huevo, 1,14; 2,21 y 3,35%, que corresponde a las muestras 1, 4 y 7, respectivamente, a bajas frecuencias, predomina el carácter elástico sobre el viscoso, es decir, que $G' > G''$, por lo cual, se puede afirmar que la espuma se comporta como un semi-sólido. A medida que aumenta la frecuencia, se presenta un punto de transición entre los módulos que marca el comienzo del comportamiento viscoso, a partir, del cual, la espuma se comporta como un semilíquido.

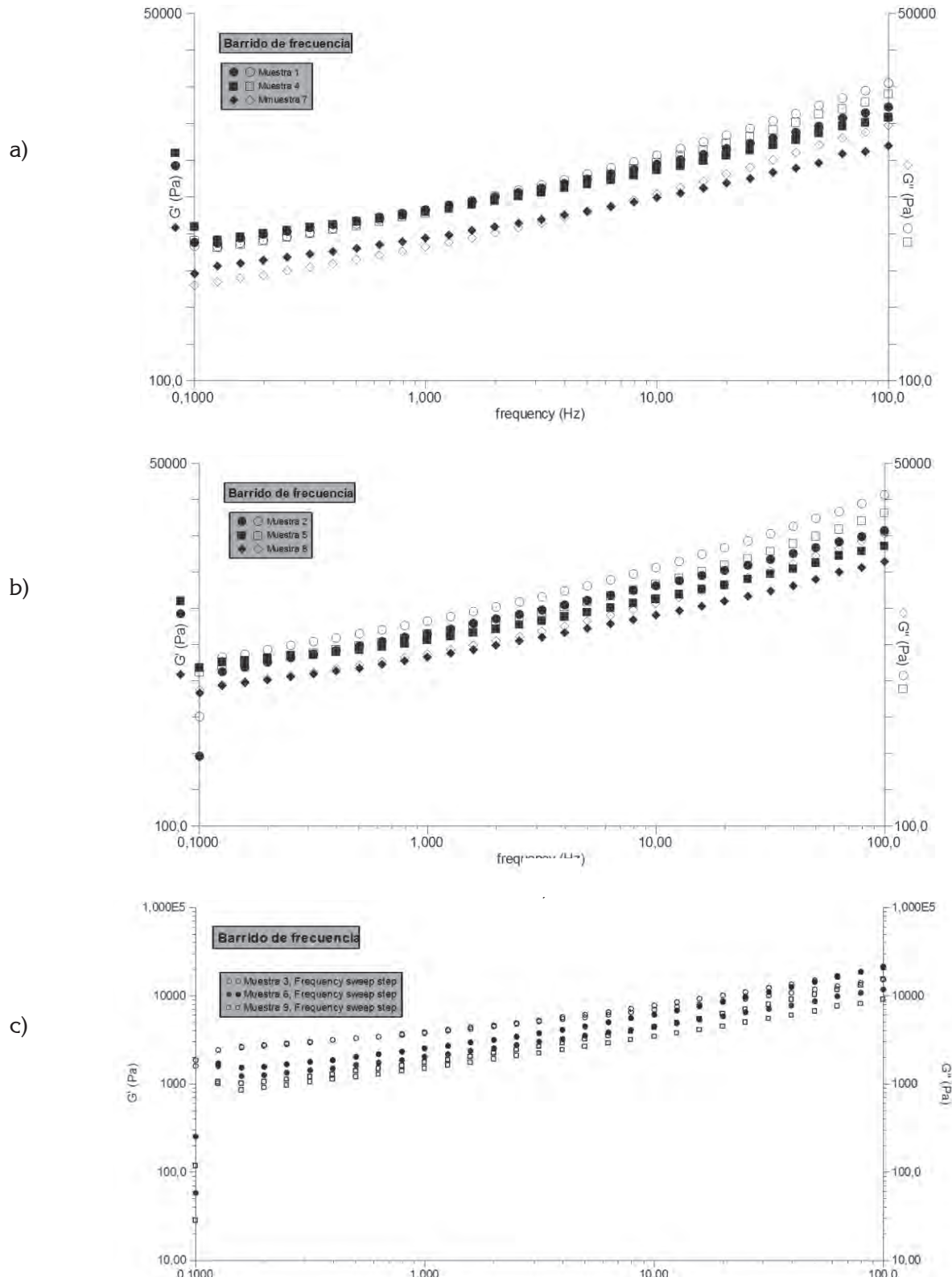


Figura 1. Comportamiento del módulo de almacenamiento (G') y del módulo de pérdida (G''), en función de la frecuencia de las muestras a) 1, 4 y 7; b) 2, 5 y 8 y c) 3, 6 y 9.

Para la muestra con una 3,35% de clara de huevo, el punto de transición de los módulos elásticos y viscosos, se presenta a más altas frecuencias que en las muestras con 1,14 y 2,21%, que indica que la concentración de 3,35% de clara de huevo presenta mayor grado de estructuración, de estabilidad y de mayor resistencia a una deformación. Lo anterior, también se puede explicar, debido a que, según la formulación, a mayores concentraciones de clara de huevo hay menor proporción de pulpa.

Se observa en la figura 1b, que en la muestra con concentraciones de 75,9%, de azúcar y 1,14; 2,21 y 3,35%, de clara de huevo, muestras 2, 5, 8, respectivamente, la espuma a base de clara de huevo, azúcar y pulpa de tamarindo, se comporta como un semilíquido en todo el rango de frecuencia estudiada, donde predomina el carácter viscoso sobre el elástico, es decir, que $G'' > G'$. Este comportamiento es diferente al reportado por Tirado *et al.* (2014), quienes en su estudio de propiedades reológicas de la pulpa edulcorada de tamarindo, a diferentes concentraciones de pulpa y de azúcar, encontraron que el módulo elástico fue mayor que el viscoso, demostrando un carácter sólido para la pulpa, con mayor contenido de azúcar; sin embargo, en este estudio, el uso de clara de huevo otorga propiedades diferentes a la matriz, confiriendo propiedades viscosas a la mezcla estudiada y dándole más fluidez.

En la figura 1c, se observa que igual comportamiento presentaron las espumas con 79,75%, de azúcar y composición de clara de huevo 1,14; 2,21 y 3,35%, muestras 3, 6, 9, respectivamente, lo que indica que las mayores concentraciones de azúcar y disminución de los contenidos en pulpa reducen el comportamiento elástico; por otro lado, a altas concentraciones de azúcar, los módulos elásticos y viscosos son mayores. Las mezclas con mayores contenidos de azúcar y menor en clara de huevo fueron más viscosas, lo que se explica, debido a la mayor cantidad de sólidos presente, que hace que su viscosidad aumente.

Similares comportamientos, como los encontrados en el presente estudio, han sido reportados por Ramos & Ibarz (2006), en pulpa de membrillo; Lopes da Silva (1993), con dispersiones de pectinas y Ma & Barbosa-Cánovas (1995), con mayonesa.

Según la figura 2, la viscosidad compleja de las diferentes muestras disminuye al aumentar la frecuencia en un perfil típicamente pseudoplástico, propio de las emulsiones o suspensiones pseudoplásticas. Tal comportamiento, se caracteriza por una disminución de la viscosidad a medida que el cizallamiento aumenta. Desde el punto de vista físico, significa que la resistencia a fluir disminuye cuando la velocidad de deformación aumenta.

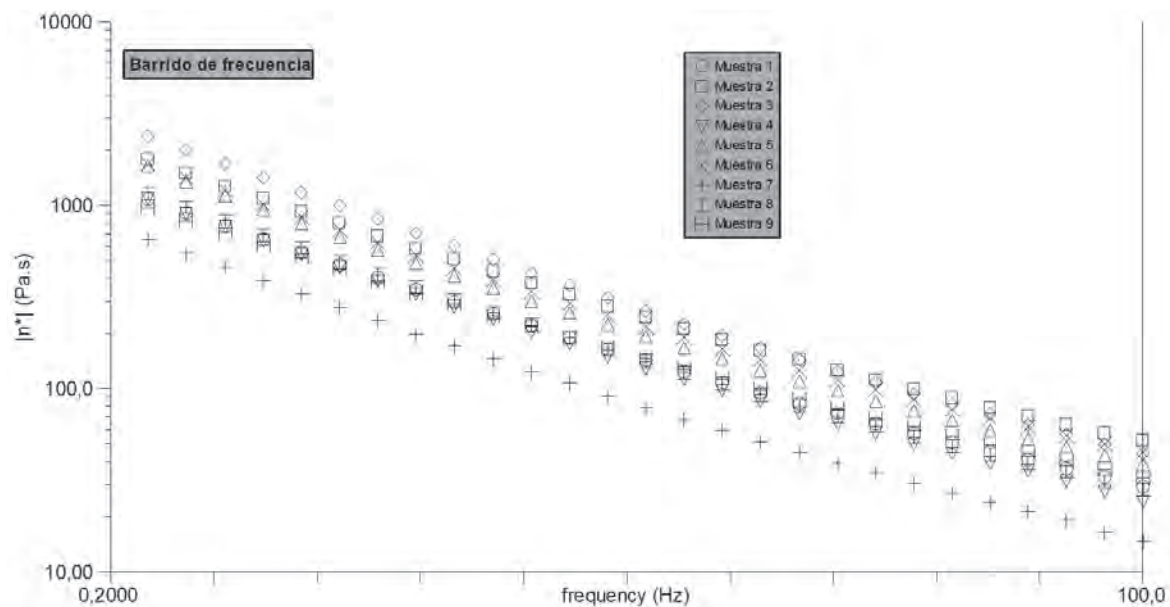


Figura 2. Viscosidad compleja (η^*) vs frecuencia de las muestras de espuma, a base de clara de huevo, de azúcar y de pulpa de tamarindo.

Se puede observar en la figura 2, que la viscosidad compleja aumenta con la concentración en sólidos, para todo el rango de frecuencias estudiadas. Esto demuestra, que una concentración más alta implica una mayor cantidad de sólidos y no necesariamente estructuras más complejas, ya que el comportamiento a mayor concentración de azúcar es la de un semilíquido, por lo tanto, el azúcar le da mayor viscosidad a la espuma y no elasticidad (Ramos & Ibarz, 2006; Tirado *et al.* 2014).

Los valores de la tangente del ángulo de fase, ángulo δ , denominado función de pérdidas, para las espumas estudiadas están representados en la figura 3. La función de pérdidas es una medida adimensional, que compara la cantidad de energía perdida durante un ensayo oscilatorio, con la cantidad de energía almacenada durante este periodo e, indica, si predomina la propiedad elástica o viscosa.

Como se puede apreciar en la figura 3, la espuma con 70,26% de azúcar y 3,35% de clara de huevo, tiene menor función de pérdidas en todo el rango de frecuencia, lo que indica que, en este último, predominan las propiedades elásticas sobre las demás formulaciones; lo anterior, probablemente, a que la albumina forma con la pectina –presente en la pulpa- estructuras más complejas, que acentúa el carácter viscoelástico. Por lo anterior, podemos decir que, según este estudio, las muestras más viscosas no son necesariamente las más elásticas; solo las espumas con 70,26% de azúcar, en las diferentes composiciones de clara de huevo, presentaron características de semisólido, por debajo de la frecuen-

cia de 6,31Hz; para espumas con 3,35% de clara de huevo, correspondiente a la muestra 7 y 1,995Hz; para espumas con 2,21, correspondiente a la muestra 4 y 1,14% de clara de huevo, correspondiente a la muestra 1, por lo que la clara de huevo solo influye en espumas con composiciones bajas de azúcar. Las espumas con mayor concentración de azúcar presentan función de pérdidas por encima de la unidad en todo el rango de frecuencia estudiado, predominando las propiedades viscosas, indicando que el azúcar rompe las estructuras complejas de la espuma a base de clara de huevo, azúcar y pulpa de tamarindo.

Un modelo de Maxwell de cuatro elementos o distribuciones de relajación fueron suficientes para describir, con precisión, el comportamiento de las espuma a diferentes concentraciones de azúcar y clara de huevo. Los coeficientes de determinación estuvieron entre 0,9973 y 0,9986, para G' y 0,9979 y 0,9994, para G'' . Los valores de los 4 elementos de Maxwell para los módulos elásticos y viscosos, se presentan en la tabla 2.

Los resultados del análisis de varianza realizado a los módulos de elasticidad de las diferentes muestras de espuma reflejan una diferencia significativa, para un nivel de significancia del 5%, de los efectos principales: porcentaje de azúcar y porcentaje de clara de huevo, sobre el parámetro del modelo de Maxwell G_1 , pero no de las interacciones; igual comportamiento tuvieron los parámetros G_2 , G_3 y G_4 . La prueba de rangos múltiples de Tukey confirmó que existen diferencias significativas, con un nivel de significancia del 5%, ente los

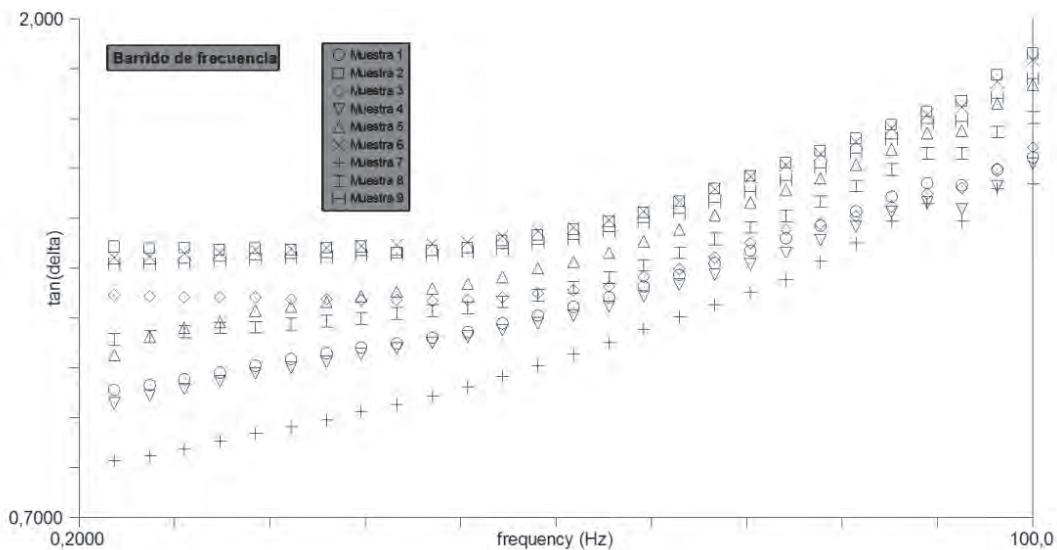


Figura 3. Tangente del desplazamiento de fase (δ) vs frecuencia para las muestras de espuma, a base de clara de huevo, de azúcar y de pulpa de tamarindo.

Tabla 2. Parámetros del modelo de Maxwell generalizado para las diferentes muestras de espuma, a base de clara de huevo, de azúcar y de pulpa de tamarindo.

Muestra	Parámetros para G' (Pa)				Parámetros para G'' (Pa)				Tiempo de relajación s			
	G_1	G_2	G_3	G_4	G_1	G_2	G_3	G_4	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4
M1	16303	3547	1424	1409	32790	4787	2790	1752	0,0009	0,0094	0,0911	1,8864
M2	28421	6282	2428	2428	71011	9652	5442	2838	0,0007	0,0074	0,0673	0,8909
M3	23256	5107	2792	2792	51655	9951	6465	3500	0,0008	0,0086	0,0905	1,2341
M4	11217	3310	1316	1316	26574	4611	2801	2511	0,0009	0,0090	0,1005	3,4527
M5	21137	4373	1840	1840	48380	7148	4297	3192	0,0008	0,0093	0,1019	2,6416
M6	24641	5342	2169	2169	60473	8548	5061	2551	0,0007	0,0075	0,0700	0,9129
M7	6359	1844	801	801	15134	2509	1445	1445	0,0011	0,0108	0,1178	3,8150
M8	14498	3156	1386	1386	32614	4863	3015	2051	0,0009	0,0097	0,0996	2,0042
M9	16819	4059	1414	1414	40875	5276	2971	1456	0,0008	0,0081	0,0670	0,8458

tratamientos que involucran los niveles 70,3%, de azúcar y 3,4%, de clara de huevo, para el parámetro G_1 ; igual comportamiento tuvieron los parámetros G_2 , G_3 y G_4 . Esto indica que en las tres primeras fases de la curva de viscoelasticidad de las muestras de espuma se ve favorecido el carácter elástico, influenciado por los bajos niveles de azúcar y altos niveles de clara de huevo, con 70,3% y 3,4%, respectivamente, que actúa como aglutinante y, posiblemente, forman con la pectina de la pulpa de tamarindo, estructuras más complejas.

Los resultados del análisis de varianza realizado a los tiempos de relajación λ_1 , λ_2 , λ_3 y λ_4 reflejan que no existe una significancia estadística de los factores porcentaje de azúcar y porcentaje de clara de huevo, sobre los tiempos de relajación rápida, λ_1 , λ_2 y λ_3 , mientras que para el tiempo de relajación lenta, λ_4 , se presenta una diferencia significativa, influenciada solamente por el factor porcentaje de azúcar. La prueba de rangos múltiples de Tukey confirma que existen diferencias significativas, con un nivel de significancia del 5%, entre los tratamientos que involucran los niveles 70,3% y 79,7%, de azúcar. El mayor tiempo de relajación a menor concentración de azúcar y a concentración de clara de huevo mayor, indicando una mayor estructuración de esta espuma. Al parecer una mayor concentración de azúcar rompe las estructuras, presentándose mayor dilución de pectina y de albumina. Las espumas con mayores concentraciones de azúcar presentaron módulos de pérdidas mayores, confirmado su carácter de fluido viscoelástico. De acuerdo con los criterios señalados por Ferry (1980), ninguno de las espumas mostró el comportamiento reológico de un gel; comportamiento similares fueron reportados en zumos concentrados de tamarindo (Ahmed *et al.* 2007), de mayonesa (Laca *et al.* 2010) y de goma de la semilla de tamarindo (Khounvilay & Sittikijyothin, 2012).

Se puede concluir que la espuma a base de clara de huevo, de azúcar y de pulpa de tamarindo, formulada con menor cantidad de azúcar y una mayor cantidad de clara de huevo, presentó un mayor comportamiento viscoelástico. Las mayores concentraciones de azúcar aumentan el carácter viscoso de la espuma, reflejando mayor módulo de pérdida. El modelo reológico de Maxwell, se ajustó adecuadamente a los datos experimentales de las propiedades reológicas de las diferentes espumas, donde se pudo evidenciar una incidencia significativa del azúcar y la clara de huevo, en el tiempo de relajación.

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

1. ABIRACHED, C.; MEDRANO, C.A.; PANIZZOLO, L.A.; MOYNA, P.; AÑÓN, M.C. 2010. Estabilidad de espumas formuladas con proteínas de soja tratadas a pH ácido. *Rev. Lab. Tecnol.* (Uruguay). 5:58-62.
2. ACEVEDO, D.; GRANADOS, C.; TORRES, R. 2014b. Caracterización Reológica del Suero Costeño de Turbaco, Arjona, El Carmen de Bolívar y uno Comercial (Colombia). *Inf. Tecnol.* (Chile). 25(3):3-10.
3. ACEVEDO, D.; TIRADO, D.F.; GÚZMÁN, L.E. 2014a. Deshidratación osmótica de pulpa de tamarindo (*Tamarindus indica* L.): influencia de la temperatura y la concentración. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* (Colombia). 17(1):123-130.

4. AHMED, J.; RAMASWAMY, H.S.; SASHIDHAR, K.C. 2007. Rheological characteristics of tamarind (*Tamarindus indica* L.) juice concentrates. LWT - Food Sci. Technol. (United States). 40(2):225-231.
5. BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; KOKINI, J.L.; MA, L.; IBARZ, A. 1996. The rheology of semiliquid foods. Adv. Food Nutr. Res. (United States). 39:1-69.
6. CAMPO, L.; TOVAR, C. 2008. Influence of the starch content in the viscoelastic properties of surimi gels. J. Food Eng. (United Kingdom). 84(1):140-147.
7. CASTILLO, M.; LUCEY, J.A.; WANG, T.; PAYNE, F.A. 2006. Effect of temperature and inoculum concentration on gel microstructure, permeability and syneresis kinetics. Cottage cheese-type gels. Int. Dairy J. (Netherlands). 16(2):153-163.
8. CHHABRA, R.P.; RICHARDSON, J.F. 2008. Non-Newtonian Flow and Applied Rheology. Engineering Applications. 2nd Edition. Butterworth-Heinemann. United Kingdom. 536p.
9. DAVIS, J.P.; FOEGEDING, E.A. 2007. Comparisons of the foaming and interfacial properties of whey protein isolate and egg white proteins. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. (Netherlands). 54(2):200-210.
10. FERRY, J.D. 1980. Viscoelastic properties of polymers. 3rd Edition. Wiley, New York. United States. 672p.
11. FOEGEDING, A.E.; LUCK, P.J.; DAVIS, J.P. 2006. Factors determining the physical properties of protein foams. Food Hydrocoll. (Netherlands). 20(2-3):284-292.
12. FREDES, C.; LOYOLA, N.; MUÑOZ, J.C. 2009. Extracción de pectinas de *Vitis labrusca* cv. concord para producir jaleas. Idesia. (Chile). 27(3):9-14.
13. GARZÓN, M.; TECANTE, A.; RAMÍREZ-GILLY, M.; PALACIOS, J. 2009. Comportamiento viscoelástico de disoluciones y tabletas hidratadas de hidroxipropilmetil celulosa, carboximetil celulosa sódica y sus mezclas. Rev. Mex. Ing. Química. (México). 8(3):307-318.
14. GUNASEKARAN, S.; AK, M.M. 2000. Dynamic oscillatory shear testing of foods-selected applications. Food Sci. Technol. (United States). 11:115-127.
15. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS – ICONTEC-. 2007. Frutas procesadas. Mermeladas y jaleas de frutas. 5ª Actualización. Bogotá. Colombia. NTC-285. 16p.
16. JENA, R.; BHATTACHARYA, S. 2003. Viscoelastic characterization of rice gel. J. Texture Studies. (United Kingdom). 34(4):349-360.
17. KHOUNVILAY, K.; SITTIKIJYOTHIN, W. 2012. Rheological behaviour of tamarind seed gum in aqueous solutions. Food Hydrocoll. 26(2):334-338.
18. LACA, A.; SÁENZ, M.C.; PAREDES, B.; DÍAZ, M. 2010. Rheological properties, stability and sensory evaluation of low-cholesterol mayonnaises prepared using egg yolk granules as emulsifying agent. J. Food Eng. 97(2):243-252.
19. LICCIARDELLO, F.; FRISULLO, P.; LAVERSE, J.; MURATORE, G.; DEL NOBILE, M.A. 2012. Effect of sugar, citric acid and egg white type on the microstructural and mechanical properties of meringues. J. Food Eng. 108(3):453-462.
20. LOPES DA SILVA, J.A. 1993. Viscoelastic behaviour of mixtures of locust bean gum and pectin dispersions. J. Food Eng. 18(3):211-228.
21. MA, L.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. 1995. Rheological characterization of mayonnaise. Part II: Flow and viscoelastic properties at different oil and xanthan gum concentrations. J. Food Eng. 25(3):409-425.
22. MALDONADO-VALDERRAMA, J.; MARTÍN-MOLINA, A.; MARTÍN-RODRIGUEZ, A.; CABRERIZO-VÍLCHEZ, M.A.; GÁLVEZ-RUIZ, M.J.; LANGEVIN, D. 2007. Surface properties and foam stability of protein/surfactant mixtures: theory and experiment. J. Phys. Chem. C. (United States). 111(6):2715-2723.
23. MIRANDA, J.; GUERRERO, A.F. PERTAL, P. 2000. Reología de derivados de la yema de huevo deshidratada. Rev. Grasas Aceites. (España). 51(4):244-250.
24. MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. 2015. Parameter optimization for spray drying of tamarind pulp using response surface methodology. Powder Technol. (Netherlands). 279:179-184.
25. NARSIMHAN, G. 1994. Rheological methods in food process engineering. J. Food Eng. 23(2):249-250.
26. PALACIOS, G.; ESQUINCA, V.; CABALLERO, A.; AYVAR, P.; GRAJALES, R.E.; LÓPEZ, E.J. 2012. Evaluación

- sensorial de tres gelatinas como limpiadores de paladar. LACANDONIA. (México). 6(2):115-119.
27. PLANCKEN, I.V.; VAN LOEY, A.; HENDRICKX, M.E. 2007. Foaming properties of egg white proteins affected by heat or high pressure treatment. *J. Food Eng.* 78(4):1410-1426.
28. RAIKOS, V.; CAMPBELL, L.; EUSTON, S.R. 2007. Effects of sucrose and sodium chloride on foaming properties of egg white proteins. *Food Res. Int.* 40(3):347-355.
29. RAMOS, A.M.; IBARZ, A. 2006. Comportamiento viscoelástico de pulpa de membrillo en función de la concentración de sólidos solubles. *Ciência E Tecnol. Alimentos.* (Brasil). 26(1):214-219.
30. SCHRAMM, G. 2000. A practical approach to rheology and rheometry. 2nd Ed. Gebrueder Haake. Germany. 290p.
31. SHUKLA, A.; RIZVI, S.S.H. 1995. Viscoelastic properties of butter. *J. Food Sci.* 60(5):902-905.
32. TABILO-MUNIZAGA, G.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. 2005. Rheology for the food industry. *J. Food Eng.* 67(1-2):147-156.
33. TIRADO, D.F.; ACEVEDO, D.; MONTERO, P. 2014. Propiedades reológicas de la pulpa edulcorada de tamarindo. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 17(2):495-501.

Recibido: Marzo 20 de 2015

Aceptado: Octubre 15 de 2015

Cómo citar:

Tirado, D.; Acevedo, D.; Torres, R. 2015. Caracterización reológica de una espuma a base de clara de huevo, azúcar y pulpa de tamarindo. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 465-473.

BACTERIAS HETERÓTROFAS Y OLIGOTRÓFICAS EN ZONAS CONSERVADAS E INTERVENIDAS DEL PÁRAMO DE LA CORTADERA, BOYACÁ, COLOMBIA

HETEROTROPHIC AND OLIGOTROPHIC BACTERIA IN PRESERVED AND INTERVENED AREAS OF THE PARAMO THE CORTADERA, BOYACÁ, COLOMBIA

David Ricardo Hernández¹, Luz Marina Lizarazo²

¹ Biólogo. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Joven Investigador Grupo de Investigación Biología Ambiental, Escuela de Ciencias Biológicas, Avenida Central del Norte, Tunja, Boyacá, e-mail: davidhvel@gmail.com; ² Bacterióloga, M.Sc. Ph.D. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, e-mail: bio.ambient@uptc.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 475-483, Julio-Diciembre, 2015

RESUMEN

Los páramos brindan servicios ambientales fundamentales a la población, por la continua provisión de agua, en cantidad y en calidad y el almacenamiento de carbono atmosférico, que ayuda a regular el calentamiento global. Estos ecosistemas están sufriendo irreparables transformaciones, que controlan directa o indirectamente la estructura de las comunidades de microorganismos, cuya actividad es esencial para el mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos. Se evaluó la diversidad de bacterias heterótrofas y oligotróficas, en los horizontes A, AB y B, de zonas conservadas y de zonas intervenidas en el Páramo de la Cortadera, en tres áreas de muestreo, ubicadas en los municipios de Siachoque, Pesca y Toca. El número de bacterias heterótrofas aeróbicas totales y bacterias oligotróficas, se estimaron como unidades formadoras de colonias, sembrándose en Agar TSA + Nistatina y Agar MSC-MSH, a 30°C, por 48 horas. Los suelos tienen una textura franco arcilloso, con pH ácido, bajo contenido de materia orgánica y altos niveles de P, aislándose los géneros *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Lactobacillus*, *Bacillus* y *Klebsiella*, y bacterias oligotróficas de los géneros *Caulobacter* y *Hyphomicrobium*, siendo Pesca la zona más diversa del Páramo de La Cortadera. Dicha diversidad podría estar influenciada por una amplia gama de factores bióticos y abióticos, que se puede ver afectada por cambios ambientales o alteraciones antrópicas.

Palabras clave: Diversidad, cultivos, antrópico, horizontes, suelos.

SUMMARY

The "paramo" provides essential environmental services to the population, being an ecological unit that regulates the water flows, and atmospheric carbon storage, which helps to control global warming. These ecosystems are suffering irreparable transformations that directly or indirectly control the structure of communities of microorganisms, which activity is essential for the maintenance of biogeochemical cycles. The diversity of heterotrophic and oligotrophic bacteria in horizons A, AB and B, of areas conserved and altered in the Páramo of Cortadera in the municipalities of Siachoque, Pesca and Toca were evaluated. The total number of aerobic heterotrophic and oligotrophic bacteria was estimated as colony forming units, being cultivated on Agar + Nystatin TSA Trypticase Soya Agar Scharlau® and Agar Agar MSC and MSH at 30°C for 48 hours respectively. The soils have a loamy clay texture, acid pH, low organic matter and high levels of P, isolating the genera *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Lactobacillus*, *Bacillus* and *Klebsiella*, and oligotrophic bacteria genera *Caulobacter*, and *Hyphomicrobium*, being the most diverse the area Pesca. This diversity could be influenced by a wide range of biotic and abiotic factors, which can be affected by environmental changes and anthropogenic disturbances.

Key words: Diversity, crops, anthropic, horizons, soils.

INTRODUCCIÓN

Los páramos, se encuentran entre los 3.200 y 4.500m en las cadenas montañosas de los andes de Colombia, de Venezuela, de Ecuador, al norte de Perú, de Costa Rica y de

Panamá. Estos ecosistemas son de gran importancia para el almacenamiento y la regulación hídrica, contribuyendo en la fijación de carbono, debido a la lenta descomposición de la materia orgánica y a los procesos de humificación, propios de los suelos (Daza-Torres *et al.* 2014).

En Colombia, estos ecosistemas presentan una extensión aproximada de 1.925.410 hectáreas, de las cuales, el 38,7% se encuentran en áreas de Parques Nacionales Naturales (Rivera & Rodríguez, 2011). A pesar de su notable significación, desde hace décadas están sufriendo enormes transformaciones, por la expansión humana y sus actividades, tales como la agricultura, la ganadería y, en algunos casos, la minería (Cañón-Cortázar *et al.* 2012).

Las prácticas agrícolas, el uso de fertilizantes y los sistemas de cultivo son factores que controlan directa o indirectamente la estructura de las comunidades de microorganismos del suelo. Parámetros, como la biomasa microbiana, su actividad metabólica y el conteo de las poblaciones microbianas más importantes de la microbiota del suelo, son indicadores fundamentales de la calidad del suelo, siendo la biomasa microbiana, un indicador que mejor refleja las respuestas al cambio ambiental, incluso, mejor que los parámetros físicos y químicos; no obstante, es difícil establecer indicadores de calidad, que permitan estimar y cuantificar su nivel de eficacia, porque muchos cambios ocurren paulatinamente y, por lo tanto, las variaciones en la calidad del suelo se perciben cuando todos los efectos se combinan, al cabo de determinado tiempo (Falkowski *et al.* 2008; Cañón-Cortázar *et al.* 2012).

En cuanto a la utilización de los nutrientes, las bacterias del suelo pueden ser clasificadas en oligotróficas y en copiotróficas. Las primeras, necesitan de una pequeña concentración de nutrientes, empleando lentamente la materia orgánica; las bacterias copiotróficas, por el contrario, necesitan una gran concentración de nutrientes, adaptándose a intervalos de latencia y de rápido crecimiento, dependiendo de la disponibilidad de estos sustratos (Saito *et al.* 1998; Brenner *et al.* 2005); sin embargo, son muy pocos los estudios que se han desarrollado para conocer las poblaciones de bacterias oligotróficas presentes en suelos, ya que la mayoría de las investigaciones –referentes a estas bacterias–, se han llevado a cabo en ambientes marinos, agua dulce, suelos, materiales clínicos y agua ultra pura (Cho & Giovannoni, 2004).

El Páramo de La Cortadera, se ubica dentro del complejo de páramos Tota – Bijagual –Mamapacha, presentando zonas secas, en el sector de Toca y Pesca y húmedas, en el municipio de Siachoque. Este complejo de páramos es uno de los que posee mayor actividad antrópica en el departamento de Boyacá (Morales *et al.* 2007), lo cual, ha incrementado el interés en realizar estudios microbiológicos edáficos, como

un indicador sensible de la calidad del suelo, para evidenciar posibles relaciones entre la diversidad microbiana, edafología del suelo y la sustentabilidad del ecosistema.

En este contexto, se realizó este estudio de bacterias heterótrofas y oligotróficas del suelo en el Páramo de La Cortadera, que tiene como objetivo, evaluar la diversidad de bacterias edáficas cultivables en los suelos de las zonas conservadas e intervenidas del Páramo de la Cortadera, Boyacá, Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área objeto de estudio. El estudio, se realizó en el Páramo de La Cortadera, entre febrero y noviembre de 2014. Se seleccionaron tres áreas de muestreo: Siachoque (5°29'24,7"N y 73°9'53,4"W a 3534m), Pesca (5°32'18,7"N y 73°6'17,8"W a 3633m) y Toca (5°34'52,9N y 73°7'23,2"W a 3208m), localidades con promedios de precipitación mensual de 35,7mm (Morales *et al.* 2007).

Se determinaron áreas con vegetación nativa de páramo, denominada Zonas Conservadas (ZC) y áreas de barbecho, con un descanso de, aproximadamente dos años, para Pesca y Toca y, de alrededor de 60 años, para Siachoque, denominada Zonas Intervenidas (ZI), constituyendo el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L), el predominante en estas áreas. Para ello, se tuvo en cuenta el estudio general de suelos y de zonificación de tierras del departamento de Boyacá, del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2005), cartografía básica y fotografías aéreas.

En estas zonas, se efectuaron seis calicatas de 1m³ y, en cada una, se identificaron tres horizontes (A, AB y B); el horizonte A, se ubicó entre los 0-60cm, hasta evidenciar la desaparición de las raíces en la parte orgánica de la calicata; el horizonte AB fue la transición entre la parte orgánica y la arcillosa, entre los 60-80cm y el horizonte B fue entre los 80-100cm en el fondo de la calicata, donde predominaban las arcillas, las areniscas y las rocas.

Toma de muestras. Se tomaron submuestras para cada uno de los horizontes A, AB y B, hasta completar cerca de 1kg de suelo, para un total de 36, por zonas en estudio, se guardaron en bolsas Ziploc y se llevaron al laboratorio en neveras portables, tamizándolas a 2mm y refrigerándolas, para su posterior análisis.

Análisis agroquímico del suelos. Se realizó en el Laboratorio Nacional de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Se determinó pH, por el método potenciométrico, en agua o en NaF; textura, por el método de Bouyoucos; CIC, por el método Acetato de amonio 1N pH neutro y cuantificación, por volumetría y absorción-emisión atómica; conductividad eléctrica CE- Conductivimetría, en extracto de saturación;

porcentaje de materia orgánica, por el método Calcinación a 540°C y cuantificación gravimétrica y elementos mayores y menores, por el método de extracción, con DTPA y cuantificación por Absorción Atómica A.A.

Cuantificación y clasificación de bacterias. Se pesaron 10g por muestra de suelo, para realizar diluciones en serie, desde 10^{-1} hasta 10^{-4} , usando agua destilada estéril.

Para el aislamiento de bacterias heterótrofas, se empleó el agar TSA + Nistatina Agar Tripticasa Soya- Scharlau® y los medios de cultivo agar MSC Mineral salts *Caulobacter* y MSH Mineral salts *Hyphomicrobium*, para el aislamiento de bacterias oligotróficas, de los géneros *Caulobacter* e *Hyphomicrobium*. Todos los medios de cultivo se sembraron por duplicado e incubaron a 30°C, por 48 horas.

El número de bacterias heterótrofas aeróbicas totales y oligotróficas, se estimaron como unidades formadoras de colonias por gramo de suelo (UFC g^{-1}).

A los aislados bacterianos heterótrofos, se les realizaron pruebas micromorfológicas y culturales, en los medios selectivos Agar EMB Pronadisa®, Agar McConkey Pronadisa® y Agar Baird Parker Pronadisa®. Se realizaron pruebas fisiológico-bioquímicas utilizando API 20E, para enterobacterias-Biomérieux®; API 20 NE, para no enterobacterias-Biomérieux® y BBL Crystal®, para Bacilos Gram positivos. En cuanto a las bacterias oligotróficas, se efectuaron pruebas bioquímicas tradicionales para los géneros *Caulobacter* e *Hyphomicrobium*, empleando el Manual de Bergey (Brenner *et al.* 2005).

Procesamiento de resultados. Se calculó el índice de diversidad de Shannon, en los suelos de las zonas estudiadas; para el cálculo de este índice, se consideró la siguiente fórmula:

$$H' = -\sum p_i \ln(p_i), \text{ donde } p_i = n_i/N$$

Análisis estadísticos. Los datos de la cuantificación microbiana, se transformaron a Logaritmo en base 10, para que cumplieran con la distribución normal; con estos datos obtenidos, se realizó un análisis de varianza de tres factores; se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y el análisis de varianza correspondiente, con un nivel de significación de 0,01. Además, se practicó la prueba de comparación múltiple de Tukey, para determinar diferencias significativas de las variables evaluadas, entre los usos de los suelos estudiados. Se utilizó el paquete SigmaPlot 12.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis agroquímico de los suelos. El suelo de las tres áreas estudiadas, se caracterizó por presentar una textura franco arcillosa (FAr), tal como se ha informado para suelos cultiva-

dos con papa (Flórez-Zapata & Uribe-Vélez, 2011) y en suelos de páramo (Lizarazo-Medina & Gómez-Vásquez, 2015). Además, los suelos de estas zonas presentaron un pH ácido (pH: 4,3); este valor es similar a los reportados por Moratto *et al.* (2005) y Estupiñán *et al.* (2009), quienes informaron pH de 4,1 a 5,4, para el Páramo Guerrero y de 3,8, para el Páramo el Granizo, respectivamente. Asimismo, Lizarazo-Medina & Gómez-Vásquez (2015), en los Páramos de Santa Inés y Frontino-Urao, en el departamento de Antioquia, declararon pH de 4,33 y 4,31, respectivamente.

Para el Páramo de la Cortadera, los valores de pH reportados en las ZC y ZI son ideales para el establecimiento de poblaciones microbianas, al ubicarse en el rango óptimo de pH 4-7, para el crecimiento bacteriano (Lauber *et al.* 2009; Rousk *et al.* 2010), siendo este un factor ambiental determinante de la diversidad y de la composición de las comunidades microbianas del suelo (Lauber *et al.* 2009; Siciliano *et al.* 2014); sin embargo, estas poblaciones se pueden ver afectadas por las prácticas agrícolas y por las condiciones climáticas, que podrían generar variaciones en el pH y en la disponibilidad de nutrientes (Figueiredo *et al.* 2015). Además, permite la adaptabilidad de especies vegetales (Estupiñán *et al.* 2009), ofreciendo una mayor disponibilidad y retención de elementos menores, como Fe, Mg, Cu y Zn, que forman complejos estables con la materia orgánica, haciéndolos más solubles y, por lo tanto, más fáciles de absorber –haciéndolos más solubles-, lo que permite que sean más fáciles de absorber por las plantas; además, impide que se generen concentraciones de aluminio mayores a 1ppm, que llegan a ser tóxicas para las plantas (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2005; Figueroa del Castillo *et al.* 2010).

Por otro lado, se registraron altos contenidos de materia orgánica para las calicatas conservadas, especialmente, en el área de Siachoque (8,2%), en comparación a los obtenidos en las calicatas intervenidas, siendo las áreas de Pesca (8,1%) y Siachoque (7,2%), las que presentaron los valores más altos de esta zona. En la tabla 1, se muestran altas concentraciones de fósforo en los suelos de las calicatas intervenidas (10,6-38,9mg/kg), con bajas concentraciones para las ZC (0,96-8,41mg/kg). Moratto *et al.* (2005), en áreas cultivadas con papa (*Solanum tuberosum* L) y áreas en descanso, obtuvo valores de MO, entre 19-62% y contenidos de fósforo, de 99,5mg/kg, siendo superiores a los hallados en este estudio; no obstante, en zonas de páramo, Lizarazo-Medina & Gómez-Vásquez (2015) informaron concentraciones de P, de 6,71-29,69mg/kg y porcentajes de MO, de 11,72% y 35,31%, existiendo similitud con los resultados obtenidos en este estudio.

Estos valores de materia orgánica y altos contenidos de fósforo en las ZI, posiblemente, pueden estar influenciados por cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo, por el

Tabla 1. Análisis agroquímicos de suelos muestreados en las zonas conservadas (ZC) e intervenidas (ZI) del Páramo de la Cortadera.

Análisis	Unidad	Zonas de Muestreo					
		Siachoque		Pesca		Toca	
		ZC	ZI	ZC	ZI	ZC	ZI
Textura		FAr	FAr	FAr	FAr	FAr	FAr
pH		3,96	3,96	4,26	4,66	4,56	4,66
Aluminio (Al)	cmol(+)/kg	13,78	13,04	10,91	5,42	4,08	3,81
Saturación Al	%	96,34	96,04	95,50	74,27	92,81	83,19
MO	%	8,22	8,16	4,84	7,24	3,37	2,97
CIC	(cmol(+)/kg)	39,33	37,14	30,64	35,56	23,60	20,86
Calcio	(cmol(+)/kg)	0,07	0,13	0,12	0,78	0,09	0,58
Magnesio	(cmol(+)/kg)	0,10	0,11	0,21	0,10	0,05	0,11
Potasio	(cmol(+)/kg)	0,29	0,25	0,29	0,27	0,13	0,20
Sodio	(cmol(+)/kg)	0,09	0,06	0,06	0,05	0,07	0,04
B.T.	(cmol(+)/kg)	0,55	0,55	0,54	1,22	0,34	0,94
S.B.	%	1,60	1,62	1,74	2,93	1,46	3,84
Fósforo	mg/kg	8,41	10,66	0,96	38,98	1,10	34,82

FAr: Franco Arcilloso; **MO:** Materia orgánica; **CIC:** Capacidad de Intercambio Catiónico; **B.T:** Bases totales; **S.B:** Saturación de Bases.

ingreso de nuevas poblaciones de microorganismos, por disturbios de origen antrópico o natural, variaciones en las condiciones ambientales o aplicación de fertilizantes, tal como se pudo evidenciar en las áreas de Pesca y Toca. Además, un mayor contenido de fósforo es el reflejo de la adecuación de los suelos, para los procesos productivos (Drenovsky *et al.* 2004); sin embargo, los valores bajos de fósforo que se observaron en las ZC, se deben a los procesos de retención del ecosistema, en los que intervienen los compuestos de hierro y de aluminio y la fauna del suelo, que favorecen los procesos de humificación (Drenovsky *et al.* 2004; Estupiñán *et al.* 2009).

Análisis microbiológico. Se registraron concentraciones de bacterias heterótrofas cultivables de 8,9 Log UFC g⁻¹, aislándose 11 géneros bacterianos, con mayor abundancia de microorganismos en las ZC (51,1%). El horizonte A es el de mayor concentración microbiana, mientras que los horizontes AB y B registraron los más bajos valores, evidenciándose que existen diferencias significativas ($P < 0,001$), entre la abundancia de microorganismos y los horizontes del suelo en las ZC y ZI estudiadas (Figura 1). Beltrán-Pineda (2014), en suelos cultivados con papa en el Páramo de Rabanal, reportó recuentos de 3,7 Log de UFC g⁻¹; sin embargo, en suelos de este mismo páramo que han sufrido quemadas, se registran poblaciones de bacterias amilolíticas, proteolíticas y celulolíticas, de 4,8, 4,6 y 4,3 Log UFC g⁻¹, respectivamente (Beltrán-Pineda & Lizarazo-Forero, 2013). Igualmente, Lizarazo-Medina & Gómez-Vásquez (2015), en la rizosfera de *Espeletia* spp., en páramos de Antioquia, reportan una abundancia de microorganismos de 2,51x10⁵UFC g⁻¹ y

2,24x10⁵UFC g⁻¹, pero estos estudios se limitan, principalmente, a los 20cm superiores del suelo. Como resultado, las comunidades microbianas que existen a diferentes profundidades del suelo no han sido bien caracterizadas (Eilers *et al.* 2012); no obstante, como lo reportado en este estudio, la abundancia y la diversidad microbiana disminuye con la profundidad (Buss *et al.* 2005), representando un filtro ecológico, ya que muchos microorganismos que habitan en la superficie tienen menos probabilidades de prosperar en el entorno de los horizontes más profundos del suelo (Eilers *et al.* 2012).

Por tal razón, estos valores de ocurrencia de microorganismos podrían estar relacionados con la proporción de materia orgánica en las ZC y la humedad característica de estos suelos. Ramos & Zúñiga (2008) señalaron que un alto porcentaje de humedad favorece la actividad de los microorganismos, permitiéndoles reaccionar fácil y rápidamente a estímulos ambientales; sin embargo, en las ZI, esta actividad microbiana, se puede ver afectada por la aplicación intensiva de agroquímicos y, en parte, por el tipo de labranza, lo que genera un cambio drástico en la estructura del suelo y en las poblaciones de microorganismos, disminuyendo así su concentración y su biodiversidad (Rengel & Marschner, 2005).

Microorganismos aislados. En ambos ecosistemas estudiados, *Pseudomonas* se destacó como el género más abundante (86,1%), seguido de los géneros *Acinetobacter* (3,2%), *Lactobacillus* (1,9%), *Bacillus* (1,6%) y *Klebsiella* (1,6%), mientras que *Corynebacterium*, con 0,06%, solo fue aislado en las ZI (Tabla 2). Las bacterias pertenecientes al género *Pseu-*

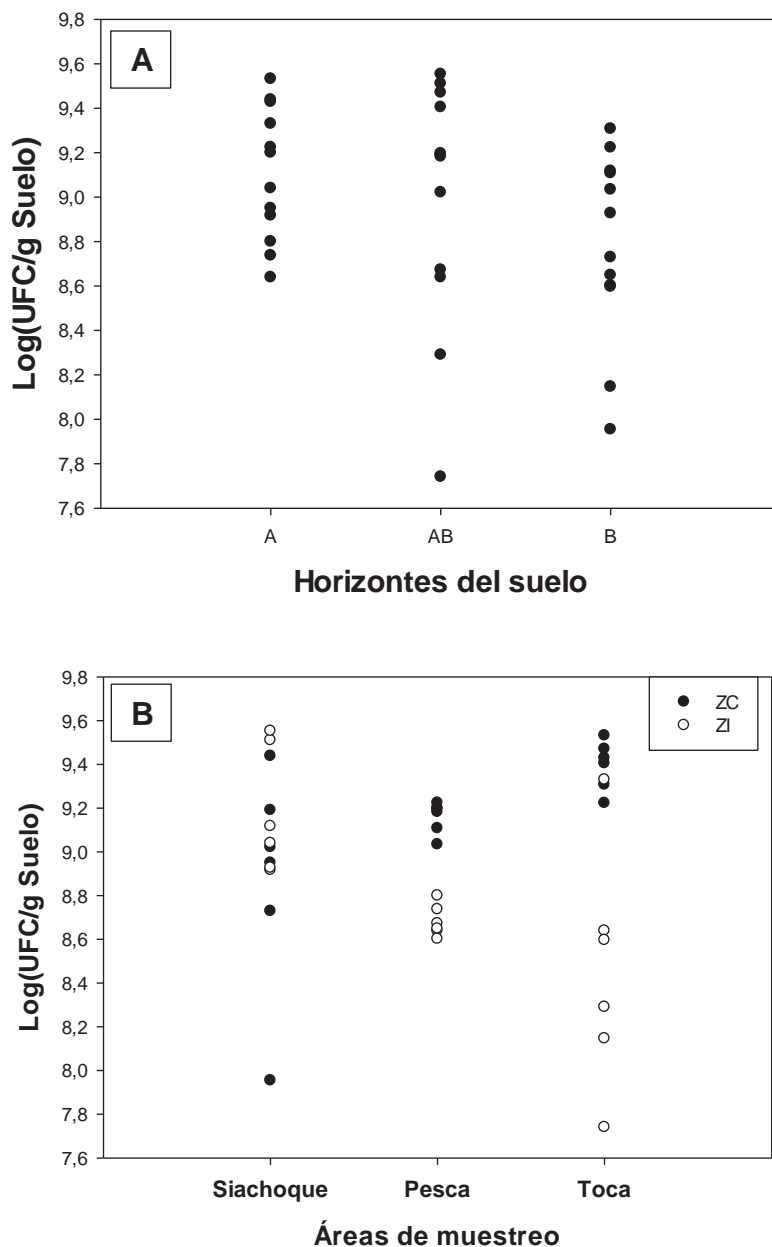


Figura 1. Concentraciones microbianas presentes en el Páramo de la Cortadera. **A.** Horizontes del suelo (A, AB, B), **B.** Áreas de muestreo, Zonas conservadas (ZC) e intervenidas (ZI).

domonas presentan características que le permite adaptarse con facilidad en diferentes agroecosistemas, destacándose por su corto período de latencia, rápida velocidad de crecimiento y capacidad de metabolizar una amplia gama de sustancias carbonadas, exudadas por las raíces de las plantas (Hernández-Rodríguez *et al.* 2003); por ejemplo, se ha aisla-

do en suelos bajo cultivos de papa (*S. tuberosum*) (Moratto *et al.* 2005) y de la rizósfera de *Espeletia* spp., (Lizarazo-Medina & Gómez-Vásquez 2015), demostrando su capacidad para descomponer la materia orgánica, haciendo disponible el fósforo y produciendo compuestos que promueven el crecimiento de las plantas (Chakraborty *et al.* 2010; Muleta *et*

al. 2013). Los géneros aislados en este estudio forman parte de los Phylum Actinobacteria, Firmicutes y Proteobacteria, siendo *Pseudomonas* y *Bacillus*, los representantes más comunes en muestras de suelo de alta montaña (Lyngwi *et al.* 2013); sin embargo, los resultados muestran una baja abundancia del género *Bacillus*, comportamiento que podría estar relacionado con el alto contenido de nutrientes, presentes en los suelos del Páramo de la Cortadera.

En relación con el género *Acinetobacter*, se ha documenta-

Tabla 2. Porcentaje de aislamiento de los géneros bacterianos presentes en el Páramo de la Cortadera.

Géneros bacterianos aislados	% Aislamiento
Heterótrofas	
<i>Pseudomona</i>	86,17
<i>Acinetobacter</i>	3,29
<i>Lactobacillus</i>	1,95
<i>Bacillus</i>	1,66
<i>Klebsiella</i>	1,6
<i>Staphilococcus</i>	0,93
<i>Burkholderia</i>	0,92
<i>Amphibacillus</i>	0,42
<i>Enterobacter</i>	0,13
<i>Corynebacterium</i>	0,06
<i>Micrococcus</i>	0,01
Oligotróficas	
<i>Caulobacter</i>	2,12
<i>Hyphomicrobium</i>	0,74

do, en los últimos años, su gran capacidad metabólica, que le permite catabolizar una amplia variedad de compuestos naturales, lo que implica su participación activa en el ciclo de los nutrientes en los ecosistemas. Además, se ha demostrado su presencia abundante en diversos ambientes, que incluyen el suelo, los ecosistemas acuáticos y ambientes impactados (Baumann, 1968; Kostka *et al.* 2011; Jung & Park, 2015). En un estudio realizado por Sturz *et al.* (2001), se corroboró la importancia de *Acinetobacter* y su especificidad con las especies vegetales, demostrándose sus potencialidades en la estimulación del crecimiento y del desarrollo de la papa cultivar Russet Burbank.

Bacterias oligotróficas. Se aislaron concentraciones de 1,8 Log UFC g⁻¹ de este grupo de bacterias, representadas en dos géneros: el *Caulobacter*, con un 2,1%, muestra un alto

nivel de aislamiento, principalmente, para las zonas conservadas y los horizontes AB y B de las áreas estudiadas, mientras que el género *Hyphomicrobium*, con 0,7%, se aisló en menor proporción (Tabla 2). Saito *et al.* (1998) afirmaron que estos microorganismos se hallan ampliamente distribuidos en el suelo, desempeñando un papel importante en la descomposición de la materia orgánica y dinámica de nutrientes del suelo (Hashimoto *et al.* 2006); no obstante, el bajo porcentaje de aislamiento de estos géneros, podría estar influenciado por las propiedades agroquímicas registradas en los suelos del Páramo de la Cortadera, si se tiene en cuenta lo planteado por Phung *et al.* (2004), quienes señalaron que estos microorganismos crecen mejor a concentraciones de nutrientes menores a 10mg.

Análisis de diversidad. Los ecosistemas pertenecientes a las Zonas intervenidas de Pesca y Siachoque y la Zona Conservada de Toca, se caracterizan por tener la mayor diversidad del páramo de la Cortadera (Figura 2). Esta biodiversidad podría ser favorecida por la presencia de cultivos que vienen acompañados de nuevos sustratos, como la cáscara de arroz y de gallinaza, que favorecen la presencia y la abundancia de mayor cantidad de grupos microbianos (Vallejo-Quinter, 2013), pero esta diversidad se podría ver afectada por los usos agrícolas de los suelos, disminuyendo el ingreso de nutrientes al suelo y, consecuentemente, pérdida del contenido de carbono orgánico y nitrógeno.

Este estudio es de gran importancia para el departamento de Boyacá, ya que se da a conocer, por primera vez, la diversidad bacteriana asociada a zonas conservadas e intervenidas, ubicadas en el Páramo de la Cortadera. Las concentraciones bacterianas reportadas en este estudio hacen referencia a la fracción cultivable de algunos géneros microbianos, siendo indispensable aplicar nuevas metodologías de cultivo, que permitan conocer la diversidad microbiana total en estos ecosistemas, poco estudiados. Los resultados muestran que los microorganismos aislados tienen la capacidad de dinamizar la materia orgánica y fósforo presente en estos suelos, favoreciendo al sustento de los flujos de energía, la dinámica de los nutrientes, la estructura del suelo y la biodiversidad en estos ecosistemas de alto impacto, en el almacenamiento y en la regulación hídrica.

Agradecimientos: Los autores agradecen a Colciencias, a la Dirección de Investigaciones de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, al Ph.D. José Luis Machado, por el apoyo en el análisis de datos. **Conflicto de interés:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún tipo de conflicto de interés que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

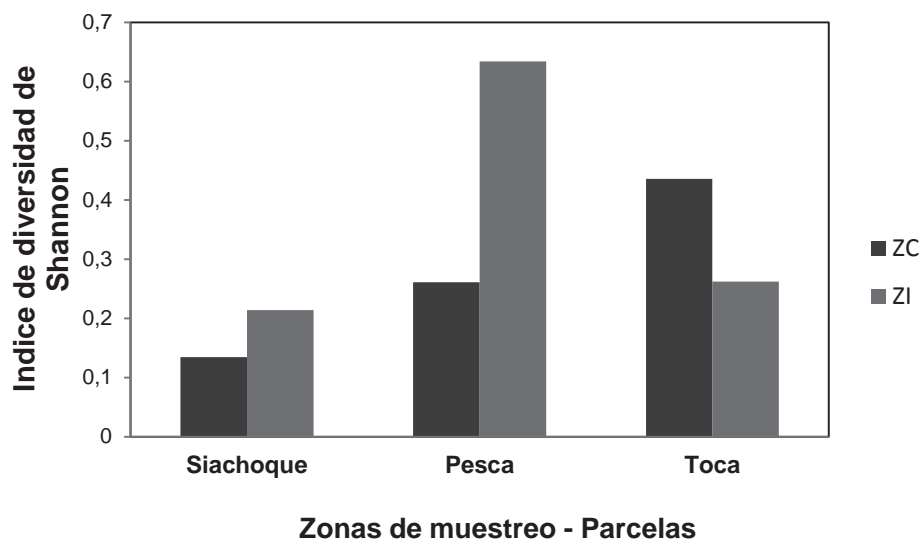


Figura 2. Índice de diversidad de Shannon en las zonas conservadas (ZC) e intervenidas (ZI) del Páramo de la Cortadera.

BIBLIOGRAFÍA

- BAUMANN, P. 1968. Isolation of Acinetobacter from Soil and Water. *Journal of Bacteriology*. 96(1):39-42.
- BELTRÁN-PINEDA, M.; LIZARAZO-FORERO, L.M. 2013. Grupos funcionales de microorganismos en suelos de páramo perturbados por incendios forestales. *Rev. Ciencias*. 17(2):121-136.
- BELTRÁN-PINEDA, M. 2014. Estudio comparativo de poblaciones microbianas totales y solubilizadoras de fosfato en suelos de páramo cultivados con papa (*Solanum tuberosum*) en Ventaquemada-Boyacá. *I3+ Investigación, Innovación, Ingeniería*. 2:56-74.
- BRENNER, D.; KRIEG, N.; JAMES, T. 2005. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Volume 2: The Proteobacteria (Part C). 2 Ed. Springer. ISBN-10: 0-387-24145-0. ISBN-13: 978-0387-24145-6.
- BÜSS, H.; BRÜNS, M.; SCHULTZ, M.; MOORE, J.; MATHUR, C.; BRANTLEY, S. 2005. The coupling of biological iron cycling and mineral weathering during saprolite formation, Luquillo Mountains, Puerto Rico. *Geobiology*. 3:247-260.
- CAÑÓN-CORTÁZAR, R.; AVELLANEDA-TORRES, L.; TORRES-ROJAS, E. 2012. Microorganismos asociados al ciclo del nitrógeno en suelos bajo tres sistemas de uso: cultivo de papa, ganadería y páramo, en el Parque Los Nevados, Colombia. *Acta Agr*. 61(4):371-379.
- CHAKRABORTY, B.; CHAKRABORTY, U.; SHA, A.; SÚNAR, K.; DEY, P. 2010. Evaluation of phosphate solubilizers from soils of North Bengal and their diversity analysis. *World J. Agr. Sci*. 6(2):195-200.
- CHO, J.; GIOVANNONI, S. 2004. Cultivation and growth characteristics of a diverse group of oligotrophic marine Gammaproteobacteria. *Appl. Environ. Microbiol*. 70:432-440.
- DAZA-TORRES, M.; HERNÁNDEZ-FLOREZ, F.; TRIANA, F. 2014. Efecto del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el Páramo de Sumapaz Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*. 67(1):7189-7200.
- DRENOVSKY, R.; VO, D.; GRAHAM, K.; SCOW, K. 2004. Soil water content and organic carbon availability are major determinants of soil microbial community composition. *Micro. Ecol*. 48:424-430.
- EILERS, K.; DEBENPORT, S.; ANDERSON, S.; FIERER, N. 2012. Digging deeper to find unique microbial communities: The strong effect of depth on the structure of bacterial and archaeal communities in soil. *Soil Biol. Biochem*. 50:58-65.

12. ESTUPIÑÁN, L.; GÓMEZ, J.; BARRANTES, V.; LIMAS, L. 2009. Efecto de actividades agropecuarias en las características del suelo en el páramo el Grani-zo (Cundinamarca - Colombia). Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 12(2):79-89.
13. FALKOWSKI, P.; FENCHEL, T.; DELONG, E. 2008. The microbial engines that drive Earth's biogeochemical cycles. Science. 320:1034-1039.
14. FIGUEIREDO, N.; CARRANCA, C.; GOUFO, P.; PEREIRA, J.; TRINDADE, H.; COUTINHO, J. 2015. Impact of agricultural practices, elevated temperature and atmospheric carbon dioxide concentration on nitrogen and pH dynamics in soil and floodwater during the seasonal rice growth in Portugal. Soil Tillage Res. 145:198-207.
15. FIGUEROA DEL CASTILLO, L.; MELGAREJO, M.; FUENTES DE PIEDRAHÍTA, C.; LOZANO DE YUNDA, A. 2010. Mineralización de ¹⁴C-glifosato y seguimiento de la dinámica de las poblaciones de *Pseudomonas* sp. en tres suelos del departamento del Tolima (Colombia) sometidos a diferente uso. Agron. Col. 28(3):413-420.
16. FLÓREZ-ZAPATA, N.; URIBE-VÉLEZ, D. 2011. Biological and physicochemical parameters related to the nitrogen cycle in the Rhizospheric soil of native potato (*Solanum phureja*) crops of Colombia. Appl. Environm. Soil Sci. Article ID 847940, 10p.
17. HASHIMOTO, T.; WHANG, S.K.; NAGAOKA, T. 2006. A quantitative evaluation and phylogenetic characterization of oligotrophic denitrifying bacteria harbored in subsurface upland soil using improved culturability. Biol. Fertil. Soils. 42:179-185.
18. HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, A.; CABALLERO, A.; PAZOS, M.; RAMÍREZ, R.; HEYDRICH, M. 2003. Identificación de algunos géneros microbianos asociados al cultivo del maíz (*Zea mays* L.) en diferentes suelos de Cuba. Rev. Col. Biotecn. 5(1):45-55.
19. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. 2005. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Boyacá. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Boyacá. 158p.
20. JUNG, J.; PARK, W. 2015. *Acinetobacter* species as model microorganisms in environmental microbiology: current state and perspectives. Appl. Microbiol. Biotechnol. 99(6):2533-2548.
21. KOSTKA, J.; PRAKASH, O.; OVERHOLT, W.; GREEN, S.; FREYER, G.; CANION, A.; DELGARDIO, J.; NORTON, N.; HAZEN, T.; HUETTEL, M. 2011. Hydrocarbon-degrading bacteria and the bacterial community response in gulf of Mexico beach sands impacted by the deepwater horizon oil spill. Appl. Environ. Microbiol. 77(22):7962-7974.
22. LAUBER, C.; HAMADY, M.; KNIGHT, R.; FIERER, N. 2009. Pyrosequencing-based assessment of soil pH as a predictor of soil bacterial community structure at the continental scale. Appl. Environ. Microbiol. 75(15):5111-5120.
23. LIZARAZO-MEDINA, P.; GÓMEZ-VÁSQUEZ, D. 2015. Microbiota rizosférica de *Espeletia* spp. de los Páramos de Santa Inés y de Frontino-Urrao en Antioquia, Colombia. Acta Biol. Col. 20(1):175-182.
24. LYNNGWI, N.; KOJAM, K.; SHARMA, D.; JOSHI, R. 2013. Cultivable bacterial diversity along the altitudinal zonation and vegetation range of tropical Eastern Himalaya. Rev. Biol. Trop. 61(1):467-490.
25. MORALES, M.; OTERO, J.; VAN DER HAMMEN, T.; TORRES, A.; CADENA, C.; PEDRAZA, C. 2007. Atlas de páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. 208p.
26. MORATTO, C.; MARTÍNEZ, L.; VALENCIA, H.; SÁNCHEZ, J. 2005. Efecto del uso del suelo sobre hongos solubilizadores de fosfato y bacterias diazotróficas en el páramo de Guerrero (Cundinamarca). Agr. Col. 23(2):299-309.
27. MULETA, D.; ASSEFA, F.; BÖRJESSEON, E.; GRANHALL, U. 2013. Phosphate solubilising rhizobacteria associated with *Coffea arabica* L. in natural coffee forests of southwestern Ethiopia. J. Saudi Soc. Agr. Sci. 12:73-84.
28. PHUNG, N.; LEE, J.; HYUN, K.; CHANG, I.; GADD, G.; HONG, B. 2004. Analysis of microbial diversity in oligotrophic microbial fuel cells using 16 S rDNA sequences. Microbiol. Letters. 233:77-82.
29. RAMOS, E.; ZÚÑIGA, D. 2008. Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. Ecol. Apli. 7(1-2):123-130.
30. RENGEL, Z.; MARSCHNER, P. 2005. Nutrient availability and management in the Rhizosphere: exploiting genotypic differences. New Phytol. 168:305-312.

31. RIVERA, D.; RODRÍGUEZ, C. 2011. Guía divulgativa de criterios para la delimitación de páramos de Colombia. Instituto Humboldt. 68p.
32. ROUSK, J.; BAATH, E.; BROOKES, P.; LAUBER, C.; LOZUPONE, C.; CAPORASO, G.; KNIGHT, R.; FIERER, N. 2010. Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. *The ISME J.* 4:1340-1351.
33. SAITO, A.; MITSUI, H.; HATTORI, R.; MINAMISAWA, K.; HATTORI, T. 1998. Slow-growing and oligotrophic soil bacteria phylogenetically close to *Bradyrhizobium japonicum*. *Microbiol. Ecol.* 25(3):277-286.
34. SICILIANO, S.; PALMER, A.; WINSLEY, T.; LAMB, E.; BISSETT, A.; BROWN, M.; DORST, J.; JI, M.; FERRARI, B.; GROGAN, P.; CHU, H.; SNAPE, I. 2014. Soil fertility is associated with fungal and bacterial richness, whereas pH is associated with community composition in polar soil microbial communities. *Soil Biol. Biochem.* 78:10-20.
35. STURZ, A.; MATHESON, B.; ARSENAULT, W.; KIMPINSKI, J.; CHRISTIE, B. 2001. Weeds as a source of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural soils. *Can. J. Microbiol.* 47(11):1013-1024.
36. VALLEJO-QUINTERO, V. 2013. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal.* 16(1):83-99.

Recibido: Febrero 2 de 2015

Aceptado: Septiembre 20 de 2015

Cómo citar:

Hernández, D.R.; Lizarazo, L.M. 2015. Bacterias heterótrofas y oligotróficas en zonas conservadas e intervenidas del páramo de la Cortadera, Boyacá, Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 475-483.

EFECTO DEL OXÍGENO DISUELTO SOBRE LA BIODEGRADABILIDAD DE BIORRESIDUOS

DISSOLVED OXYGEN EFFECT ON THE BIODEGRADABILITY OF BIOWASTE

Jonathan Soto^{1*}, Patricia Torres², Luz Edith Barba³, Luis Fernando Marmolejo⁴, Wilmar A. Torres⁵,
María A. Guzmán⁶, Laura M. Perea⁷

^{1*} Ing. Sanitario y Ambiental, estudiante de M.Sc., Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente-EIDENAR. Universidad del Valle, calle 13 No 100-00, Cali, Colombia, e-mail: jonathan.soto.paz@correounivalle.edu.co; ² Ing. Sanitaria, M.Sc., Ph.D., Prof. Titular, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente-EIDENAR. Universidad del Valle, calle 13 No 100-00, Cali, Colombia, e-mail: patricia.torres@correounivalle.edu.co; ³ Ing. Sanitario, M.Sc., Ph.D., Prof. Asociado, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente-EIDENAR. Universidad del Valle, calle 13 No 100-00, Cali, Colombia, e-mail: luis.marmolejo@correounivalle.edu.co; ⁴ Química, M.Sc., Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente-EIDENAR. Universidad del Valle, calle 13 No 100-00, Cali, Colombia, e-mail: luz.barba@correounivalle.edu.co; ⁵ Estadístico, Grupo de Investigación en Estadística Aplicada – INFERIR. Universidad del Valle, calle 13 No 100-00, Cali, Colombia, e-mail: wilmar.alexander.torres@correounivalle.edu.co; ⁶ Estudiante de Ing. Sanitaria y Ambiental, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente-EIDENAR. Universidad del Valle, calle 13 No 100-00, Cali, Colombia, e-mail: maria.guzman.vargas@correounivalle.edu.co; ⁷ Estudiante de Ing. Sanitaria y Ambiental, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente-EIDENAR. Universidad del Valle, calle 13 No 100-00, Cali, Colombia, e-mail: laura.perea@correounivalle.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 485-495, Julio-Diciembre, 2015

RESUMEN

El compostaje es una de las tecnologías más utilizadas para el aprovechamiento de los biorresiduos de origen municipal, en los países en desarrollo. Siendo un proceso aerobio, la eficiencia de la aireación puede afectar el desarrollo del proceso y la calidad del producto. En este estudio, se evaluó, a escala de laboratorio, la influencia de la concentración del oxígeno disuelto sobre la biodegradabilidad aerobia de los biorresiduos del restaurante de la Universidad del Valle, Colombia. Para ello, se estudiaron cinco concentraciones de oxígeno disuelto (menor a 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 y 2,5mg L⁻¹), a través de un modelo cinético diferencial de primer orden, para determinar las tasas de utilización del sustrato, tasas de crecimiento de biomasa y por medio de respirometría, la tasa de consumo de oxígeno. Se realizaron análisis estadísticos, a partir de un modelo lineal mixto y la prueba de Tukey ($p < 0,05$), encontrándose que las concentraciones de OD evaluadas, se pueden agrupar en tres grupos, en términos de reducción de DQO: i) OD menor a 0,5mg L⁻¹; ii) $1,0 \leq OD \leq 1,5$ mg L⁻¹ y iii) $2,0 \leq OD \leq 2,5$ mg L⁻¹, siendo este último, en el que se presentan las condiciones más favorables para la cinética de transformación del sustrato con TUS, entre 0,18 a 0,21d⁻¹, en las cuales, se tienen las mayores TCO y TCB.

En contraste, los grupos i y ii presentaron TUS, entre 0,02 a 0,12d⁻¹, lo que indica que el OD incide en la transformación del sustrato.

Palabras clave: Aprovechamiento, cinética, compostaje, residuos sólidos.

SUMMARY

Composting is one of the most used technologies for the use of municipal biowaste – MBW. Being an aerobic process, the efficiency of aeration can affect the development of the process and product quality. In this study, we evaluated at laboratory scale, the influence of the concentration of dissolved oxygen-OD on aerobic biodegradability of BOM of a municipality, where segregation practices are performed at the source and selective collection; for this five concentrations of OD (<0.5; 1.0; 1.5; 2.0; 2.5mg L⁻¹) was studied by differential first-order kinetic model to determine rates Substrate Utilization-TUS, biomass growth rates-TCB and through respirometry the rate of oxygen consumption-TCO. Statistics from a mixed linear model analysis and Tukey test ($p < 0.05$) were performed, finding that concentrations of OD assessed, fall into three groups in terms of COD reduction: i) less than 0.5mg OD

* L⁻¹); ii) $1.0 \leq OD \leq 1.5 \text{ mg L}^{-1}$ and iii) $2.0 \leq OD \leq 2.5 \text{ mg L}^{-1}$, the latter in which the most favorable conditions for the transformation kinetics are presented substrate with TUS between 0,18 to 0,21 d⁻¹, in which they have the greatest TCO and TCB. In contrast, groups i and ii presented TUS between 0.02 and 0.12d⁻¹, indicating that the OD affects the transformation of the substrate.

Key words: Use, cynetics, composting, solid waste.

INTRODUCCIÓN

La generación creciente de los residuos sólidos municipales representa una problemática, a nivel mundial, que se ha agudizado en los últimos años. En los países desarrollados, la tasa de generación típica oscila, entre 1,43 a 2,08kg/habitante/día y en los países en desarrollo, entre 0,3 a 1,4kg/habitante/día, de acuerdo a lo reportado por Troschinetz & Mihelcic (2009). En estos últimos, la mayor fracción de los RSM está constituida por biorresiduos de origen municipal-BOM (Hoorweg & Bhada, 2012), lo que hace que su disposición final en rellenos sanitarios sea una práctica inadecuada, ya que agota la vida útil de estos sitios y conduce a la generación de lixiviados y de gases efecto invernadero, que tienen un impacto nocivo sobre el ambiente y la salud humana (He *et al.* 2011).

El compostaje es una de las alternativas de mayor aplicación para la valorización de los BOM, como lo mencionan Li *et al.* (2013), debido a que el producto final tiene un alto potencial de aprovechamiento agrícola, al utilizarlo como mejorador de suelos (Stentiford & de Bertoldi, 2010); no obstante, experiencias reportadas por Barreira *et al.* (2006) muestran que en los países en vía de desarrollo no cumplen con la calidad requerida para su aplicación.

La concentración de oxígeno afecta la actividad de los microorganismos y, por ende, la tasa de degradación del sustrato, lo que incide en la duración de las etapas mesofílica, termofílica y de maduración, para garantizar la estabilidad y madurez del producto, además de incidir en aspectos de diseño y de operación de los procesos biológicos (Lin *et al.* 2008).

El desarrollo de ensayos de biodegradabilidad o respiración aerobia ha permitido estudiar, a escala de laboratorio, las condiciones, bajo las cuales, se podría mejorar el desempeño del proceso de compostaje. Estos ensayos, se clasifican en dos grandes grupos: los que se basan en la producción de dióxido de carbono y los que cuantifican el consumo de oxígeno y suministran información, tanto para el diseño como para la determinación de la concentración de oxígeno, que se requiere para llevar a cabo los procesos de oxidación, la medición indirecta de la actividad microbiana y la cinética de transformación del sustrato (Komilis, 2015).

Según Barrena *et al.* (2013), la respirometría puede ser utilizada para clasificar la biodegradabilidad de los residuos orgánicos en tres categorías principales, de acuerdo con la tasa de consumo de oxígeno: i) alta biodegradabilidad: mayor a $5 \text{ gO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ MOh}^{-1}$; ii) biodegradabilidad moderada: 2 a $5 \text{ gO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ MOh}^{-1}$ y iii) biodegradabilidad baja: menor que $2 \text{ gO}_2 \text{ (kgMOh)}^{-1}$. Autores, como Richard *et al.* (2006), han determinado rangos de tasas de aireación para el control del proceso, que oscilan entre 0,7 a 2,8mg L⁻¹.

En este estudio, se evaluó, a escala de laboratorio, mediante ensayos respirométricos, la influencia de diferentes concentraciones de oxígeno sobre la biodegradabilidad de los BOM del restaurante universitario de la universidad del Valle, bajo la premisa de separación en la fuente y recolección selectiva.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sustrato provino del restaurante de la universidad del Valle y fue validado con los BOM de un municipio, donde se realizan prácticas de separación en la fuente y recolección selectiva, como parte de la gestión de los residuos sólidos municipales y que ingresan a una planta de manejo de residuos sólidos. El programa de muestreo y de caracterización de sustrato correspondió a cinco muestras, de 1,0kg.

Previo a la caracterización fisicoquímica y a la realización de los ensayos biológicos, el sustrato tuvo un tratamiento, que consistió en un proceso de trituración, utilizando una licuadora CB15 Waring Commercial, para garantizar un tamaño de partícula de 5 a 7mm, de acuerdo con lo recomendado por Liwarska *et al.* (2002). Las variables medidas a las muestras de BOM fueron: pH, alcalinidad total y bicarbonática, demanda química de oxígeno total y filtrada, demanda bioquímica de oxígeno - DBO₅, sólidos totales y volátiles, carbono orgánico oxidable, nitrógeno total, amonio, fósforo, potasio, proteínas, carbohidratos, celulosa y lignina, medidas según APHA *et al.* (2005); estas variables también se midieron al final de los ensayos. La fracción biodegradable presente en el sustrato, se determinó mediante la ecuación 1 (Espinosa *et al.* 2007).

$$FB = 0,83 - 0,028CL \quad \text{ecuación 1}$$

Donde, FB corresponde a la fracción biodegradable en base al material volátil; 0,83 y 0,028 son constantes empíricas; CL es el contenido de lignina en porcentaje.

Por otra parte, se cuantificó el nitrógeno amoniacal no ionizado y el ión amonio presente en los BOM, de acuerdo con Sterling *et al.* (2001), para lo cual, se emplearon las ecuaciones 2 y 3.

$$\text{NH}_3 = 1,13 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{\text{NH}_3\text{T}}{\text{H}^+} \quad \text{ecuación 2}$$

Donde, NH_3 es el nitrógeno amoniacal no ionizado; NH_3T corresponde al nitrógeno amoniacal total y H^+ es la concentración de iones de hidrógeno.

$$\text{NH}_3\text{T} = \text{NH}_3 + \text{NH}_4^+ \quad \text{ecuación 3}$$

Donde, NH_3T corresponde al nitrógeno amoniacal total; NH_3 es el nitrógeno amoniacal no ionizado y NH_4^+ es el ion amonio.

Los ensayos, se desarrollaron a escala de laboratorio y tuvieron una duración de 264 horas. Los reactores fueron de vidrio, con un volumen de 5L de capacidad y 4,2L de volumen útil, dejando un espacio libre de 0,8L, para minimizar las pérdidas del sustrato por burbujeo y agitación. Se simuló los rangos de temperatura de las fases mesofílica, termofílica y de enfriamiento, a través de un circuito eléctrico en paralelo, considerando lo reportado en la literatura (Mason & Milke, 2005).

Con el fin de garantizar condiciones favorables en el proceso, se realizó un ajuste de pH al sustrato a 7,0 como una forma de mejorar el proceso de biodegradación, con una solución de NaHCO_3 , al 4%. Para evaluar la influencia del nivel del OD, se ejecutó un diseño experimental en bloques por repeticiones, en el que se evaluaron cuatro concentraciones (1,0; 1,5; 2,0 y 2,5 mg L^{-1}), que se definieron de acuerdo con la literatura y un control, al que no se le suministró oxígeno de forma mecánica y presentó una concentración inferior a 0,5 mg L^{-1} .

Durante el desarrollo del proceso de digestión aerobia, las variables de medición permanentes correspondieron a la temperatura, pH, OD y la DQO total, que permitieron monitorear el proceso, a escala de laboratorio, a fin de garantizar la reproducción de las etapas típicas, del proceso de compostaje.

Para estimar el efecto de la concentración de OD, se determinaron las tasas de degradación del Sustrato-TUS, consumo de oxígeno-TCO y de crecimiento de biomasa-TCB, para cada una de las etapas en el proceso, así como también las tasas globales. La TUS, se determinó con el método cinético diferencial, a partir de la regresión lineal de la curva del decaimiento de sustrato, en función del tiempo. Este método permite determinar el orden de reacción que se aproxima al proceso de degradación del sustrato (Ecuación 4).

$$\frac{dC}{dt} = -kC^n \quad \text{ecuación 4}$$

Donde, C DQO para tasa de degradación del Sustrato; k constante cinética; t duración del ensayo; n orden de la reacción.

La TCO, se determinó mediante pruebas puntuales, que se ejecutaron diariamente, durante el desarrollo de cada etapa experimental, acorde con el ensayo de disminución de la concentración de OD en el tiempo, como se presenta en la ecuación 5 (Van Haandel & Van der Lubbe, 2007).

$$\text{TCO} = \int_0^{t_1} \text{ConO}_2 dt$$

Donde, TCO tasa de consumo de oxígeno; $\int_0^{t_1} \text{Con O}_2 dt$: consumo de oxígeno durante la duración del ensayo.

La TCB, se estipuló considerando la degradación del sustrato y el consumo específico de oxígeno por parte de la biomasa activa en el proceso. La ecuación 6 presenta la forma en la que se cuantificó el crecimiento de biomasa, en cada etapa del proceso.

$$\text{TCB} = \frac{\int_0^{t_1} \text{Con O}_2 dt}{\text{DQO}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde, TCB tasa de crecimiento de biomasa; DQO degradación del sustrato.

Con la finalidad de establecer si existen diferencias significativas entre los niveles de OD, en cuanto a la biodegradabilidad del sustrato, en términos de DQO_(T), se empleó un modelo lineal mixto (Verbeke & Molenberghs, 2009), considerando las variables: tratamientos-niveles de OD, tiempo y como variable dependiente, la cantidad de DQO, en términos logarítmicos, con la finalidad de validar correctamente los supuestos, en los que se basa la metodología empleada. Además, se realizó la prueba de comparación múltiple de Tukey, a un nivel de significancia del 5%; el análisis estadístico, se llevó a cabo empleando el programa estadístico R i386 3.0.2. Los resultados encontrados fueron comparados con estudios previos (Soto *et al.* 2015) efectuados con el mismo sustrato y en las mismas condiciones, con excepción del nivel de OD, que se suministró, en un nivel del orden de 5,0 mg L^{-1} .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 presenta las características fisicoquímicas de los BOM, que fueron utilizados como sustrato en los ensayos. Se observa, que el pH es ácido, asociado al aumento de la producción de ácidos orgánicos volátiles por la descomposición de los BOM, a la ausencia de ATB y a una baja AT, resultados similares a los encontrados por Li *et al.* (2013). Autores, como Abdulkarim & Abdullahi (2010) y Soto *et al.* (2015), indican la necesidad de ajustar estas variables al inicio del proceso con un alcalinizante, que aporte capacidad

Tabla 1. Composición física de los BOM.

Parámetro	Unidad	Sustrato (Promedio \pm Sd)
pH	Unid	5,28 \pm 0,04
Alcalinidad total - AT	mg L ⁻¹	4211,27 \pm 6,52
Alcalinidad bicarbonática – ATB	mg L ⁻¹	0,00 \pm 0,00
Demanda Química de Oxígeno- DQO	mg L ⁻¹	82050,00 \pm 378,8
Demanda química de oxígeno filtrada - DQO _f	mg L ⁻¹	20528,91 \pm 1,05
Demanda bioquímica de Ooxígeno-DBO ₅	mg L ⁻¹	72394,25 \pm 0,05
DBO ₅ /DQO	--	0,9 \pm 0,05
Sólidos totales – ST	mg L ⁻¹	58701,00 \pm 216,47
Sólidos volátiles - SV	mg L ⁻¹	54619,00 \pm 186,26
SV/ST	--	0,93 \pm 0.012
Carbono orgánico oxidable**	g Kg ⁻¹	26,86 \pm 11,68
Nitrógeno total**	mg L ⁻¹	1725,78 \pm 516,76
Amonio	mg L ⁻¹	258,26
Relación C/N	-----	20,48 \pm 8,96
Fósforo**	mg L ⁻¹	391,05 \pm 0,44
Potasio**	%BH	1,20 \pm 0,21
Proteínas**	%BH	4,97 \pm 0,11
Carbohidratos**	%BH	9,74 \pm 2,07
Celulosa**	%BH	0,45 \pm 0,98
Lignina**	%BH ⁻¹	1,59 \pm 0,88
Fracción biodegradable	-----	0,78 \pm 0,88

* Parámetros realizados con 11 datos (n = 11); ** Parámetros realizados con 5 datos (n = 5). BH: Porcentaje en base húmeda.

buffer y neutralice la acidez.

Se observa, en estos resultados, la predominancia orgánica, reflejada en las relaciones DBO₅/DQO y SV/ST, que también muestran el alto potencial de degradación biológica de los BOM. Aunque el contenido de carbono en el sustrato es inferior al reportado para BOM, el nitrógeno se halla próximo a lo expuesto por autores, como Iqbal *et al.* (2010). La forma predominante del nitrógeno corresponde al ión amonio, mientras que el nitrógeno total amoniacal (NH₃), se encontró en una concentración de 0,034mg L⁻¹, lo que indica que, de presentarse una inhibición por el pH, ésta será baja. Por otra parte, la relación C/N, se registra en el rango sugerido por Neklyudov *et al.* (2008), de 20 a 30; sin embargo, investigadores, como Tognetti *et al.* (2007) han mostrado que el proceso se puede realizar hasta con una relación, incluso, del orden de 15, mientras que Díaz & Savage (2007) consideran una relación adecuada, entre 25 a 30.

El contenido de fósforo es mayor al reportado por Iqbal *et al.* (2010) e inferior al sugerido por Neklyudov *et al.* (2008); no obstante, la relación DQO:N:P del BOM 100:2,1:0,5 es menor a la recomendada para procesos biológicos aerobios (Torres, 2013), lo que puede indicar dificultad para lograr la biodegradación total del sustrato. Otros compuestos, como las proteínas y los carbohidratos, se encontraron en niveles similares a los reportados por Chen *et al.* (2010). Estos son de gran importancia en el proceso, debido a que son utilizados, inicialmente, por los consorcios microbianos, que inician con la degradación de estos compuestos (Chiumenti *et al.* 2005). Por otra parte, los contenidos de celulosa y de lignina fueron inferiores a los obtenidos por Chen *et al.* (2010); de esta manera, la FB equivalente a 0,78, ratifica la potencial biodegradación del BOM.

Con relación al monitoreo del proceso (Figura 1), la temperatura presentó un comportamiento típico del proceso de compostaje, con ocurrencia de las etapas mesofílica y ter-

mesofílica, en tiempos recomendados por autores, como Neklyudov *et al.* (2008) y con un descenso de la temperatura, acorde con la fase de enfriamiento; no obstante, según lo reportado por de Guardia *et al.* (2008), no se logró replicar la etapa de maduración, debido a la transformación del sustrato a dióxido de carbono y al volumen de los reactores, lo que limitó la duración de esta etapa. Respecto al pH, todos

los reactores iniciaron el proceso con un valor ajustado a 7,0, que fue variando en función de la temperatura y de la concentración de OD (Yun *et al.* 2005). En la figura 1b, se observa que a las 24 horas, el pH se redujo a valores del orden de 5,0, resultado asociado a la composición fácilmente acidificable del BOM, que hace que la materia orgánica sea

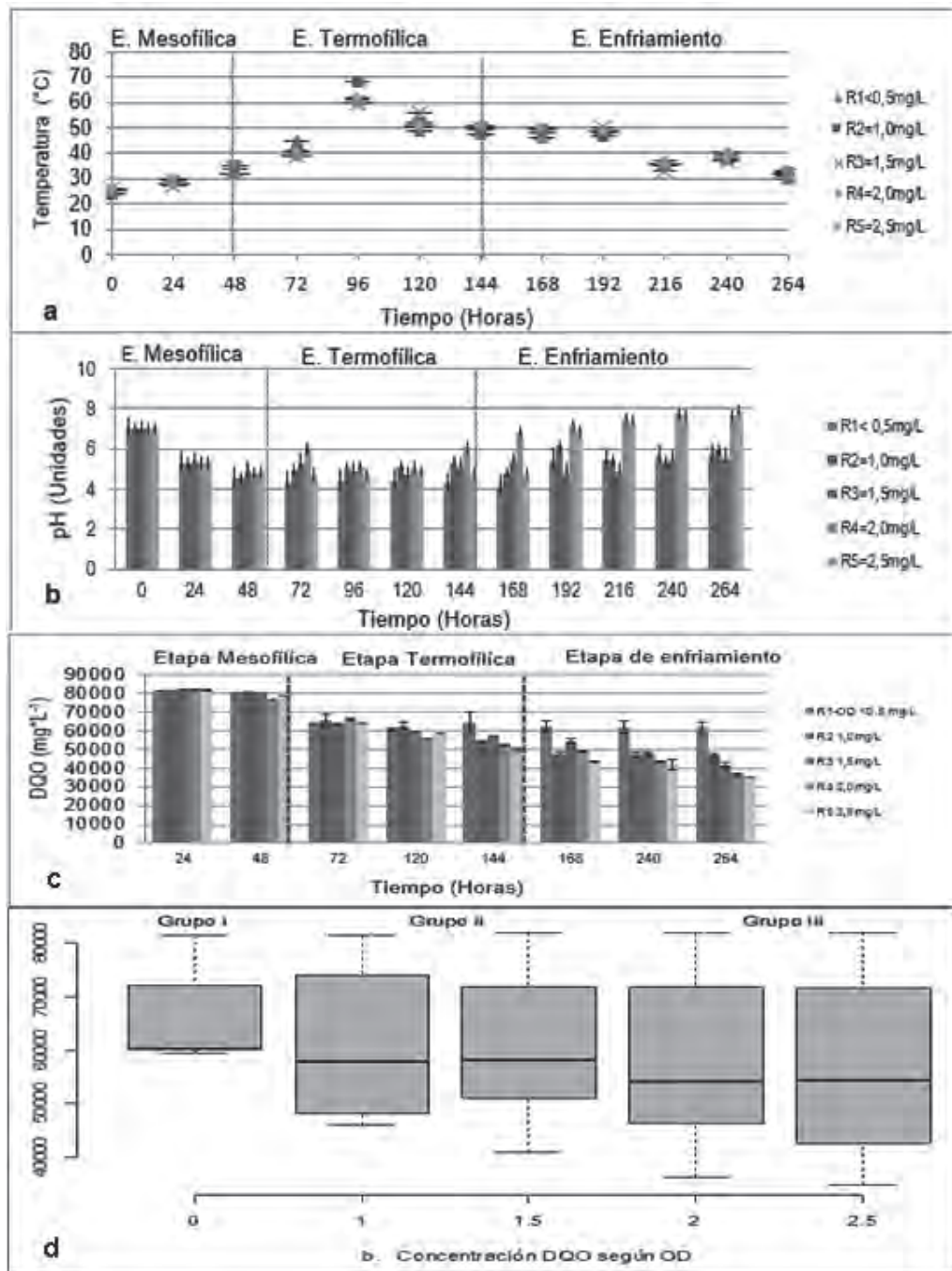


Figura 1. a) Comportamiento de la temperatura durante el ensayo; b) Valores de pH obtenidos para cada tratamiento; c) Reducción de la DCO en el tiempo; d) Variación de la DCO según los niveles de OD.

rápidamente transformada a ácidos orgánicos (Chiumenti *et al.* 2005).

El efecto de la reducción del pH fue más notorio en los reactores con concentraciones de OD inferiores a $2,0\text{mg L}^{-1}$, ya que, según reportan Diaz & Savage (2007), la concentración de oxígeno no debe ser inferior a un 10%, para impedir la presencia de zonas anaerobias que puedan afectar los consorcios microbianos aerobios. Lo anterior coincide con lo reportado por Rasapoor *et al.* (2009), quienes concluyen que cuando se consume el oxígeno disponible y éste es limitante, se da una oxidación incompleta del sustrato, que favorece la producción de ácidos orgánicos de cadena corta y como consecuencia, se presenta un descenso del pH.

Por otra parte, en los reactores con condición igual o superior a $2,0\text{mg L}^{-1}$, el pH incrementó a valores superiores a 7,0, por la transformación del nitrógeno orgánico presente a amoníaco y por la formación de CO_2 , el cual, es liberado al ambiente, producto de la degradación del sustrato (Rasapoor *et al.* 2009). Esto coincide con lo encontrado por Soto *et al.* (2015), en un ensayo de biodegradabilidad aerobia, con una concentración de oxígeno del orden de $5,0\text{mg L}^{-1}$.

Evaluación del OD en el proceso. La figura 1c muestra la variación de la concentración del sustrato, medida como $\text{DQO}_{(T)}$, durante el proceso, para cada uno de los niveles de OD estudiados, resaltándose que la mayor reducción de la DQO, se presenta con las concentraciones de OD equivalentes a $2,0$ y $2,5\text{mg L}^{-1}$, coincidiendo con lo reportado por Yun *et al.* (2005). Por otra parte, en la figura 1d, se destaca, desde el punto de vista estadístico, la conformación de tres grupos respecto la concentración de OD, evaluadas a partir de los resultados obtenidos con el modelo lineal mixto: i) $\text{OD} \leq 0,5\text{mg L}^{-1}$; ii) $1,0 \leq \text{OD} \leq 1,5\text{mg L}^{-1}$ y iii) $2,0 \leq \text{OD} \leq 2,5\text{mg L}^{-1}$, mostrando que las reducciones del sustrato son similares al interior de cada grupo y diferentes respecto al primero. Adicionalmente, la prueba de Tukey ($p < 0,05$), mostró que el grupo con concentraciones iguales o mayores a $2,0\text{mg L}^{-1}$ corresponde a los mejores tratamientos, a través de los cuales, se puede obtener una mayor biodegradación del sustrato.

En la tabla 2, se presentan las TUS, TCO y TCB determinadas para cada una de las concentraciones de OD evaluadas en los reactores y para las diferentes etapas del proceso, encontrándose que el sustrato presentó una cinética de biodegradación de orden uno, resultado similar al reportado por Liwarska *et al.* (2002).

Con relación a la influencia del OD, una mayor concentración intensifica la actividad de los microorganismos y, consecuentemente, estimula el consumo del sustrato, aunque su exceso incrementa las pérdidas de amonio y también afecta el proceso. Ésto se presentó en el grupo iii, donde se ob-

tuvieron mayores TUS, lo que coincide con otros estudios (Guo *et al.* 2012), que reportan la mayor velocidad de biodegradación con concentraciones de OD, en el rango de $2,0$ a $2,8\text{mg L}^{-1}$.

La operación con estas concentraciones de OD fueron similares a las encontradas, con un exceso de OD del orden de $5,0\text{mg L}^{-1}$ y sin adición de nutrientes, en un ensayo previo, adelantado por Soto *et al.* (2015). Además, se obtuvo valores de pH cercanos a la neutralidad, cuando el nivel de OD no excede los $2,5\text{mg L}^{-1}$, en comparación con aquellos que exceden esta condición, donde los valores de pH son básicos afectando, posiblemente, la calidad del producto, al ser fitotóxico.

Con respecto a la TCO, hay una relación directa con la TUS y, por consiguiente, con la TCB, siendo, ésta última, donde se presentan los mayores picos de respiración, para el grupo iii y, los más bajos, para i y ii, respectivamente, lo cual, está asociado a la disponibilidad de oxígeno para la oxidación del sustrato y parte de la energía liberada, en el rompimiento de enlaces, que se utilizó para la formación de nuevo material celular, lo que permitió tener una mayor velocidad de crecimiento de biomasa. En contraste, en los reactores, con una concentración menor a $2,0\text{mg L}^{-1}$, se logró favorecer la formación de zonas anaerobias, que se encuentran relacionadas con los valores pH obtenidos.

Por lo anterior, los resultados encontrados con la TCO muestran que el sustrato es de alta biodegradabilidad, según la escala reportada por Barrera *et al.* (2013). Acorde con la TCO de cada reactor y con lo descrito por investigadores, como Adani *et al.* (2005), los reactores R4 y R5 presentan un índice de respiración aproximado, de 1154 y $1270\text{mgO}_2\text{ kg}^{-1}$ de BOM, por lo que se requieren alrededor de 144 y 168 horas, para que el producto sea estable ($500\text{mgO}_2\text{ kg}^{-1}$) y, para los demás reactores, se necesitan, al menos, 360 horas adicionales. Este resultado es análogo a lo divulgado por Oviedo *et al.* (2014), quienes reportan que la tasa de aireación ejerce un efecto directo sobre el proceso de biodegradación, disminuyendo el tiempo requerido para la estabilización y la madurez del compost, a escala real.

Uno de los factores que pudo incidir en la biodegradación del sustrato corresponde a la limitación de los nutrientes presentes en el sustrato, tanto de nitrógeno como de fósforo total, lo cual, pudo incidir en la formación de las estructuras celulares y, por consiguiente, de la generación de nueva biomasa, afectando adversamente el proceso.

Con relación a cada una de las etapas del proceso, se encontró que la etapa termofílica es la que rige el proceso, dada la influencia de la temperatura sobre la cinética, incrementado la degradación del sustrato (Kumar *et al.* 2010), ya que

Tabla 2. Tasa Utilización de Sustrato (TUS), para cada nivel de OD evaluado.

Tasa Reactor	Tasa Utilización del Sustrato - TUS (d ⁻¹)				Tasa de consumo de oxígeno -TCO (mg Lh ⁻¹)			Tasa de crecimiento de biomasa -TCB (d ⁻¹)						
	E. meso-fílica	E. termofílica	E. Enfriamiento	TUS total	E. meso-fílica	E. termofílica	E. Enfriamiento	E. meso-fílica	E. termofílica	E. Enfriamiento	E. meso-fílica	E. termofílica	E. Enfriamiento	TCB Total
R1-OD <0,5mg L ⁻¹	0,019±0,012	0,080±0,015	0,005±0,010	0,026±0,002	0,10-3,20	3,20-3,77	3,701-3,1440	0,177±0,032	0,261±0,024	0,133±0,014	0,274±0,025	0,318±0,027	0,261±0,015	0,013±0,0016
R2-OD- 1,0mg L ⁻¹	0,037±0,009	0,075±0,010	0,058±0,017	0,100±0,008	13,92-20,14	35,23-54,28	29,06-29,06	0,274±0,025	0,318±0,027	0,261±0,015	0,274±0,025	0,318±0,027	0,261±0,015	0,020±0,020
R3-OD- 1,5mg L ⁻¹	0,085±0,009	0,112±0,013	0,096±0,006	0,122±0,008	25,48-34,29	44,27-52,08	24,24-41,65	0,385±0,019	0,486±0,017	0,406±0,018	0,385±0,019	0,486±0,017	0,406±0,018	0,027±0,019
R4-OD- 2,0mg L ⁻¹	0,143±0,004	0,162±0,002	0,135±0,008	0,186±0,001	32,36-33,83	30,29-53,57	19,18- 24,2	0,576±0,026	0,691±0,009	0,584±0,013	0,576±0,026	0,691±0,009	0,584±0,013	0,024±0,025
R5-OD- 2,5mg L ⁻¹	0,143±0,008	0,170±0,002	0,136±0,005	0,213±0,011	22,95-29,58	47,53-51,20	25,97-28,97	0,591±0,015	0,698±0,012	0,459±0,012	0,591±0,015	0,698±0,012	0,459±0,012	0,062±0,025

Tabla 3. Resumen de los resultados.

Parámetro	Unidad	ROD <0,5mg L ⁻¹	ROD 1,0mg L ⁻¹	ROD 1,5mg L ⁻¹	ROD 2,0mg L ⁻¹	ROD 2,5mg L ⁻¹
pH	Unidades	3,40 ± 0,12	5,92 ± 0,14	5,68 ± 0,18	8,43 ± 0,05	8,42 ± 0,03
Demanda química de oxígeno- DQO	mg L ⁻¹	62540,00 ± 232,46	41283,69 ± 236,43	40207,02 ± 119,45	37782,00 ± 24,79	35107,00 ± 187,34
Demanda química de oxígeno filtrada- DQO	mg L ⁻¹	16135,32 ± 107,54	10651,19 ± 98,31	10373,41 ± 145,72	9747,76 ± 112,56	9057,61 ± 103,48
Demanda biológica de oxígeno-DBO	mg L ⁻¹	21920,27 ± 119,45	14469,93 ± 114,06	14092,56 ± 89,03	12142,59 ± 124,60	10805,00 ± 135,87
Carbono orgánico total-COT	mg L ⁻¹	49,50 ± 2,58	178,20 ± 2,38	415,80 ± 1,54	643,50 ± 1,41	742,50 ± 1,28
Nitrógeno total	mg L ⁻¹	69,30 ± 3,54	207,90 ± 3,89	514,80 ± 2,75	108,90 ± 2,17	99,00 ± 2,25
Amonio	mg L ⁻¹	58,29 ± 1,65	71,32 ± 3,18	94,29 ± 2,5	73,83 ± 0,87	83,04 ± 0,07
Relación C/N	-----	0,71 ± 0,12	0,86 ± 0,51	0,81 ± 0,23	5,91 ± 0,04	7,50 ± 0,08
Fósforo (P)	mg L ⁻¹	9,90 ± 1,1	9,90 ± 1,7	9,90 ± 1,5	2,97 ± 0,13	1,98 ± 0,15
Potasio (K)	%BH	1,30 ± 0,04	1,36 ± 0,06	1,47 ± 0,12	0,71 ± 0,04	0,35 ± 0,06
Carbohidratos	0,01	1,73 ± 0,23	1,21 ± 0,06	1,18 ± 0,07	0,86 ± 0,02	0,54 ± 0,02
Celulosa	%BH	0,42 ± 0,01	0,42 ± 0,01	0,42 ± 0,01	0,41 ± 0,01	0,41 ± 0,01
Lignina	%BH	1,52 ± 0,01	1,52 ± 0,01	1,49 ± 0,01	1,49 ± 0,01	1,49 ± 0,01

BH: Base húmeda.

temperaturas, entre 45 y 55°C, maximizan la tasa de biodegradación (Tang *et al.* 2007), donde se presentan las mayores TUS, TCO y TCB (tabla 2) y un crecimiento exponencial de biomasa, como se evidencia con la TCB. Por otra parte, tanto la etapa mesofílica como de enfriamiento, presentaron TUS menores, a la percibidas en la etapa termofílica, lo que se asocia a que está estrictamente determinada por los constituyentes del sustrato, dadas las diferentes tasas de velocidad (Liwarska *et al.* 2002).

En la tabla 3, se resumen los resultados encontrados para ambas concentraciones, al final del ensayo.

El pH al final del ensayo, como consecuencia de las diferentes concentraciones de OD estudiadas, muestra que para el grupo iii, los valores son básicos, debido a la dinámica de transformación del nitrógeno, por la formación del amoníaco (de Guardia *et al.* 2008). En contraste, en los reactores con concentraciones de OD de los grupos i y ii, se observan valores ácidos, lo cual, indica que la concentración de OD afecta el proceso, al igual que cuando se excede la concentración de OD, como lo describe Soto *et al.* (2015). El producto, como se muestra en la tabla 3, muestra un contenido de materia orgánica, que se evidencia con relaciones de DBO₅/DQO, entre 0,31 y 0,35. Esto también se asocia a la presencia de material de lenta biodegradación, como la lignina y la celulosa, cuya biodegradación no ocurre a una misma tasa. Por otra parte, las relación C/N, para el grupo iii, es similar a las reportadas en estudios realizados por Gómez *et al.* (2015).

En todos los grupos, se evidenció un bajo contenido de fósforo, lo que reduce las posibilidades de tener un proceso eficiente, debido a las potenciales limitaciones en los procesos metabólicos esenciales, como el crecimiento, la síntesis celular y los requerimientos de energía, que se realizan a partir de este macronutriente, precisando mejorar las características fisicoquímicas, en términos de nutrientes del sustrato, a través de alternativas, como el co-compostaje, que permita tratar diferentes tipos de residuos, con la finalidad de darle un valor agregado, cerrar ciclos y minimizar la contaminación. Con relación al potasio, se encontró que su elevado contenido es acorde con lo reportado por Oviedo *et al.* (2014) y se asocia a las cáscaras de plátano, presentes en el BOM.

Analizados los resultados, se concluye que los BOM se caracterizan por presentar un elevado contenido de materia orgánica y la simulación, a escala de laboratorio, del proceso de compostaje, es viable. En esta investigación, se evidenció la necesidad de prolongar el ensayo a tiempos superiores a 15 días. Adicionalmente, se probó que concentraciones de OD, entre 2,0 y 2,5mg/L, generan condiciones óptimas para la biodegradabilidad aerobia de los BOM, favoreciendo

la actividad microbiológica, durante cada una de las etapas estudiadas del proceso y la consecución de un material más estable, al terminar la etapa de enfriamiento; de igual forma, fue posible determinar que concentraciones de OD, por debajo de 1,5mg L⁻¹, limitan, considerablemente, la actividad biológica, durante la etapa termofílica, impidiendo, de esta forma, la utilización del sustrato y la estabilización del material obtenido, al terminar el proceso.

Agradecimientos: Los autores agradecen al Departamento de Ciencia Tecnología e investigación COLCIENCIAS, por la beca de Jóvenes Investigadores Convocatoria 2014, del profesional Jonathan Soto Paz y a la Universidad del Valle.

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 la Universidad del Valle, en el proyecto con CI 2811 "Aprovechamiento de subproductos a partir de la digestión biológica de residuos sólidos de origen municipal".

BIBLIOGRAFÍA

1. ABDULKARIM, B.; ABDULLAHI, M. 2010. Effect of buffer (NaHCO₃) and waste type in high solid thermophilic anaerobic digestion. *Int. J. Chem Tech. Res.* 2(2):980-984.
2. ADANI, F.; UBBIALLI, C.; GENERINI, P. 2005. The determination of biological stability o composts using the dynamic respiration index: the results of experience after two years. *Waste Managem.* 26:41-48.
3. APHA; AWWA; WEF. 2005. Standard methods for the examination of water wastewater. 21 ed. Washington DC: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environ.
4. BARREIRA, L.; PHILIPPI, A.; RODRIGUES, M. 2006. Usinas de compostagem do Estado de São Paulo: qualidade dos compostos e processos de produção. *Eng. Sanit. Ambient.* 11:385-393.
5. BARRENA, R.; ARTOLA, A.; FONT, X.; GEA, T.; POGNANI, M.; PONSÁ, S.; COLÓN, J.; RUGGIERI, L.; SÁNCHEZ, A. 2013. La respirometría como herramienta para la clasificación de la biodegradabilidad de residuos orgánicos. Resultados de la experiencia de 10 años. Grupo e Investigación en ompostaje, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Autònoma e Barcelona. España. p.12-19.

6. CHEN, X.; ROMANO, R.T; ZHANG, R. 2010. Anaerobic digestion of food wastes for biogas production. *Agric. Biol. Eng.* 3:61-71.
7. CHIUMENTI, A.; CHIUMENTI, R.; DÍAZ, L.; SAVAGE, G.; EGGERTH, L.; GOLDSTEIN, N. 2005. *Modern composting technologies*. BioCycle-JG Press, Emmaus, PA. 12:1774-1782.
8. DE GUARDIA, A.; PETIOT, C.; ROGEAU, D. 2008. Influence of aeration rate and biodegradability fractionation on composting kinetics. *Waste Managem.* 28:73-84.
9. DIAZ, L.; SAVAGE, G. 2007. Chapter 4. Factors that affect the process. *Waste Managem.* 8:49-65.
10. ESPINOSA, L.; LÓPEZ, T.; PELLÓN, A.; MAYARÍ, N.; FERNÁNDEZ, C.A. 2007. La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos como fuente potencial de producción de biogás. *Cienc. Biol.* 38:33-37.
11. GÓMEZ, M.; JUÁREZ, M. INSAM, H. 2015. Merging two waste streams, wood ash and biowaste, results in improved composting process and end products. *Science Total Environm.* 511:91-100.
12. GUO, R.; LI, G.; JIANG, T.; SCHUCHARDT, F.; CHEN, T.; ZHAO, Y.; SHEN, Y. 2012. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresource Techn.* 112:171-178.
13. HE, L.; HUANG, G.; LU, H. 2011. Greenhouse gas emissions control in integrated municipal solid waste management through mixed integer bilevel decision-making. *Hazard. Mat.* 193:112-119.
14. HOORNWEG, D.; BHADA, P. 2012. *What a waste: Waste management around the world*. Washington, DC: World Bank. p.9-15.
15. IQBAL, M.K.; SHAFIQ, T.; HUSSAIN, A.; AHMED, K. 2010. Effect of enrichment on chemical properties of MSW compost. *Biores. Techn.* 101:5969-5977.
16. KOMILIS, D.P. 2015. Compost quality: Is research still needed to assess it or do we have enough knowledge? *Waste Managem.* 38:1-2.
17. KUMAR, M.; OU, Y.-L.; LIN, J.-G. 2010. Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio. *Waste Managem.* 30:602-609.
18. LI, Z.; LU, H.; REN, L.; HE, L. 2013. Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review. *Chemosphere.* 93:1247-1257.
19. LIN, Y.; HUANG, G.; LU, H.; HE, L. 2008. Modeling of substrate degradation and oxygen consumption in waste composting processes. *Waste Managem.* 28:1375-1385.
20. LIWARSKA, E.; BIZUKOJC, M.; LEDAKOWICZ, S. 2002. Kinetics of the aerobic biological degradation of shredded municipal solid waste in liquid phase. *Water Res.* 36:2124-2132.
21. MASON, I.; MILKE, M. 2005. Physical modelling of the composting environment: A review. Part 1: Reactor systems. *Waste Managem.* 25:481-500.
22. NEKLYUDOV, A.; FEDOTOV, G.; IVANKIN, A. 2008. Intensification of composting processes by aerobic microorganisms: A review. *Applied Biochem. Microb.* 44:6-18.
23. OVIEDO, E.; MARMOLEJO REBELLÓN, L.; TORRES LOZADA, P. 2014. Influencia de la frecuencia de volteo para el control de la humedad de los sustratos en el compostaje de biorresiduos de origen municipal. *Rev. Int. Contam. Ambiental.* 30:91-100.
24. RASAPOOR, M.; NASRABADI, T.; KAMALI, M.; HOVEIDI, H. 2009. The effects of aeration rate on generated compost quality, using aerated static pile method. *Waste Managem.* 29:570-573.
25. RICHARD, T.; WALKER, L.; GOSSETT, J. 2006. Effects of oxygen on aerobic solid-state biodegradation kinetics. *Biotechnol. Progress.* 22:60-69.
26. SOTO, J.; TORRES, P.; OVIEDO, R.; MARMOLEJO, L.; ZAMBRANO, P. 2015. Influence of pH and nutrients on the aerobic biodegradability of municipal biowastes. *Rev. AFINIDAD.* 72:572-585.
27. STENTIFORD, E.; DE BERTOLDI, M. 2010. Composting process. En: Cristensen, T. (ed.) *Solid Waste Technology and Management*. Vol 1-2. Blackwell Publ. Ltd. 1052p.
28. STERLING, Jr.; LACEY, R.; ENGLER, C.; RICKE, S. 2001. Effects of ammonia nitrogen on H₂ and CH₄ production during anaerobic digestion of dairy cattle manure. *Biores. Tech.* 77:9-18.

29. TANG, J.; SHIBATA, A.; ZHOU, Q.; KATAYAMA, A. 2007. Effect of temperature on reaction rate and microbial community in composting of cattle manure with rice straw. *J. Biosci. Bioeng.* 104:321-328.
30. TOGNETTI, C.; MAZZARINO, M.; LAOS, F. 2007. Improving the quality of municipal organic waste compost. *Biores. Techn.* 98:1067-1076.
31. TORRES, P. 2013. Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo. *Rev. EIA.* 9:115-129.
32. TROSCHINETZ, A.; MIHELICIC, J. 2009. Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries. *Waste Managem.* 29:915-923.
33. VAN HAANDEL, A.; VAN DER LUBBE, J. 2007. *Handbook biological waste water treatment.* Quist Publ., Leidschendam, The Netherlands. 570p.
34. VERBEKE, G.; MOLENBERGHS, G. 2009. *Linear mixed models for longitudinal data,* Springer Sc & Business Media. p.1-12
35. YUN, Y.S.; PARK, J.I.; PARK, J.M. 2005. High-rate slurry-phase decomposition of food wastes: indirect performance estimation from dissolved oxygen. *Process Biochem.* 40:1301-1306.

Recibido: Junio 23 de 2015

Aceptado: Septiembre 25 de 2015

Cómo citar:

Soto, J.; Torres, P.; Barba, L.E.; Marmolejo, L.F.; Torres, W.A.; Guzmán, M.A.; Perea, L.M. 2015. Efecto del oxígeno disuelto sobre la biodegradabilidad de biorresiduos. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 485-495.

DENSITY OF DOMESTIC PIGEONS (*Columba livia domestica* GMELIN, 1789) IN THE NEW PUBLIC MARKET OF SINCELEJO, SUCRE, COLOMBIA

DENSIDAD DE PALOMA DOMÉSTICA (*Columba livia domestica* GMELIN, 1789) EN EL NUEVO MERCADO PÚBLICO DE SINCELEJO, SUCRE, COLOMBIA

Carmen Villalba-Sánchez¹, Alejandro De La Ossa-Lacayo², Jaime De La Ossa V.³

¹Zootecnista, Maestría en Ciencias Ambientales. Universidad de Sucre – SUE, Caribe, Colombia, e-mail: carmenvillabasanchez@gmail.com; ²Ecólogo, Magister, Grupo de Investigación en Biodiversidad Tropical. Universidad de Sucre, Colombia, e-mail: alejandrolaossa@yahoo.com; ³Ph.D., Grupo de Investigación en Biodiversidad Tropical, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Sucre, Colombia, calle 13 A N° 20-45, Apto. 402. Edif. El Cairo. Barrio Ford. Sincelejo, Sucre, Colombia, e-mail: jaimedelaossa@yahoo.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 497-502, Julio-Diciembre, 2015

SUMMARY

The present study determined the population density of *Columba livia domestica* in the new market of Sincelejo, Sucre, Colombia. It is known that, when populations of this species increase excessively, a serious public health problem is created that must be dealt with in order to avoid the transmission of zoonotic diseases. In the city of Sincelejo, especially in the study area, the magnitude of this species' population is unknown, as is the case in many cities in Colombia where this bird has become a serious environmental threat. For ten continuous days, between 06:00 and 08:00, fixed point sampling was used with timed counts; likewise, measurements were taken for the noise levels found in the study area. There were no statistical differences for the population detected in each sampling site for the ten sampling days or the study sites and hours. The estimated population was 257 individuals with a SD= 10.7; the estimated density was 574 ind/km²; the peak noise levels fluctuated between 68.2 and 83.5 decibels. The calculated density was lower when compared to other studies but higher than the density that has been established as harmful for this species in urban populations. During the sampling hours, the noise levels found in the population were high but tolerable. Population studies of this species in urban environments are necessary in order to implement management plans and programs that prevent the possible proliferation of zoonotic diseases.

Key words: Abundance, Columbiformes, urban environment, Sucre.

RESUMEN

El presente trabajo determinó la densidad poblacional de *Columba livia domestica* en el nuevo mercado de la ciudad de Sincelejo, Sucre, Colombia. Se conoce que cuando las poblaciones de esta especie se incrementan desmedidamente, se convierte en un serio problema de salud pública, que debe ser atendido, para evitar la transmisión de enfermedades zoonóticas. En Sincelejo, especialmente en la zona de estudio, se tenía desconocimiento de la magnitud de su población, al igual que sucede para muchas otras ciudades de Colombia, en donde esta ave es una seria amenaza ambiental. Durante diez días continuos, entre las 06:00 y las 08:00 horas, con conteos cronometrados, se aplicó el método de muestreos en punto fijo; igualmente, se hicieron medidas de los niveles de ruido existente en el área de trabajo. No se determinaron diferencias estadísticas para la población detectada en cada sitio de muestreo, ni durante los diez días de muestreo, ni entre los sitios de trabajo y los horarios. La población estimada fue 257 individuos, con una DS= 10,7, la densidad estimada fue de 574 ind/km²; los niveles sonoros máximos oscilaron entre 68,2 y 83,5 decibeles. La densidad calculada es menor al compararla con otros estudios, pero sobrepasa la densidad establecida como nociva, para esta especie, en poblaciones urbanas; durante el horario de muestreo, los niveles de ruido que soportó la población se establecen como altos y tolerables. Los estudios poblacionales de esta especie, en ambientes urbanos, se hacen necesarios para poder implementar planes o programas de manejo, que eviten posibles proliferaciones zoonóticas.

Palabras clave: Abundancia, columbiformes, ambiente urbano, Sucre.

INTRODUCTION

The domestic pigeon (*Columba livia domestica*) is a columbiform that has a average size between 30.5 and 35.5cm, with a medium-sized tail that has a blackish tip and a creamy-white base, reddish or pinkish paws, and amber eyes, and that are dark when juvenile. The color of the plumage can vary greatly between individuals and there is no sexual dimorphism between males and females. The base pattern is gray with two large, black bands on the wings, a black band at the tip of the tail, a white rump and purple and green iridescence on the neck. However, the majority of individuals have other colors, from white or whitish with irregular red or black markings on the primary feathers and a white tail. The weight oscillates between 180 and 355g (Del Hoyo *et al.* 1997; Gómez de Silva *et al.* 2005). It is a diurnal species found in natural habitats and nests in coastal cliffs or high inland areas. In urban environments, it tends to congregate in flocks that can number in the hundreds. Habitually, they move, fly, and perch together. They stay on roofs, ledges, drainage ducts, lofts, and attics, where they construct nests of dry branches and grass that are placed on a simple base. The male protects the female and the nest, ensuring the survival of the offspring (Johnston, 1992; Olalla *et al.* 2009).

Reproductively, it is known that, eight to twelve days after mating, the female lays one or two eggs that hatch eighteen days later. The offspring leave the nest at six weeks of age. These short reproductive periods, added to the ability to mate year-round, explain, in part, the abundance of this species' populations (Olalla *et al.* 2009).

According to Del Hoyo *et al.* (1997), this species originated from a wide area of Eurasia and Africa; specifically, its original distribution in Africa was: Cape Verde, Guinea, Mauritania, and Senegambia; in Asia: China: Gansu, Jilin and Shanxi; in Europe: Spain, the Canary islands, Great Britain, Portugal, the Madeira Islands, and the Azores Islands; in the Pacific: Australia and New Zealand (Gómez de Silva *et al.* 2005). This species, also known as the common pigeon or rock pigeon, is considered an introduced species that has been domesticated and raised in homes as an ornamental bird (Escalante *et al.* 1996; Ojasti, 2001; Méndez-Mancera *et al.* 2013).

Nevertheless, after being domesticated in captivity, they have returned to the wild, seeking refuge and food in diverse locations (Méndez-Mancera *et al.* 2013). According to the IUCN, this species is listed as of least concern; it has no special status under the US Migratory Bird Act, the US Federal List, or CITES. However, according to Mathews (2005), it is identified as one of the worst urban birds of the world due to its effects, which include structural damage and zoonotic risks.

Bernal *et al.* (2012) concluded that, among the bigger problems caused by pigeons, there is the corrosion caused by the accumulation of excrement, which affects the historical architecture of cities. In addition, this species can carry around 40 zoonotic diseases, with 30 diseases that can be transmitted to humans and 10 diseases that be transmitted to domestic animals, causing public health problems (Pfeiffer & Ellis, 1992; Ordóñez & Castañeda, 1994). Generally, these diseases are transmitted by the dry excrement, through transport by air or direct contact (Pfeiffer & Ellis, 1992; Ordóñez & Castañeda, 1994).

The domestic pigeon is a carrier for more than 60 ectoparasites, which include siphonaptera and mites, possibly contaminating and affecting human health with their feathers and dust. Some of the diseases that are related to pigeons include salmonellosis, psittacosis, cryptococcosis, aspergillosis, listeriosis, staphylococci and dermatosis, among others (Caicedo *et al.* 1996; Toro, 2000; Olalla *et al.* 2009).

Since they group together in large flocks, generally in zones of high human traffic such as plazas or markets, they affect motor and foot traffic. Their nesting in residential roofs produces bothersome noise that can even affect nighttime rest (CONABIO, 2012). In addition, this bird presents a medium risk for airports (Garmendia-Zapata *et al.* 2011).

According to Olalla *et al.* (2009), pigeons have fulfilled a role as messengers along with use in recreation, tourism, therapy and decoration, when the populations were controlled, that is to say: low number of individuals, ideal locations, and optimal health conditions. On the other hand, when they are found in large numbers in urban areas, they become a pest capable of transmitting disease, contaminating food and damaging structures, resulting in large economic losses. The common pigeon has created a serious urban problem, leading to it being called a "rat with wings." This species is considered a harmful vertebrate (CONABIO, 2012). Nevertheless, in Chile, they contribute to the dispersion of some thistle species, whose fruits they consume (Mann, 2008).

In Colombia, there are few studies related to this species (Méndez-Mancera *et al.* 2013) and the current population of most cities is unknown (Baptiste & Múnera, 2010). Villalba-Sánchez & De La Ossa-Lacayo (2014) confirmed that there still exists a lack of information for this species in anthropic environments, which must be remedied for epidemiological and ecological areas to deal with the negative consequences this bird can generate.

The present study determined the population density of *C. livia domestica* in the new market of Sincelejo, Sucre, Colombia, as a first step in creating subsequent guidelines for the environmental management that has become necessary due to the possible effects this bird can generate.

MATERIALS AND METHODS

Study area. This study was carried out in the new public market in Sincelejo, Sucre, Colombia. This market constructed in 2000, is located at 9°17'41''N and 75°23'11''W in the south of the city, and has a total area of 44,800m², with an open area of 14,000m² represented by broad causeways (Figure 1). This area, like in all of Sincelejo, does not have an environmental plan in place for the control of domestic pigeon populations or for the sanitation of said populations.

Sampling. Total sampling was used (Feninger, 1983; Geupel *et al.* 1992; Gregory *et al.* 2004; Torres *et al.* 2006) for ten days in the dry season between the 1st and 10th of January, 2015 in four strategic sites with simultaneous sampling (Figure 1) using open areas where the birds usually look for food. One session was used per day, between 06:00 and

08:00, with three counts at 06:00, 07:00, and 08:00 and one observer per site at a distance of 15m. The study hours were chosen based on the fact that the majority of feeding activity occurs early in the morning (Olalla *et al.* 2009) and that the feeding rhythms are more robust than the locomotion rhythms (Chabot & Menaker, 1992).

According to Verner & Milne (1989), simultaneous and timed sampling in fixed points guarantees the absence of samples moving between the sampling sites, in addition it takes into account the gregarious nature of this species, which demonstrates a high degree of congregation and the permanence of individuals within the groups (Olalla *et al.* 2009). At the same time, during the ten days of the study, the noise levels were measured in the study area with two daily readings at 07:00 and 08:00 using a Svan 971 ® sound level meter.



Figure 1. New Market. The numbers refer to the fixed sampling points (Google earth, free-version 5.0).

Data analysis. The comparison of the density between the sampling sites, study days and hours was carried out with an ANOVA of the repeated measurements and a Kruskal-Wallis test with a significance level of 0.05. Likewise, the gross density was estimated (Krebs, 1989; Zar, 1998; Marques *et al.* 2007), for which the total population was established with the sum of the means of each sampling site multiplied by the total number of sampling sites, for an area of 44,800m².

RESULTS AND DISCUSSION

The number of individuals registered per hour and per sampling site can be seen in table 1.

When applying the ANOVA for the repeated measurements, there were no statistically significant differences for the number of individuals in the four sampling sites $F(36, 42.092)=1.3411, p=0.17916$; there were also no significant variations in the number of individuals for the sampling sites during the study when the Kruskal-Wallis test was applied: $H(10, N=11)=10.00, p=0.4405$. When comparing the study hours with the population detected in each of the four sampling sites, no statistical differences were determined with the Kruskal – Wallis test: $H(2, N=3)=2.00, p=0.3679$.

According to the registered means, there was a population of 257 individuals (SD=10.7). The estimated total density

Table 1. Number of pigeons registered per hour, day, and sampling site for the new market in Sincelejo.

Hour	Day	Sampling site			
		1	2	3	4
06:00	1	65	72	49	81
06:00	2	63	68	54	82
06:00	3	60	72	56	80
06:00	4	59	74	58	81
06:00	5	58	69	55	79
06:00	6	65	63	54	76
06:00	7	62	68	52	75
06:00	8	62	70	60	80
06:00	9	57	68	54	77
06:00	10	56	71	63	81
07:00	1	62	70	55	80
07:00	2	60	72	54	81
07:00	3	54	73	52	79
07:00	4	53	65	53	78
07:00	5	60	64	49	75
07:00	6	62	66	48	80
07:00	7	65	69	47	81
07:00	8	60	66	52	74
07:00	9	58	71	55	74
07:00	10	56	72	53	79
08:00	1	49	70	52	74
08:00	2	49	65	55	73
08:00	3	47	62	56	72
08:00	4	60	62	59	71
08:00	5	63	63	52	75
08:00	6	60	68	51	72
08:00	7	49	65	49	74
08:00	8	50	66	47	78
08:00	9	55	69	45	79
08:00	10	54	97	50	80
Mean		58	69	53	77
SD		5	6	4	3

was 57.36ind/ha. The density seen in this study was lower than the range of 75 to 225ind/ha determined for the city of Buenos Aires, Argentina (Feninger, 1983), but higher than the values reported by Senar & Sol (1991) for Barcelona, Spain, where 9.78ind/ha were seen with a non-stratified census along with a range of 8.14 to 28.49ind/ha with stratified sampling, without a correlation factor and with a correlation factor, respectively. Nevertheless, a density over 4ind/ha is considered harmful and presents a serious environmental problem; however, this number can vary according to the environmental characteristics of the location (Botanical on line, 2014).

In nature, the values vary notably. In Spain, the Proyecto Alas (Wings Project) by Nerpio (2013) estimated a density of 0.006ind/ha, which agreed with Olalla *et al.* (2009) and Bernal *et al.* (2012), who regarded this species as invasive, one that had successfully established itself in urban environments due to the fact that it had encountered suitable shelter and available food sources in these areas. Furthermore, according to Johnston (1992) and Olalla *et al.* (2009), the relative absence of predators has allowed large-scale increases in populations, as seen in the present research and in similar studies in urban zones (Feninger, 1983; Senar & Sol, 1991). The environmental conditions of a location influence the population abundance (Olalla *et al.* 2009; Bernal *et al.* 2012); the new market in Sincelejo offers food that enables a comparatively elevated density as seen in this study, which also occurs in other locations in this city, as well as in other cities in Colombia and the world (Gómez de Silva *et al.* 2005; Mann, 2008; Bernal *et al.* 2012).

The noise levels mainly result from automobiles. In the sampling hours and in the four study sites, the noise levels were similar and oscillated between 68.2 and 83.5 decibels. The noise level found in the present study area does not disturb the activity of the pigeons despite the high level. Feninger (1983) reported that the noise from motorized vehicles in a study area reached values between 80 and 110 decibels without provoking visible reactions in the mentioned species, which agrees with the results of the present study.

Taking into account the fact that *C. livia domestica* is regarded as a pest species that generates various negative effects, especially on human health (Pfeiffer & Ellis, 1992; Ordóñez & Castañeda, 1994; Bernal *et al.* 2012), recording its density, especially in areas such as public markets, is a priority for environmental management, which has become necessary for urban populations (Semarnat, 2009).

Without a doubt, the high population density that was recorded in the present study for the public market, a place that mostly contains foods, led to the conclusion that this population could have a large, negative impact on sanitation, especially since there are no control plans or population management strategies in place.

This study led to the recommendations that, in general, population control measures that are based on eliminating individuals are not very effective, rather, as indicated by Senar *et al.* (2009), it is better to focus on control methods based on the limiting factors of this species, that is, the availability of food and nesting areas. In order to make elimination an effective method, at least 30% of the population must be sacrificed (Senar *et al.* 2009).

For example, in Perugia, Italy, the pigeon population was reduced by 23% in one year by simply closing the ventilation openings in buildings with metal sheeting, thereby reducing the availability of nesting areas (Ragni *et al.* 1996). In Basel, Switzerland, controlling the amount of food offered by citizens reduced the pigeon population by 50% in one year (Haag-Wackernagel, 1995). In both cases, low-cost measures were taken that were effective and that could be applied to the new public market of Sincelejo.

Conflicts of interest: This manuscript was prepared and revised with the participation of all of the authors, who declare that there are no conflicts of interest that would affect the validity of the present results.

BIBLIOGRAPHY

- BAPTISTE, M.P.; MÚNERA, C. 2010. Análisis de riesgo para especies introducidas de vertebrados terrestres en Colombia (anfibios, reptiles, aves y mamíferos). En: Baptiste M.P.; Castaño, N.; Cárdenas, D.; Gutiérrez, F.P.; Gil, D.L.; Lasso, C.A. (eds). Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (Bogotá, Colombia). p.149-199.
- BERNAL, L.; RIVAS, M.; RODRÍGUEZ, C.; VÁSQUEZ, C.; VÉLEZ, M.P. 2012. Nivel de impacto de la sobrepoblación de palomas (*Columba livia domestica*) en los habitantes del perímetro del parque Principal del Municipio de Envigado en el año 2011. Available from internet in: <http://marthanellymesag.weebly.com/uploads/6/5/6/5/6565796/palomas.pdf> (accessed 28/08/2014).
- BOTANICAL ON LINE. 2014. La paloma como plaga. Available from Internet in: http://www.botanical-online.com/animales/paloma_plaga.htm (accessed 20/11/2014).
- CAICEDO, L.D.; ÁLVAREZ V., M.I.; LLANOS, C.E.; MOLINA, D. 1996. *Cryptococcus neoformans* en excretas de palomas del perímetro urbano de Cali. Colombia Médica (Colombia). 27:106-109.
- CHABOT, C.C.; MENAKER, M. 1992. Circadian feeding and locomotor rhythms in pigeons and house sparrows. J. Biol. Rhythms. (USA). 7(4):287-99.
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD -CONABIO-. 2012. Fichas de especie *Columba livia*. Sistema de información sobre especies invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F. (México). 15p.
- DEL HOYO, J.; ELLIOT, A.; SARGATAL, J. 1997. Handbook of the birds of the world. Vol. 4. Sandgrouse to Cuckoos. Lynx Ediciones, Barcelona. (España). 679p.
- ESCALANTE P., B.P.; SADA, A.M.; ROBLES G., J. 1996. Listado de nombres comunes de las aves de México. CONABIO/Sierra Madre. México, D.F. (México). 32p.
- FENINGER, O. 1983. Estudios cuantitativos sobre aves en áreas urbanas de Buenos Aires con densa población humana. El Hornero (Argentina). 12(1):174-191.
- GARMENDIA-ZAPATA, M.; LÓPEZ, A.A.; MUÑOZ IZAGUIRRE, P.; MARTÍNEZ GADEA, A. 2011. Estudio sobre peligro aviario: análisis del riesgo de impactos entre aves y aeronaves en el Aeropuerto Internacional Augusto C. Sandino, Managua, Nicaragua. La Calera (Nicaragua). 11(16):33-42.
- GEUPEL, G.R.; HOWELL, S.N.G.; PYLE, P.; WEBB, S. 1992. Ornitología de Campo Tropical, curso de identificación de aves neotropicales y métodos de monitoreo de sus poblaciones. Centro de Aves Migradoras de la Smithsonian Institution, U. S. Fish and Wildlife Service. Point Reyes Bird Observatory, Stinson Beach, California. (USA). 45p.
- GÓMEZ DE SILVA, H.; OLIVERAS DE ITA, A.; MEDELLÍN, R.A. 2005. *Columba livia*. Vertebrados superiores exóticos en México: diversidad, distribución y efectos potenciales. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB -CONABIO. Proyecto U020. México. D.F. (México). 6p.
- GREGORY, R.D.; GIBBONS, D.W.; DONALD, P.F. 2004. Bird census and survey techniques. En: Sutherland, W.J.; Newton, I.; Green, R.E. (eds): Bird Ecology and Conservation - A Handbook of Techniques. Oxford University Press Inc. New York. (USA). p.17-52.
- HAAG-WACKERNAGEL, D. 1995. Regulation of the street pigeon in Basel. Wildl. Soc. Bull. (USA). 23:256-260.
- JOHNSTON, R.F. 1992. Rock Pigeon (*Columba livia*). En: Poole, A. (ed.). The Birds of North America. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca. Available from Internet in: <http://bna.birds.cornell.edu/bna/species/013> (accessed 10/06/2014).

16. KREBS, C.J. 1989. Ecological methodology. Harper Collins, New York. (USA). 653p.
17. MANN, A. 2008. Vertebrados dañinos en Chile: desafíos y perspectivas. Actas del Seminario Taller 8. Enero de 2008. Universidad Santo Tomás, Santiago de Chile. Available from Internet in: http://www2.sag.gob.cl/Pecuaria/bvo/BVO_11_I_semestre_2010/PDF_articulos/vertebrados_exoticos_daninos_en_chile.pdf (accessed 23/06/2014).
18. MARQUES, T.A.; THOMAS, L.; FANCY, S.G.; BUCKLAND, S.T. 2007. Improving estimates of bird density using multiple covariate distance sampling. *Auk* (USA). 124:1229-1243.
19. MATHEWS, S. 2005. Sudamérica Invadida. Programa Mundial sobre Especies Invasoras- GISP. El creciente peligro de las especies exóticas invasoras. Unesco. (Uruguay) 80p.
20. MÉNDEZ-MANCERA, V.M.; VILLAMIL JIMÉNEZ, L.C.; BUITRAGO MEDINA, D.A.; SOLER-TOVAR, D. 2013. La paloma (*Columba livia*) en la transmisión de enfermedades de importancia en salud pública. *Rev. Cien. Anim.* (Colombia). 6:177-194.
21. OJASTI, J. 2001. Estrategia Regional de Biodiversidad para los países del Trópico Andino. Especies exóticas invasoras. Convenio de cooperación CAN-BID, Caracas. (Venezuela). 64p.
22. OLALLA, A.; RUIZ, V.; RUIVALCABA, I.; MENDOZA, R. 2009. Palomas, especies invasoras. *CONABIO. Biodiversitas* (México). 82:7-10.
23. ORDÓÑEZ, N.; CASTAÑEDA, E. 1994. Serotipificación de aislamientos clínicos y del medio ambiente de *Cryptococcus neoformans* en Colombia. *Biomédica* (Colombia). 14:131-139.
24. PROYECTO ALAS PARA NERPIO. 2013. II Censo Coordinado de aves en los Noguerales de Nerpio. Available from Internet in: www.turismoernerpio.com/.../informe-censo-aves-de-los-noguerales-2013. (accessed 10/10/2014).
25. PFEIFFER, T.J.; ELLIS, D.H. 1992. Environmental isolation of *Cryptococcus neoformans* var. *gattii* from *Eucalyptus tereticornis*. *J. Med. Vet. Mycol.* (UK). 30:407-408.
26. RAGNI, B.; VELATTA, F.; MONTEFAMEGLIO, M. 1996. Restrizione dell'habitat per il controllo della popolazione urbana di *Columba livia*. En: Control of Synanthropic bird populations: problems and prospectives: WHO/FAO. Roma. (Italia). p.106-110.
27. SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES –SEMARNAT-. 2009. Plan de Manejo Tipo de Palomas Dirección General de Vida Silvestre, México. Available from Internet in: www.semarnat.gob.mx (accessed 10/10/2014).
28. SENAR, J.C.; SOL, D. 1991. Censo de Palomas *Columbia livia* var. de la ciudad de Barcelona: Aplicación del muestreo estratificado con factor de corrección. *Bull. GCA* (USA). 8:19-24.
29. SENAR, J.C.; CARRILLO, V.; ARROYO, L.; MONTALVO, T.; PERACHO, V. 2009. Estima de la abundancia de palomas (*Columba livia* var.) de la ciudad de Barcelona y valoración de la efectividad del control por eliminación de individuos. *Arxius de Miscellània Zoològica* (España). 7:62-71.
30. TORO, H. 2000. Palomas: Historia, presencia en Chile y riesgos asociados. *Tecno Vet.* (Chile). 6:20-23.
31. TORRES, M.; QUINTEROS, Z.; TAKANO, F. 2006. Variación temporal de la abundancia y diversidad de aves limícolas en el refugio de vida silvestre Pantanos de Villa, Perú. *Ecol. Apl.* (Perú). 5(1-2):119-125.
32. VERNER, J.; MILNE, K.A. 1989. Coping with sources of variability when monitoring population trends. *Ann. Zool. Fennici* (Finlandia). 26:191-200.
33. VILLALBA-SÁNCHEZ, C.; DE LA OSSA-LACAYO, A. 2014. *Columba livia domestica* Gmelin, 1789: plaga o símbolo. *Rev. Col. Cienc. Anim.* 6(2):424-433.
34. ZAR, J.H. 1998. Biostatistical analysis. Prentice Hall. (USA). 662p.

Received: 17 April 2015

Accepted: 3 July 2015

How to cite (Cómo citar):

Villalba-Sánchez, C.; De La Ossa-Lacayo, A.; De La Ossa V., J. 2015. Density of domestic pigeons (*Columba livia domestica* GMELIN, 1789) in the new public market of Sincelejo, Sucre, Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 497-502.

VEHICLE COLLISIONS WITH WILD FAUNA ON THE TWO ROADS THAT PASS THROUGH THE MONTES DE MARÍA, SUCRE, COLOMBIA

ATROPELLAMIENTO DE FAUNA SILVESTRE EN LAS DOS VÍAS QUE CIRCUNDAN LOS MONTES DE MARÍA, SUCRE, COLOMBIA

Orlando De La Ossa-Nadjar¹, Jaime De La Ossa V.²

¹ Magister en Ciencias Ambientales. SUE-Caribe, Universidad de Sucre, Colombia, e-mail: o.delaossa@hotmail.com ² Ph.D., Grupo de Investigación en Biodiversidad Tropical. Universidad de Sucre, Colombia. Calle 13ª N° 20-45 Apto. 402, Edif. El Cairo, Barrio Ford, Sincelejo, Sucre, e-mail: jaimedelaossa@yahoo.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 503-511, Julio-Diciembre, 2015

ABSTRACT

The present study aimed to identify and quantify the wild fauna that is struck by vehicles on the two principal roads that run through the Montes de María in the department of Sucre, Colombia. This study addressed some of the environmental problems that are affecting the dry tropical forest area that is still found in this Caribbean zone of Colombia. Between October of 2011 and March of 2012, encompassing the dry and the rainy seasons, on the roads between Sincelejo – San Onofre and between Sincelejo – Ovejas, 608 vehicle-struck or “road-kill” specimens were collected, which were identified to the extent possible (order, family, genus, species). A Fisher test and analysis of variance were used to analyze the data. The vehicle-struck fauna were found on the principal roads that run through the Montes de María in the department of Sucre in this study and had notable representation from the following: amphibians (*Rhinella marina*, *Leptodactylus bolivianus*, *Scinax* sp.); reptiles (*Leptodeira septentrionalis*, *Pseudoboa neuwiedii*, *Epicrates cenchria*, *Oxyrhopus petola*, *iguana iguana*, *Kinosternon scorpioides*, *Trachemys callisrostris*); and mammals (*Didelphis marsupialis*, *Tamandua mexicana*, *Cerdocyon thous*), with a total of 253, 219 and 111 specimens, respectively. The dry season had more vehicle-struck specimens, with a high percentage seen on both roads, which may have been related to the scarcity of food in this season, forcing the animals to travel longer distances and cross the roads.

Key words: Collisions, native fauna, dry forest, Caribbean, Sucre.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue identificar y cuantificar la fauna silvestre atropellada en las dos principales vías que rodean los Montes de María, en el departamento de Sucre, Colombia. Este estudio aborda parte de la problemática ambiental que afecta la zona circundante del bosque seco tropical, que aún persiste en esta zona del Caribe colombiano. Entre octubre de 2011 y marzo de 2012, época de lluvia y de sequía en las vías: Sincelejo–San Onofre y Sincelejo–Ovejas, se recolectaron 608 especímenes atropellados; a los especímenes colectados, se les realizó la identificación, hasta donde fue posible (orden, familia, género, especie). Para el análisis de datos, se aplicó el test de Fisher y análisis de varianza. Entre la fauna silvestre atropellada, que mayormente prevaleció en las principales vías que rodean los Montes de María, en el departamento de Sucre, durante las épocas de lluvias y sequía, se destacan: anfibios (*Rhinella marina*, *Leptodactylus bolivianus*, *Scinax* sp.); reptiles (*Leptodeira septentrionalis*, *Pseudoboa neuwiedii*, *Epicrates cenchria*, *Oxyrhopus petola*, *iguana iguana*, *Kinosternon scorpioides*, *Trachemys callisrostris*) y mamíferos (*Didelphis marsupialis*, *Tamandua mexicana*, *Cerdocyon thous*), con un total de 253, 219 y 111 especímenes, respectivamente. La época, que tuvo mayor prevalencia de atropellamientos, fue la de sequía. El alto porcentaje de atropellamientos evidenciado en la época de seca –para ambas vías–, se puede relacionar con la escasez de alimento, ya que los animales se ven obligados a recorrer mayores distancias exponiéndose a la carretera.

Palabras clave: Colisión, fauna nativa, bosque seco, Caribe, Sucre.

INTRODUCTION

Road networks are vital to the socioeconomic development of regions because they allow for improvements in the quality of life of local inhabitants, facilitate the transport of people, and are used to carry products to market (Arroyave *et al.* 2006). However, roads also impact the ecology of the areas they pass through; for example, they alter the hydric cycle, increase the production of particulate material and noise, decrease the population of flora and fauna, create microclimate changes, and contaminate the soil and water (Arroyave *et al.* 2006; Messmer *et al.* 2008). Furthermore, roads can isolate and fragment the habitat of diverse populations of plants and animals, the latter of which must cross these roads, which increases the probability that they will be struck by a vehicle (Messmer *et al.* 2008).

Several studies that have been conducted in South America, Europe, and the United States have revealed disturbing data for the number of vehicle-struck animals and the threat that this situation represents for some species that are in danger of extinction (Aresco, 2005; Rosa & Mahus, 2005; Gumier & Sperber, 2009). Studies carried out by Pinowski (2005) indicated that there are patterns for vehicle-struck animals that are related to the type of vegetation, climatic conditions, and the behavior of these species, with a high incidence of vehicle strikes in opossums (*Didelphis marsupialis*), foxes (*Cerdocyon thous*) and various snake species, among others.

It has been documented that vehicle strikes with wild fauna occur in relation to climatic periods because they coincide with reproduction periods and the low availability of food, which increase the probability that animals will cross roads, thereby generating higher probabilities for vehicle strikes, a grave situation for species that are endangered or that have a restricted distribution (Erritzoe *et al.* 2004; Langley *et al.* 2006; Ramp *et al.* 2006; Glista *et al.* 2009). The rapid development of cities and increases in human populations have increased road networks, giving rise to a new cause of animal mortality that has become an increasingly greater threat for the affected species (Arroyave *et al.* 2006).

All roads, in addition to facilitating transport, commerce, and development, affect terrestrial and aquatic ecosystems in the following ways: a) they increase the mortality of organisms when constructed and the mortality of animals that are commonly struck on the roads; b) alter animal behavior; c) change the chemical makeup of the environment and d) serve as a corridor for the dispersion of foreign species and increase the alteration or use of natural habitats by humans (Trombulak & Frissell, 2000). Cupul (2002) described certain patterns of seasonal behavior, such as courtship, migration, reproduction, mating, abundance of animals, and the search for food, among others, that make it possible for there to

be a higher or lower quantity of dead animals on roads in determined periods of the year.

In Colombia, there have been few studies that have measured the frequency of vehicle strikes on roads (Arroyave *et al.* 2006; Delgado, 2007; Vargas-Salinas *et al.* 2011), usually there are only journalistic reports. It is clear that vehicle strikes decrease the population of wild fauna, interfere with the flow of genetics and trophics, and debilitate the natural system, factors that lead to local extinction over time (Gumier & Sperber, 2009). The present study allowed for the comparative identification and quantification of the mortality of wild fauna that results from vehicle strikes on the two principal roads that pass through the Montes de María, Sucre, Colombia: between Sincelejo–San Onofre and between Sincelejo–Ovejas.

MATERIALS AND METHODS

Study area: Two roads in the department of Sucre, Colombia were studied. One of the roads is a principal western artery between the points: 9°15'36'' N and 75°24'12'' W - 9°31'55'' N and 75°13'14'' W and connects the populations of Sincelejo and Ovejas, and the other road is a branch from the western artery between the points: 9°15'36'' N and 75°24'12'' W - 9°52'19'' N and 75°23'08'' W and connects the city of Sincelejo to the village of San Onofre. Neither road has illumination on the majority of their routes. They have an average width of 8m and are relatively flat. Both of the studied sections are paved and lack signs or infrastructure for the protection of the wild fauna (Figure 1).

Method: Between October of 2011 and March of 2012, which included a dry season and a rainy season, simultaneous and continuous samples of vehicle-struck fauna were taken. The paved roads included 62.71km between Sincelejo and San Onofre and 36.59km between Sincelejo and Ovejas. The protocol established by Hawbaker & Radeloff (2004), Arroyave *et al.* (2006), Coffin (2007), and Gumier & Sperber (2009), was followed.

The tasks included: placing six observers along the roads, three per section, who visually searched for animals found on the road and the shoulder during the hours of Monday to Saturday from 5 am to 9am, traveling at an average speed of 15km/h on motorcycles; the collected specimens were photographed and geo-referenced for location; subsequently, they were taken to the wild fauna office, Fauna Silvestre de CARSUCRE, where they were identified taxonomically; the following toll booths were used to count the vehicles and quantify the traffic volumes: la Esperanza, located in the municipality of Toluviejo (road between Sincelejo - San Onofre); and Las Flores, located in the municipality of Corozal (road between Sincelejo - Ovejas).



Figure 1. Study zone. 1= Sincelejo-Ovejas, 2= Sincelejo-San Onofre (Google Earth, free version).

For each collection, when the conditions allowed it, the sex and maturity stage were identified. Depending on the state they were found in, the samples were systematically identified as much as possible. For the analysis of the data, a Fisher test and analysis of variance with confidence intervals of 95% were applied (Zar, 1999).

RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 contains a list of the vehicle-struck species by road. The majority of the vehicle-struck species was found on the Sincelejo – Ovejas road, rather than the Sincelejo - San Onofre road. Table 2 shows the percentages of vehicle-struck animals by taxon during the two seasons of the year, independent of the sampled road, and table 3 presents the percentage of vehicle-struck fauna by taxon for each of the studied roads.

For the herpetofauna, on both roads, the dry season months (February and March) presented the higher number of vehicle-struck specimens; however, in the dry season, the Sincelejo – Ovejas road had the highest number in November and the Sincelejo – San Onofre road had the highest number in October. For birds, especially on the Sincelejo – Ovejas road, the collisions increased in November, at the end of the rainy season, and, between January and February, during the

dry season. For mammals, on both roads, the vehicle strikes increased in the rainy season and decreased on both roads in the dry season; the vehicle strikes increased as the rainy season progressed and the decrease in the measurements was more intense in the dry season.

In general, the herpetofauna was the taxonomic group that suffered the most vehicle strikes, which agreed with the results of Ramo & Busto (1986), Grosselet *et al.* (2008) and Seijas *et al.* (2013). Among the herpetofauna, when analyzing the list of vehicle-struck species, the amphibians presented a numeric value that contrasted with the low relative diversity that this group possesses in this region (Acosta-Galvis *et al.* 1999), with 18 species in the department of Sucre (Lynch *et al.* 1997; Lynch & Suarez, 2001).

In the present study, although the amphibians were the group with the highest volume of vehicle strikes, only three species were identified: *Rhinella marina*, *Leptodactylus bolivianus* and *Scinax* sp, which may have been related to feeding patterns. For example, *Rhinella marina* has a diet with a high content of terrestrial insects, which are abundant in open areas with deposits of organic plant material and land depressions that form small ponds, as seen on the shoulders of the roads and as seen with other vertebrates (Waide, 1991). Likewise, mobility was a factor; the amphibian species with

Table 1. List of all of the species of the vehicle-struck wild fauna on the Sincelejo – Ovejas and Sincelejo –San Onofre roads. The IUCN category status is included (International Union for the Conservation of Nature) (2010): NE= Not evaluated; LC= Low concern; NT= Threatened; VU= Vulnerable.

Taxon	Species	Common name	Status	Roads		Total
				Sincelejo-Ovejas	Sincelejo-San Onofre	
Amphibians	<i>Rhinella marina</i>	Sapo Común	LC	133	76	209
	<i>Scinax</i> sp.	Rana		1	0	1
	<i>Leptodactylus bolivianus</i>	Saltona	LC	5	2	7
	Non identified Amphibians.			11	25	36
	Total Amphibians			150	103	253
Reptiles	<i>Boa constrictor</i>	Boa	NE	2	2	4
	<i>Bothrox asper</i>	Mapaná	NE	1	1	2
	<i>Chironius carinatus</i>	Cazadora	NE	3	2	5
	<i>Clelia clelia</i>	Bibora	NE	0	1	1
	<i>Epicrates cenchria</i>	Candelilla	NE	2	14	16
	<i>Helicops danieli</i>	Mapaná de Agua	NE	2	7	9
	<i>Imantodes cenchoa</i>	Bejuquillo	NE	7	9	16
	<i>Leptodeira ahaetulla</i>	Bejuquillo	NE	0	0	0
	<i>Leptodeira annulata</i>	Coral	NE	3	2	5
	<i>Leptodeira septentrionalis</i>	Ojo de gato	NE	22	32	54
	<i>Leptodeira</i> sp.	Bejuquillo	NE	1	0	1
	<i>Liophis lineatus</i>	Guarda Camino	NE	1	8	9
	<i>Liophis melanotus</i>	Guarda Camino	NE	1	1	2
	<i>Liophis</i> sp.	Coral		1	0	1
	<i>Mastigodrias pleei</i>	Cazadora	NE	1	0	1
	<i>Micrurus</i> sp.	Coral	NE	0	2	2
	<i>Oxyrhopus petola</i>	Gargantilla	NE	2	8	10
	<i>Phimophis guianensis</i>	Culebrita	NE	7	1	8
	<i>Pseudoboa neuwiedii</i>	Coralito	NE	10	6	16
	<i>Spilotes pullatus</i>	Cazadora	NE	1	0	1
	<i>Caiman crocodilus</i>	Babilla	LC	0	1	1
	<i>Iguana iguana</i>	Iguana	LC	7	7	14
	<i>Kinosternon scorpioides</i>	Tapa Culo	LC	4	11	15
	<i>Trachemys callirostris</i>	Hicotea	VU	1	1	2
	Non identified snakes			10	14	24
	Total Reptiles			89	130	219
Birds	<i>Buteo magnirostris</i>	Gavilán	LC	4	2	6
	<i>Buteo nitidus</i>	Gavilán	LC	1	0	1
	<i>Buteo</i> sp.	Gavilán		0	1	1
	<i>Campylorhynchus griseus</i>	Chupa huevo	LC	3	0	3

Continuation Table 1.

	<i>Cathartes aura</i>	Laura	LC	1	0	1
	<i>Columba domestica</i>	Paloma		0	1	1
	<i>Coragyps atratus</i>	Golero	LC	1	0	1
	<i>Milvago chimachima</i>	Pigua	LC	1	2	3
	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Chicha Fria	LC	1	0	1
	<i>Thraupis episcopus</i>	Azulejo	LC	3	1	4
	<i>Tyrannus melancholicus</i>	Garrochero	LC	1	0	1
	Non identified Birds			2	0	2
	Total birds			18	7	25
Mammals	<i>Cerdocyon thous</i>	Zorra Perro	LC	5	43	48
	<i>Conepatus semistriatus</i>	Zorrillo	LC	1	0	1
	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zorra Chucha	LC	41	3	44
	<i>Puma yagouarundi</i>	Gato pardo	LC	1	0	1
	<i>Rattus sp.</i>	Rata		2	2	4
	<i>Speothos venaticus</i>	Perro de Monte	NT	0	1	1
	<i>Sylvilagus floridanus</i>	Conejo	LC	0	1	1
	<i>Tamandua mexicana</i>	Oso Hormiguero	LC	3	1	4
	Non identified mammals			4	3	7
	Total Mammals			57	54	111
	Total specimens			314	294	608

Table 2. Vehicle-struck wild fauna by taxon, according to the season and independent of the road.

Season	Amphibians		Reptiles		Birds		Mammals		Total	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Rainy	82	13,5	101	16,6	10	1,6	46	7,6	239	39,3
Dry	171	28,1	118	19,4	15	2,5	65	10,7	369	60,7
Total	253	41,6	219	36,0	25	4,1	111	18,3	608	100

Table 3. Vehicle-struck wild fauna by taxon on the two roads that pass through the Montes de María in the department of Sucre, Colombia.

Roads	Amphibians		Reptiles		Birds		Mammals		Total	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Sincelejo-Ovejas	150	24,7	89	14,6	18	3,0	57	9,4	314	51,6
Sincelejo-San Onofre	103	16,9	130	21,4	7	1,1	54	8,9	294	48,4
Total	253	41,6	219	36,0	25	4,1	111	18,3	608	100

the most vehicle strikes had a low range of movements and had terrestrial habits. The high percentage of strikes could be attributable to their vagility and opportunistic behavior and their use of the roads as a travel corridor (Vargas-Salinas *et al.* 2011).

When looking at the struck species by taxon, *Rhinella marina* had the highest position, both for its group and for all of the vehicle-struck fauna; this species has been reported as the most vehicle-struck species on Neotropical roads (Becerril-Morales, 2001; Vargas-Salinas *et al.* 2011; Omena-Junior *et al.* 2012). The vehicle strikes could be favored by the border effect (Kattan, 2002) because a species that colonizes borders is generally attracted to the favorability of barriers and changes in the trophic dynamic of a system, which increase the population of the species and, therefore, its exposure to the effects of roads.

For birds, it was observed that they were mostly opportunistic with scavenger characteristics, which made them more susceptible to vehicle strikes due to their foraging behavior (Arroyave *et al.* 2006). Of the birds, the scavengers Cathartidae and Falconidae suffered vehicle strikes because they were attracted to the roads in order to consume the dead animals found there (Noss, 2002); in addition, they were attracted by the organic waste left on the roads, which provided a opportunistic food source for them (Cupul, 2002).

For the insectivore mammal species, such as *Tamandua mexicana*, their presence among the vehicle-struck species was attributed to their formicivorous diets and to their possible increase in roadside foraging. In these open spaces, there is an increase in the accumulation of organic matter from weeds and litterfall, which results in an elevated presence of invertebrates, as indicated by Waide (1991).

Cerdocyon thous, in this study, had the highest number of vehicle strikes among the mammals and ranked third overall (Delgado, 2007). This species has a broad and opportunistic diet, making it a carnivorous scavenger (Vieira, 1996). Individuals of this species are frequently observed on the roads and it is one of the species with a higher number of vehicle-strike deaths in some low-lying areas of South America (Pinowski, 2005), as was seen in the present study.

Didelphis marsupialis, the mammal species with the second highest number of vehicle strikes, is an omnivore with opportunistic feeding habits. It has been recorded as a commonly vehicle-struck species on the roads of Antioquia, Colombia (Delgado, 2007); the high frequency of collisions could be related to its abundance (Delgado, 2007). This species has also been identified as the most vehicle-struck species for the fauna found on a road in the Amazon of Brazil (Omena-Junior *et al.* 2012). According to Pinowski (2005),

D. marsupialis is also frequently struck in low-lying areas, as seen in the present study.

The results of this study, in which the herpetofauna was the fauna with the most vehicle strikes, differed from findings for Brazil in which: the Br-262 road in Mato Grosso do Sul and the BR-174 road in the Amazon, on which mammals had the highest representation, followed by birds, and amphibians and reptiles had low numbers (Lima, 2012; Omena-Junior *et al.* 2012). However, these results agreed with those of Grosselet *et al.* (2008) for Tehuantepec, México. The fact that the reptiles belonged to the group with the most vehicle strikes agreed with the studies conducted by Seijas *et al.* (2013) and Ramo & Busto (1986) for Venezuela and were similar to the results of studies conducted by Vargas-Salinas *et al.* (2011) in Colombia.

The adjacent habitats and the ecological formation of the roads influence the probability of vehicle strikes for determined zoological groups and also play an important role in the conservation of the existing plant matrix as well as the fundamental aspects of the distribution of the species and their population attributes. Furthermore, the collection schedule demonstrated that most of the samples came from nocturnal animals, which may suffer vehicle strikes due to the effect of headlight glare.

The analysis of variance confirmed that the factors of season and animal (taxon) had a statistically significant effect on the number of vehicle-struck animals and the road factor was statistically significant. On the other hand, the interactions: season x animal class, season x road, road x animal class, and season x road x animal class, were not statistically significant (Table 4).

For the vehicle-struck animals by taxon, the Fisher test demonstrated that there was a statistically significant difference between the means of vehicle-struck animals by taxon: birds, herpetofauna and mammals, with the herpetofauna being the animal class that suffered the most vehicle strikes (Table 5).

The season influenced the vehicle strikes; in this case, there were statistically significant differences, with more collisions in the dry season. Furthermore, the climatic factors influenced the availability of food and the reproductive period, which in turn influenced the number of vehicle strikes (Grosselet *et al.* 2008); similarly, foliage cover is related to the season, where the end of the rainy season and the start of the dry season see a higher production of wild fruits; the phenological periods also notably affect the composition, structure, and dynamic of ecosystems (Quigley & Platt, 2003). For Venezuela, Seijas *et al.* (2013) found that the transitional months between the dry season and the rainy season show a higher frequency

Table 4. Analysis of variance for the number of vehicle-struck animals, considering three fixed factors: season, road, animal class.

Factors	SS	DF	MS	F	p-level
Main effects					
A:Season	513,778	1	513,778	5,74	0,0247
B:Road	9,0	1	9,0	0,10	0,7539
C:Taxon	9271,5	2	4635,75	51,81	0,0000
Interactions					
AB	53,7778	1	53,7778	0,60	0,4457
AC	487,389	2	243,694	2,72	0,0859
BC	5,16667	2	2,58333	0,03	0,9716
ABC	19,0556	2	9,52778	0,11	0,8994
Residuals	2147,33	24	89,4722		
Total	12507,0	35			

Table 5. Means estimated with squared minimums for the number of vehicle-struck animals by animal class with confidence intervals of 95.0%.

Level	Cases	Media	Error Est.	Low limit	Upper limit
Global media	36	17,1667			
Animal class (Taxon)					
Birds	12	2,16667	2,73057	-3,46897	7,8023
Herpetofauna	12	39,4167	2,73057	33,781	45,0523
Mammals	12	9,91667	2,73057	4,28103	15,5523

of vehicle strikes, while Omena-Junior *et al.* (2012) did not find significant differences between rainfall and vehicle strikes throughout the year, which was attributable to the environmental characteristics of the studied zone, a tropical wet Amazon forest with abundant hydric resources year-round.

A traffic flow of 10,217 vehicles/day was seen on the Sincelejo - Ovejas road and 1,543 vehicles/day on the Sincelejo - San Onofre road; the number of vehicles that passed over the two roads had significant differences ($p=0.049$), but there were no significant differences between the two roads in terms of the number of vehicle strikes for the number of vehicles that passed over the road ($p=0.7450$).

Seiler (2003) proposed a model that has an indicator, Mean Daily Traffic (MDT), that points to a relatively low mortality when it is low, $\leq 2,500$ per day, and to a high mortality when it is average, between 2,500 and 10,000. The results of the present study did not agree with those of Seiler (2003) because when using the Mean Daily Traffic to compare

the two roads, the vehicle strikes did not have significant differences, although there was a significant difference in the number of vehicles that passed over each road/day.

It is important to mention that these results probably underestimated the dimension of the problem considering the fact that the scavenger birds, as well as the mammals, humans, and traffic flow may have displaced the carcasses (Grosselet *et al.* 2008). Not all of the vehicle-struck individuals were detected; some were not visible on the road because the collision may have knocked them from the road or injured them, after which they would have left the road; therefore, the actual mortality could be much higher (Bafaluy, 2000). The mortality of the fauna in the roads could be affecting the faunal species because the application of protection measures that would minimize the impact are difficult to implement, as is raising awareness in people of the damage that can be caused by their vehicles, especially when driven inappropriately (Bafaluy, 2000; Clevenger *et al.* 2003; Taylor & Goldingay, 2004).

Conflicts of interest: This manuscript was prepared and revised with the participation of all of the authors, who declare that there is no conflict of interest that would put the validity of these results in danger.

BIBLIOGRAPHY

1. ACOSTA-GALVIS, A.R.; CUENTAS, D.; COLOMA, L. 1999. Una nueva especie de *Colostethus* (Anura: Dendrobatidae) de la región del Caribe de Colombia. *Rev. Acad. Col. Cienc. Exactas Fís. Nat.* 23(Sup. Es):225-230.
2. ARESCO, M. 2005. The effect of sex-specific terrestrial movements and roads on the sex ratio of freshwater turtles. *J. Biol. Cons. (USA)*. 123:37-44.
3. ARROYAVE, M.; GÓMEZ, C.; GUTIÉRREZ, M.; MÚNERA, D.; ZAPATA, P.; VERGARA, I. 2006. Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *Rev. EIA (Colombia)*. 1(5):45-57.
4. BAFALUY, J.J. 2000. Mortandad de murciélagos por atropello en carreteras del sur de la provincia de Huesca. *Galemys (España)*. 12(1):15-23.
5. BECERRIL-MORALES, F. 2001. Sapos atropellados: mortalidad no natural del sapo marino (*Rhinella marina*; Bufonidae), en Puerto Angel, Oaxaca. *Ciencias y Mar (México)*. 5(13):47-52.
6. CLEVENGER, A.P.; CHRUSZCZ, B.; GUNSON, K.E. 2003. Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biol. Conserv. (USA)*. 109:15-26.
7. COFFIN, A. 2007. From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *J. Transp. Geo. (USA)*. 15:396-406.
8. CUPUL, F. 2002. Víctimas de la carretera: fauna apachurrada. *Gaceta CUC. Departamento de Ciencias. Centro. Universitario de la Costa. México*. 10p.
9. DELGADO, V.C.A. 2007. Muerte de mamíferos por vehículos en la vía del Escobero, Envigado (Antioquia), Colombia. *Actual Biol (Colombia)*. 29 (87):229-233.
10. ERRITZOE, J.; MAZGAJSKI, T.; REJT, L. 2004. Bird casualties on European roads - a review. *Acta Ornithol. (USA)*. 38(2):1-9.
11. GLISTA, D.; DEVAULTY, T.; DEWOODYZ, J.A. 2009. Review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. *J. Landsc. Urb. Plan. (Netherlands)*. 91:1-7.
12. GROSSELET, M.; VILLA-BONILLA, B.; RUIZ MICHAEL, G. 2008. Afectaciones a vertebrados por vehículos automotores en 1.2 km de carretera en el istmo de Tehuantepec. *Proceedings of the Fourth International Partners in Flight Conference: Tundra to Tropics (Canada)*. 1:227-231.
13. GUMIER, F.; SPERBER, C. 2009. Atropelamientos de vertebrados na Floresta Nacional de Carajás, Pará, Brasil. *Acta Amazon. (Brasil)*. 39(2):459-466.
14. HAWBAKER, T.; RADELOFF, V. 2004. Roads and landscape pattern in Northern Wisconsin based on a comparison of four road data sources. *J. Cons. Biol (USA)*. 18:1233-1244.
15. KATTAN, G. 2002. Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies. En: Guariguata, M.R.; Kattan, G. (Eds.). *Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales. Libro Universitario Regional. (Cartago, Costa Rica)*. p.561-590.
16. LANGLEY, R.; HIGGINS, S.; HERRIN, K. 2006. Risk factors associated with fatal animal-vehicle collisions in the United States, 1995-2004. *Wild Env Med (USA)*. 17(4):229-239.
17. LIMA, S. 2012. BR 262 continua palco de atropelamento de animais em extinção. *Capital do Pantanal: Jornal Online, Noticia Regional*, 26 de junho. Disponible desde internet en <http://capitaldopantanal.com.br/cdp/regional/14785.html> (con acceso 27/06/2012).
18. LYNCH, J.D.; SUAREZ, M.A.M. 2001. The distribution of the gladiator frogs (*Hyla boans* group) in Colombia, with comments on size variation and sympatry. *Caldasia (Colombia)*. 23(2):491-507.
19. LYNCH, J.D.; RUIZ-CARRANZA, P.M.; ARDILA-ROBAYO, M.C. 1997. Biogeographic patterns of Colombian frogs and toads. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales (Colombia)*. 21(80):237-248.
20. MESSMER, T.; DEER, J.; HUM, C. 2008. Vehicle collision statistics and mitigation information: online sources (USA). 2(1):131-135.

21. NOSS, R. 2002. The ecological effects of roads. Disponible desde internet en <http://www.eco-action.org/dt/roads.html> (con acceso 10/06/2005).
22. OMENA-JUNIOR, R.; PANTOJA-LIMA, J.; SANTOS, A.L.W.; RIBEIRO, G.A.A.; ARIDE, P.H.R. 2012. Caracterização da fauna de vertebrados atropelada na rodovia BR – 174, Amazonas, Brasil. *Rev. Col. Ciencia Animal*. 4(2):291-307.
23. PINOWSKI, J. 2005. Roadkills of Vertebrates in Venezuela. *Rev. Bras. Zool.* 22(1):191-196.
24. QUIGLEY, M.F.; PLATT, W.J. 2003. Composition and structure of seasonally deciduous forests in the Americas. *Ecological Monographs (USA)*. 73:87-106.
25. RAMO, C.; BÚSTO, B. 1986. Influencia de las carreteras sobre la mortalidad de la fauna silvestre en el área Guanare-Masparro. *Rev. Unellez Ciencia y Tecnología (Venezuela)*. 4:33-38.
26. RAMP, D.; WILSON, V.; CROFT, D. 2006. Assessing the impacts of roads in peri-urban reserves: Road-based fatalities and road usage by wildlife in the Royal National Park, New South Wales, Australia. *J. Biol. Cons. (USA)*. 129(3):348-359.
27. ROSA, A.; MAHUS, J. 2005. Atropelamientos de animais silvestres na rodovia RS-040. *Ver. Cad. Pesq. Biol. (Brasil)*. 16 (1):35-42.
28. SEIJAS, A.E.; ARAÚJO-QUINTERO, A.; VELÁSQUEZ, N. 2013. Mortalidad de vertebrados en la carretera Guanare-Guanarito, Estado Portuguesa, Venezuela. *Rev. Biol. Trop. (Costa Rica)*. 61 (4):1619-1636.
29. SEILER, A. 2003. Ecological Effects of roads – a review. Department of Conservation Biology, Swedish University of Agricultural Sciences, Introductory Research Essay 9. Uppsala (Sweden). 42p.
30. TAYLOR, B.D.; GOLDINGAY, R.L. 2004. Wildlife roadkills on three major roads in North-Eastern New South Wales. *Wildlife Res. (Australia)*. 31:83-91.
31. TROMBULAK, S.; FRISSELL, C. 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conserv. Biol. (USA)*. 14:18-30.
32. VARGAS-SALINAS, F.; DELGADO-OSPINA, I.; LÓPEZ-ARANDA, F. 2011. Mortalidad por atropello vehicular y distribución de anfibios y reptiles en un bosque subandino en el occidente de Colombia. *Caldasia*. 33(1):121-138.
33. VIEIRA, E.M. 1996. Highway mortality of mammals in central Brazil. *J. Braz. Assoc. Advanc. Sci.* 48:270-272.
34. WAIDE, R.B. 1991. Summary of the response of animal populations to hurricanes in the Caribbean. *Biotropica (USA)*. 23:508-512.
35. ZAR, J. 1999. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall. 4ª edición. New Jersey (USA). 663p.

Received: 27 May 2015

Accepted: 22 July 2015

How to cite (Cómo citar):

De La Ossa-Nadjar, O.; De La Ossa V., J. 2015. Vehicle collisions with wild fauna on the two roads that pass through the Montes de María, Sucre, Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 503-511.

APROXIMACIÓN A LA GESTIÓN TERRITORIAL RURAL DESDE UN MODELO DE ORDENAMIENTO AGROAMBIENTAL

APPROACH TO THE RURAL LAND MANAGEMENT, FROM A MODEL OF AGRI-ENVIRONMENTAL PLANNING

Adriana Posada Arrubla¹, Hanner Yesid Ramírez Poveda²

¹ Economista Agrícola, Esp. Gestión Social y Ambiental, M.Sc. Planeación Urbana y Regional, Docente Facultad Ingenierías. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, calle 222 #55-37, Bogotá, D.C., Colombia, e-mail: aposada@udca.edu.co; ² Líder Comunitario Bajo Sumapaz, Joven investigador U.D.C.A, Ingeniero Geógrafo y Ambiental. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, calle 222 No.55-37, Bogotá, D.C., Colombia, e-mail: haramirez@udca.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 513-523, Julio-Diciembre, 2015

RESUMEN

En Colombia aún existe un importante potencial en las comunidades rurales para gestar, desde su territorio, modelos de ordenamiento agroambiental, que permitan lograr un desarrollo sostenible, no sólo a escala local sino regional. Es el caso del territorio rural de Usme, en Bogotá, que se destaca por su riqueza ambiental, pero que requiere apoyos, de diversa índole, para hacer posible el mejoramiento de la calidad de vida del campesinado. Asunto que se puede potenciar con el diseño cartográfico a escala supramunicipal de un modelo, como el que se presenta, utilizando las bases del ordenamiento ambiental.

Palabras clave: Gestión ambiental, ordenamiento territorial, desarrollo rural, modelo rural.

SUMMARY

In Colombia there is still a significant potential within rural communities to gestate from their territory models of agri-environmental systems that allow to achieve sustainable development, not only at the local, but also the regional level. This is the case of the rural territory of Usme in Bogota, which stands out for its environmental wealth, but which requires support of various kinds to make the improvement of the quality of life of the habitants possible. Issue that can be enhanced with the cartographic design at supra-municipal level of a model as it is presented here, using the bases of environmental system management.

Key words: Environmental management, land management, rural development, rural model.

INTRODUCCIÓN

La capital de Colombia cuenta con una gran extensión rural, pero las políticas sucesivas de favorecimiento al desarrollo urbano han traído consecuencias que ocasionan desequilibrios para el campesinado. Los conflictos por el uso actual y potencial del territorio, impactan la estructura ambiental y social de las ruralidades. Las nuevas dinámicas urbano-rurales exigen prever los conflictos territoriales, considerando los intereses intrínsecos de quienes por años, han sentido, como parte de su deber ser, el hacer posible un desarrollo sostenible (Posada, 2009). Es un desafío mundial, la preservación de los recursos naturales y agrícolas y la integración de los productores a los mercados nacionales o globales, al tiempo que se les brinde mejores oportunidades, herramientas y facilidades (Ayala Ortiz *et al.* 2008). En esa misma vía, Carvajal Sánchez (2011) plantea la necesidad de rescatar una política en la que se construya el territorio, a través de la reivindicación identitaria o la exigencia de derechos por parte de los actores sociales.

En Colombia, la mayoría de las experiencias de tipo agroambiental, promovidas por la política pública, incorporan uno o varios criterios agroambientales, ligados a prácticas de menor impacto, sin que su actividad pase a ser de tipo alternativo o sostenible (Bustamante, 2013). Para Garay Salamanca *et al.* (2013) resulta necesaria y conveniente la adopción de un modelo de desarrollo rural con enfoque territorial, que propenda por una progresiva inclusión social y un reconocimiento del campesinado como agente social, productivo y político, para la transformación de la ruralidad en Colombia. Según Bustamante (2013), en el país no existe una política agroambiental explícita; sin embargo, se han incorporado

elementos legislativos de tipo ambiental al quehacer agropecuario. Lo que ha existido son iniciativas sectoriales o intersectoriales que promueven sistemas o prácticas agrarias, para el mejoramiento de las relaciones producción agraria-conservación ambiental, las cuales, surten una serie de procesos hacia la formulación e implementación de planes, de programas o de proyectos.

Para Posada (2014), no es suficiente con una serie de planes, se requiere un impulso más para la verdadera acción. Este impulso, se puede dar en la construcción colectiva del modelo de ordenamiento que la comunidad desea, en este caso, el modelo de OAA, pero según Mera Chará & Galindo Lucas (2005), diversos modelos de desarrollo propugnan la consecución de una sociedad próspera y civilizada, como consecuencia lógica de una base de recursos naturales, abundantes y variados, asunto que en Colombia se exceptúa como consecuencia de factores externos, como la demanda de productos agrícolas. La FAO (2014), por su parte, sostiene que el ejercicio de la planificación en el sector agroambiental es fundamental, ya que a través de la planificación, se definen también las responsabilidades relativas a la conducción y la operación de las medidas agroambientales.

Aquí encajan los principios de ordenamiento agroambiental, los cuales, según Mateus Moreno & Rojas Salazar (2013), son una herramienta de planeación, que concreta los proyectos de ordenación y de manejo del territorio, desde un enfoque comunitario y se complementa con el criterio de Sepúlveda *et al.* (2003), para quienes la complejidad de la estructura económica de un territorio rural, supera con creces el concepto de agricultura ampliada y de cadenas agroalimentarias, que amerita un enfoque territorial holístico. Ejercicios comparativos, como el realizado por la Universidad del Rosario (2012), demuestran que para lograr un desarrollo económico es imprescindible respetar, como soporte regional, a la base natural ambiental, que propicia la disponibilidad hídrica, lo que se convierte, a su vez, en una estrategia que posiciona a los territorios en un escalafón de competitividad integral.

Aproximarse a la gestión territorial rural, desde un modelo de ordenamiento agroambiental, en adelante OAA, es una invitación que se hace a través de este escrito, recreando esta idea, en el caso específico de la ruralidad de Usme-Bogotá, donde el deterioro ambiental se agudiza, debido a la inadecuada planificación de actividades agropecuarias, a la presión urbana sobre los ecosistemas regionales allí existentes, que hacen parte de la estructura ecológica principal y a la falta de una concreción en la acción colectiva, lo cual, se suma al llamado de Torres Lima *et al.* (2011), por una convergencia entre la evaluación de riesgos climáticos locales, la vulnerabilidad de sistemas agrícolas y las capacidades adaptativas de las poblaciones.

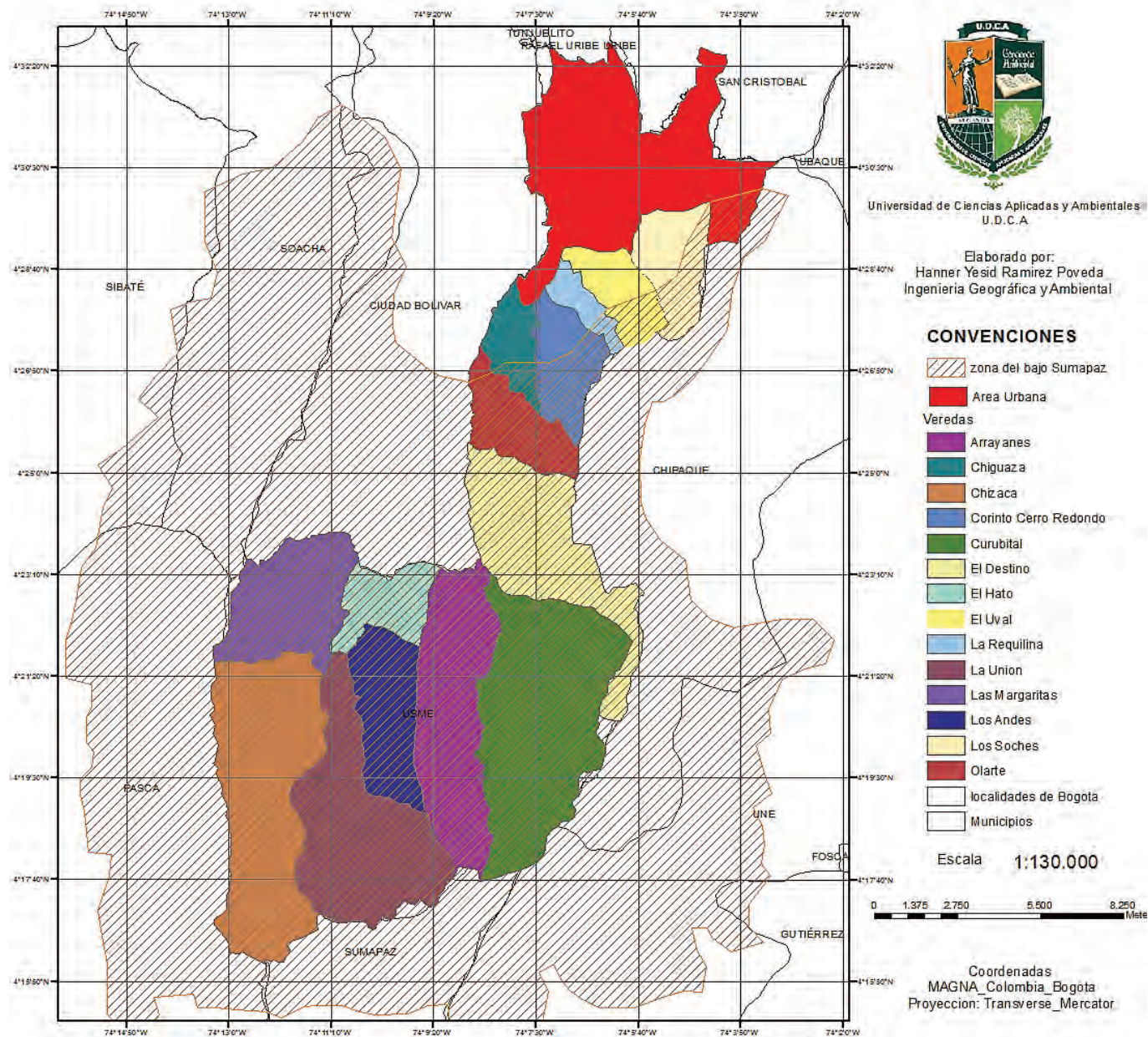
MATERIALES Y MÉTODO

El páramo de Sumapaz es un referente ambiental en Colombia, ya que en él se originan cinco cuencas de alta importancia, a nivel regional: río Tunjuelo, río Blanco, río Ariari, río Meta y río Sumpaz. En lo que respecta al distrito capital existe un fuerte compromiso, dado que en este páramo coexisten varias unidades de manejo territorial: desde la óptica administrativa, las localidades #5 de Usme, #19 de Ciudad Bolívar y #20 de Sumapaz; desde lo ambiental, la zona rural de Usme y desde el enfoque social, la denominada zona del bajo Sumapaz, ubicada en las áreas rurales de la localidad de Usme, de Ciudad Bolívar y parte de la localidad de Sumapaz, además de tener territorio en los municipios de Soacha, de Sibaté Pasca, de Uñe, de Chipaque y parte de Gutiérrez, Cundinamarca.

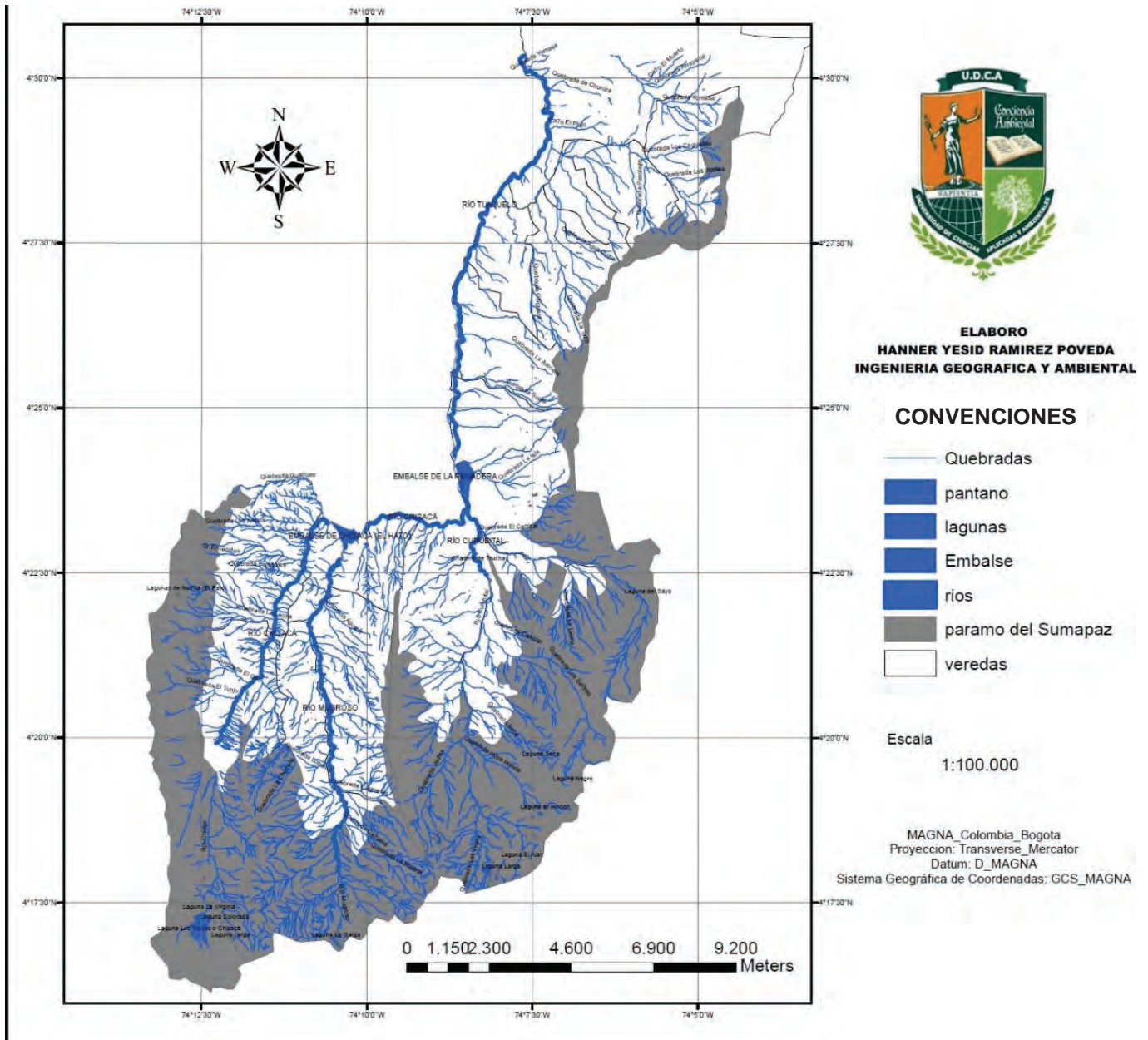
El área rural de Usme, se caracteriza por ser un territorio de alta montaña y sus dinámicas son propias de la economía campesina de cultura cundiboyacense; sus pobladores, alrededor de 6.400 campesinos, tienen una relación directa con el páramo del Sumapaz y los afluentes del río Tunjuelo, a lo largo de sus 14 veredas (Mapa 1): Los Soches, El Uval, La Requilina, Corinto Cerro Redondo, Chiguaza, Olarte, El Destino, Curubital, Los Arrayanes, El Hato, Los Andes, Las Margaritas, La Unión y Chizacá. Con representantes de estas veredas, se llevaron a cabo tres talleres, para determinar cuál sería el modelo propuesto por las comunidades, que les permitiera hacer de su territorio una zona rural sostenible (Mapas 1 y 2).

En el mapa 2, se evidencia la importancia del sistema hídrico, que está compuesto por una importante cantidad de cuerpos de agua, tales como lagunas, embalses, ríos, quebradas y riachuelos, que pertenecen a la cuenca del río Tunjuelo y que, a su vez, abastecen a los embalses regionales de Chizacá y La Regadera. Los ríos más representativos de este sistema son Chizaca (nace en la laguna Los Tunjos o Chizacá, desciende hacia el norte pasando por las veredas de Chizacá, Las Margaritas y La Unión, hasta llegar al embalse de Chizacá), El Mugroso (nace en la laguna de Las Garzas, desciende por la vereda La Unión, hasta llegar al embalse de Chizacá) y El Curubital (nace en el páramo de Bocagrande, atraviesa las veredas de Curubital y Los Arrayanes, hasta llegar al embalse La Regadera, siendo su principal afluente).

La metodología dependió, en gran medida, del trabajo conjunto con la comunidad, con quienes se desarrolló cartografía social, para plasmar en mapas sus deseos sobre el futuro, desde la ruralidad de Usme, trascendiendo a la cuenca del río Tunjuelo y proyectándose hasta el ecosistema páramo. De ahí, que varias de las decisiones sobre las especificidades del modelo de OAA, se expliquen desde un deseo de la comunidad rural, a partir de sus conocimientos, que son



Mapa 1. Representación de la célula viva de la gestión territorial para el OAA: la vereda.



Mapa 2. Sistema hídrico zona rural de Usme, 2015.

derivados de la cotidianidad, en el contacto con su territorio. Para el diseño cartográfico, se trabajó con el software ARC GIS 10.2.1, como técnica de mapeo, que permite integrar las iniciativas descritas por los campesinos. También, se emplearon imágenes satelitales, proporcionadas por google earth, realizando la fotointerpretación, para conocer el área que ocupan los principales elementos, que componen el modelo OAA.

Para diseñar el modelo cartográfico, se estableció, como eje central, al río Tunjuelo y, como nodo, al ecosistema del páramo Sumapaz; luego, se procedió a superponer las distintas capas temáticas necesarias, como el límite de predios, la hidrografía, las vías, el centro poblado rural, cuya base de datos se encuentra en la Alcaldía Distrital de Bogotá. Posteriormente, se ubicaron los corredores biológicos en las zonas de rondas hídricas; luego, se insertaron las cercas vivas propuestas por la comunidad en cada uno de los límites prediales. Es importante expresar que para determinar la zona de páramo, se realizó una fotointerpretación adicional, ya que los entes encargados de definir el área de este ecosistema no manejan los mismos parámetros, es decir, la Corporación Autónoma Regional, establece como zona de páramo aquella mayor a la cota de los 3.000 msnm y para el Instituto de Investigaciones Alexander Von Humboldt corresponde a la zona de amortiguamiento del parque nacional Sumapaz, entonces, en este trabajo, se realizó una superposición de mapas para combinar los atributos y establecer un perímetro, que conjugara al complejo páramo de Sumapaz y Cruz Verde.

A partir de este esquema y empleando la herramienta de buffer, que en el Arc Gis básico permite crear zonas de influencia específicas, se subdividió a la zona rural de Usme en tres subzonas agroambientales, con un radio de 5km cada una, así: la zona aledaña al pueblo de Usme, la zona circundante del embalse La Regadera y la zona perimetral del embalse de Chizacá. Y aunque en la escala de la representación cartográfica del modelo OAA no es posible presentar un nivel de detalle, se quiere dar a conocer que, de acuerdo a las propuestas de la comunidad, se definieron componentes, tales como cercas vivas y corredores biológicos, principalmente y, para representar los buffer en el software ARC GIS10.2.1, se tomaron como valores, aquellos resultantes del promedio planteado por los campesinos, así: para el caso del límite predial, se manejó un buffer de cinco metros a lado y lado de los predios rurales; en las quebradas y los riachuelos, se manejó un buffer de ocho metros a lado y lado; en los nacimientos, aljibes o reservorios de agua, se estableció un buffer de seis metros alrededor de ellos y para las vías o caminos, el buffer que se utilizó fue de cinco metros al lado y lado. El buffer manejado para los ríos es el exigido por la República de Colombia (1974), es decir, de 30m a lado y lado de su ronda hídrica, debido a que se considera un área de especial importancia ecológica de dominio público.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La característica principal que diferencia un modelo de ordenamiento agrícola de un modelo agroambiental es que el territorio rural, objeto de la intervención, tiene una destacada connotación ambiental en el territorio natural sobre, el cual, se asienta la población que hará posible la gestión del modelo. Y si bien la gestión del territorio rural exige una posición sociocultural de sus pobladores muy asociada a la naturaleza, esta posición no sería posible si no existiese la condición natural precedente. Lugares como estos parecen no tener al conjunto de capitalinos a su favor, pero si se llegara a estudiar los intereses reales por mantener la sostenibilidad de este territorio, se encontraría un interesante porcentaje de personas que le apostarían por hacer posible su gestión territorial rural, como en el caso de la reserva forestal del norte de Bogotá, que alcanza a contar con un 15% de interesados en ella (Posada, 2012). Por ello, se buscó representar la integración de aspectos agrícolas, pecuarios, ambientales y sociales, a través de un modelo OAA, para acercarse al tratamiento de la gestión territorial rural y, en particular, el modelo planteado, construido desde la comunidad, es un esfuerzo justamente por darle espacio a los pobladores de construir su futuro, desde la premisa producir conservando y conservar produciendo.

Para la ruralidad de Usme, esta prevalencia se demuestra a partir de los datos obtenidos con el análisis espacial, con el cual, se pudo evidenciar la distribución porcentual de la destinación del suelo y sus principales características estructurales y funcionales, destacando que el páramo, a pesar de haber perdido parte de su área original, continúa siendo el más representativo, con un 59%, seguido del uso en ganadería, con un 22% y, posteriormente, en agricultura, con 19%, asunto que denota máxima importancia, no solo desde la óptica de la demanda regional, sino, sobre todo, desde la oferta natural, que debe ser vista, no como una oportunidad más de explotación y usufructo exógeno, sino como la urgencia de apoyar adecuadamente a los campesinos, hacia una producción más limpia, que permita mantener el equilibrio de este territorio, para sí mismos y las futuras generaciones.

Una premisa de ésta propuesta es que el modelo de OOA se materializa desde los predios, como punto de partida, donde se evidencia la economía campesina al detalle, entonces, el predio representa al núcleo de la célula y la célula viva del OAA es la vereda, ya que en ella se involucran más actores, decisiones, interés y apuestas en común, representadas por las Juntas de Acción Comunal y por las organizaciones campesinas, ante las instancias decisorias del Distrito Capital, cuyo impacto de comunidad trasciende al área rural de la cuenca del río Tunjuelo y la zona del Bajo Sumapaz, hasta el páramo de Sumapaz.

Con esta base, se diseñó el modelo de OAA, contemplando varias perspectivas (Cuadro 1): multitemporal, multiespacial (multiescalar) y multiobjetivo (multicriterio), cada una de las cuales, consideró la palabra de la comunidad campesina. Para trazar la perspectiva multitemporal, se definió, a partir de los elementos de la planificación territorial, un horizonte de tiempo de una década, en la que se establecen procesos y actividades graduales de gestión territorial rural, así: en el corto plazo, de uno a tres años; en el mediano, de cuatro a seis años y, en el largo plazo, de siete a diez años. En la perspectiva multiobjetivo, se contemplan distintos criterios, con un fin común, al buscar equidad en la optimización de la relación campesino-naturaleza: mejoramiento, implementación, fomento, impulso, consolidación, entre otros procesos, que permitirán el hacer, más que el prometer hacer. En cuanto a la perspectiva multiespacial, se definieron cuatro unidades agroambientales, partiendo desde la unidad privada predio; luego, se conjugan en la unidad central vereda; posteriormente, se potencian en una zona supraverebral y, al final, se consolida en la cuenca del río Tunjuelo, como la expresión espacial del sistema socioambiental predominante: el hídrico; por supuesto y como ya se ha explicado, todo ello dentro de la jerarquía estructural que permite el páramo de Sumapaz.

Con el fin de expresar con mayor detalle la forma espacial del modelo de OAA, se describe, como uno de los resultados, las siguientes tres subzonas agroambientales, que representan las principales dinámicas socioculturales del territorio de Usme, al interior de la cuenca del río Tunjuelo.

Zona agroambiental borde urbano-rural. Veredas con dinámicas rurales ligadas al área urbana de Bogotá: Los So-

ches, El Uval, La Requilina, Chiguaza y Corinto Cerro Redondo, además, el pueblo de Usme. Se destaca una experiencia de defensa del territorio y una figura de gestión social, como lo es el Agroparque Los Soches, en donde los campesinos de 1.234 predios han promovido alternativas de desarrollo local, combinando el manejo de su ruralidad con las áreas protegidas.

Zona agroambiental La Regadera. Veredas con producción campesina a pequeña escala, en 953 predios, principalmente, dedicados al cultivo de papa, arveja y habas y a la ganadería: una parte de la vereda Olarte, El Destino, Curubital y Arrayanes; en esta zona, se encuentra el único centro poblado rural de Usme, El Destino, en donde la población rural de Usme y de algunas veredas aledañas de la localidad de Ciudad Bolívar y del municipio de Chipaque, obtiene servicios educativos y de salud.

Zona agroambiental El Hato. Es la zona más grande y es la que comprende mayor área del ecosistema páramo y en el área cultivable, se produce solamente papa; corresponde a 806 predios de las veredas El Hato, Las Margaritas, Los Andes, La Unión y Chizacá, en donde se ubica el nacimiento del río Tunjuelo.

Diseño del modelo de ordenamiento agroambiental

Es el producto de la superposición de varias capas temáticas, que fueron discutidas en los talleres comunitarios y en las entrevistas con los líderes de la zona rural de Usme, de lo cual, resultaron priorizados los elementos de relevancia para el modelo de OAA, que se detallan en el cuadro 2. La repre-

Cuadro 1. Cruce multitemporal, multiespacial y multiobjetivo del modelo de ordenamiento agroambiental, 2015.

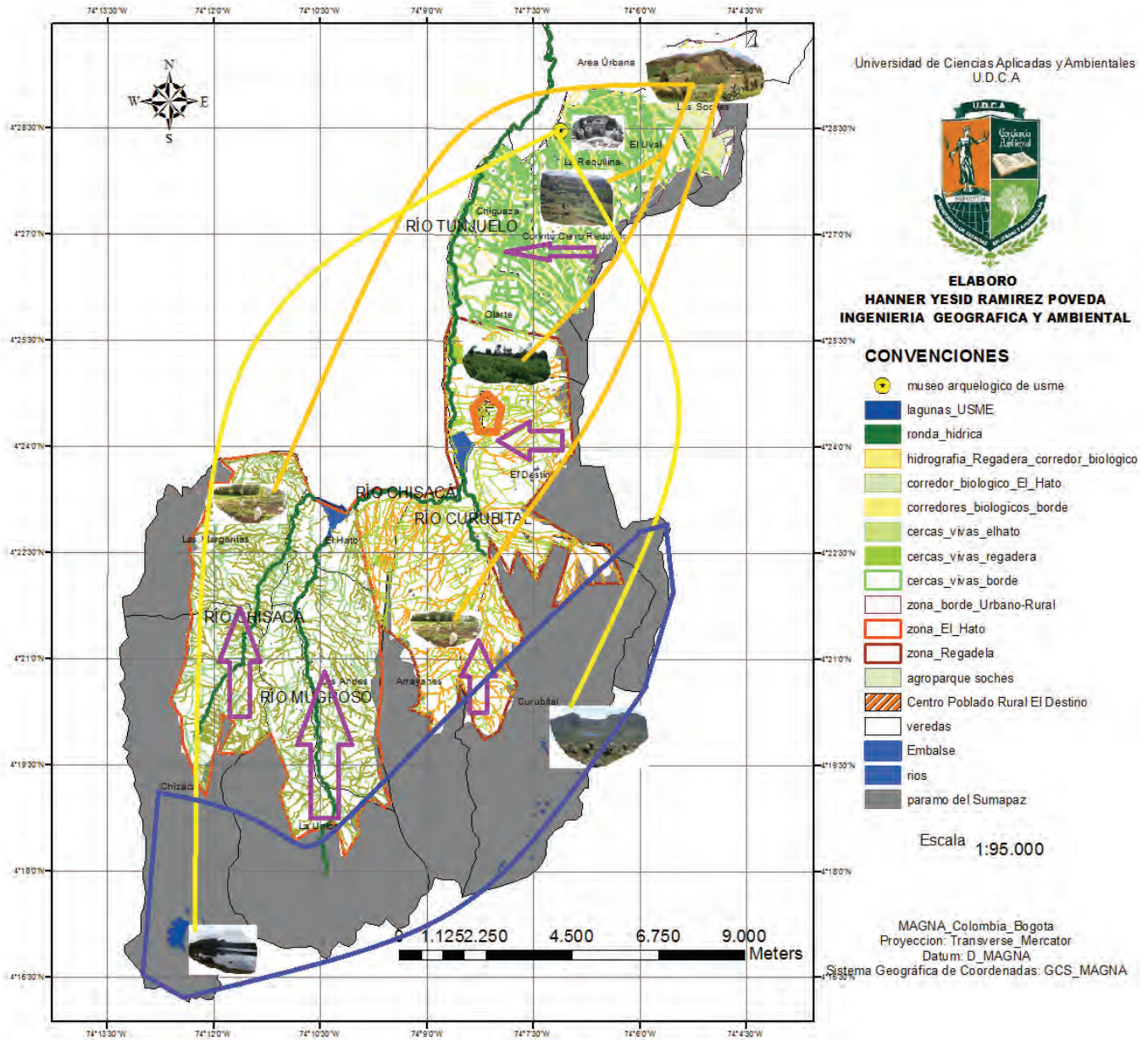
UNIDAD ESPACIAL	CORTO PLAZO	MEDIANO PLAZO	LARGO PLAZO
PREDIO	Caracterización actual del predio y visión del mismo a través de la cartografía social con la familia campesina.	Inicio de la construcción de las cercas vivas, corredores biológicos y protección de los nacimientos de agua.	Implementación total de los conectores para los ecosistemas estratégicos río Tunjuelo y páramo del Sumapaz
VEREDA	Identificación de potencialidades, oportunidades y busca soluciones de problemas agroambientales.	Conformación de comités ambientales en todas las veredas.	Pactos de corresponsabilidad agroambiental.
ZONA SUPRAVEREDAL	Iniciativas Comunitarias entorno a la producción más limpia.	Desarrollo de iniciativas comunitarias.	Gestión territorial, colaborativa y participativa.
CUENCA DEL RÍO TUNJUELO	Organizaciones comunitarias como las JAC juntas de acueductos veredales, ONG, CAR, Instituto A.V.H., Parques Nacionales, Min. Agricultura, Alcaldía Mayor y secretarías	Consejo de Cuenca con representación del sector rural de una forma activa y proactiva. CAR, Instituto A.V.H., Parques Nacionales, Min. Agricultura, Alcaldía Mayor y secretarías	Ordenamiento Agroambiental (OAA) de la cuenca del río Tunjuelo. CAR, Instituto A.V.H., Parques Nacionales, Min. Agricultura, Alcaldía Mayor y secretarías

sentación gráfica del modelo que se observa en el mapa 3, se explica así: Líneas amarillas: la relación cultural creada por los pobladores de la zona entre las zonas de lagunas y el museo arqueológico. Líneas verdes: las réplicas que hay que iniciar en la zona rural, a partir de la experiencia obtenida en el Agroparque Los Soches. Líneas cafés: la relación directa entre la producción agropecuaria y el ecosistema de páramo. Línea naranja: la relación del centro poblado rural El Destino con el pueblo de Usme, donde existen flujos constantes de ida y regreso. Línea rosada: la relación del nacimiento del

río Curubital y el embalse La Regadera, único santuario de fauna y flora, reconocido a nivel distrital. Flechas moradas: relación del páramo del Sumapaz con el territorio de las microcuencas de los ríos Mugroso, Chizacá y Curubital y con la zona del río Tunjuelo y del embalse de La Regadera. Franja azul: nacimiento de los ríos y principales afluentes de los embalses objeto de conservación. Franja negra: dinámicas sociales alrededor del centro poblado rural, que abarca a la mayoría de veredas de la localidad de Usme y a las veredas vecinas de Chipaque y Ciudad Bolívar.

Cuadro 2. Razones para priorizar los elementos que conforman el modelo cartográfico de OAA.

Ambiental	Sistema hídrico	Por una parte los ríos Tunjuelo, Curubital, Chizacá y Mugroso, se proponen como los ejes hídricos del modelo OAA.
		Por otra, las quebradas, riachuelos y nacederos son los conectores biológicos entre los ejes principales y el páramo de-Sumapaz, de las áreas de bosques alto andinas y las zonas de reserva forestal de los embalses de La Regadera y Chizacá
	Páramo de Sumapaz	Es el ecosistema principal, ya que estructura gran parte de la ruralidad y con el planteamiento de los conectores ecológicos para el intercambio de energías entre los ríos, embalses y relictos de bosque, se reactiva la conexión entre estos espacios naturales y artificiales.
Agropecuaria	Predios rurales	Es el punto de partida de las actividades agropecuarias y ambientales de las familias campesinas de Usme y donde se deben materializar las acciones, para mejorar las condiciones de vida rural.
		Al precisar los límites prediales de las cercas vivas, se logrará una conexión entre el sistema hídrico y los ecosistemas existentes en la ruralidad de Usme.
	Producción Agropecuaria	Se utiliza el 41% del área rural con tipología de producción campesina: agrícola, principalmente cultivos de tubérculos y pecuaria, con ganado vacuno.
Social	Vías y caminos	Es la conexión artificial entre predios y veredas y es el punto de encuentro tradicional de la comunidad.
	Centro poblado rural El Destino	Es donde se ubican algunos servicios sociales, como educación, salud, cultural y deportivos; es centro de intercambio dentro del modelo, tanto para la zona agroambiental del Hato como para la zona agroambiental de La Regadera y de algunas veredas vecinas de la localidad de Ciudad Bolívar - Santa Bárbara, Las Mercedes y Santa Rosa y del municipio de Chipaque -Calderitas y Fruticas.
	Pueblo de Usme	Es el centro urbano tradicional, en el cual, los campesinos adquieren servicios más integrales, como salud, educación, mercado agrícola y ganadero, productos agro-veterinarios y se conecta con todas las demás zonas agroambientales, como el centro poblado rural El Destino y, en especial, con el borde urbano-rural y la malla urbana de Bogotá.
	Agroparque Los Soches	Es un hito para el campesinado nacional, tiene un área de 328 ha y está previsto para el desarrollo de turismo rural, producción más limpia, mantenimiento de áreas de reserva y construcción de procesos de producción sostenibles, en general es donde se propone otra forma alternativa a la ciudad.
	Museo arqueológico de Usme	Se ubica en la vereda La Requilina, donde se detuvo un proceso urbanístico ante el hallazgo de un gran cementerio indígena, con más de 2.000 años de antigüedad y más de 1.500 tumbas.



Mapa 3. Representación cartográfica del modelo de ordenamiento agroambiental.

Flujos relacionados con el centro poblado rural El Destino

Entrada interveredal: flujo directo entre la población de las veredas Chizacá, La Unión, Los Andes, Las Margaritas, El Hato, Los Arrayanes, Curubital, Olarte y El Destino. Entrada interlocal: relación directa con la población de las veredas de Ciudad Bolívar (Santa Bárbara, Santa Rosa y Las Mercedes). Entrada intermunicipal: existe una relación específicamente con dos veredas del municipio de Chipaque: Calderitas, Fru-

ticas. Entrada y salida local: relación directa entre el pueblo de Usme y el centro poblado rural El Destino.

Se realiza, además, un énfasis especial en dos tipos de conectores biológicos (Figura 1): Corredores biológicos para restaurar y proteger las fuentes hídricas y conectar los ríos con el páramo y con las zonas de los embalses; cercas vivas, ubicadas en los límites prediales y en los caminos o vías, con siembra de árboles nativos, propios del ecosistema bosque alto andino, como arrayan (*Myrcianthes leucoxylla*), aliso

(*Alnus glutinosa*), sauco (*Sambucus nigra*), roble o chaque (*Quercus robur*), arbolocos (*Montanoa cuadrangulares*), mortiño (*Hesperomeles goudotiana*), uva caimaron (Pou-rouma *cecropiifolia*), encenillos (*Weinmannia tomentosa*) y duraznillos (*Abatia parviflora*).

Los resultados de este ejercicio están acorde con Delgadillo Macías & Torres Torres (2010), para quienes cada vez cobra mayor importancia el enfoque territorial del desarrollo

rural, por la integralidad de factores y la lógica de planeación orientada al territorio, con puntos de interacción entre los sistemas humanos y los sistemas ambientales y también con Méndez Sastoque (2012), para quien se convierte en una urgencia, debido a que las apreciaciones positivas del modo de ser campesino son parte de una idiosincrasia que entiende mejor que cualquier ciudadano, los valores de su territorio, los valores anhelados por todos y que hoy son casi inexistentes en el entorno urbano.

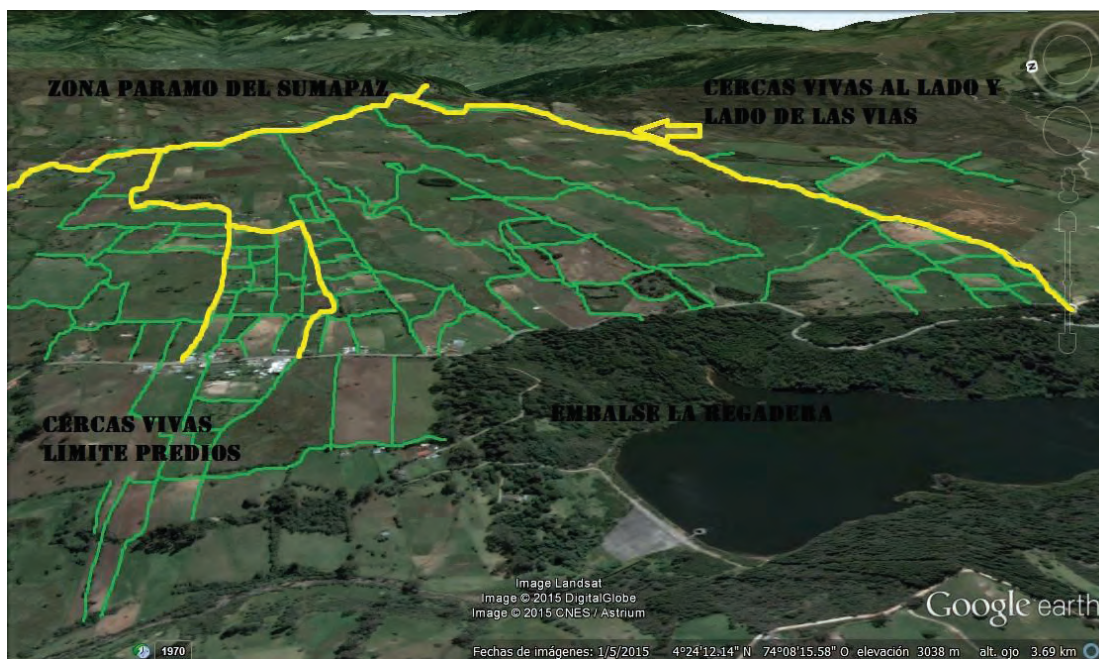


Figura 1. Diseño de la conectividad principal y secundaria del modelo, 2015.

En teoría, en Colombia, el MADR (2013) ha creado, mediante Decreto 1986, un sistema de coordinación para la formulación, la ejecución y el seguimiento de las políticas, los programas, los planes y los proyectos necesarios para el cumplimiento del Pacto Nacional por el Agro y el Desarrollo Rural. Específicamente en Bogotá, se ha creado, desde el 2010, el Plan de Gestión para el Desarrollo Rural Sostenible, como un instrumento de gestión y de planeación, que orienta las acciones o los proyectos prioritarios de los futuros Planes de Desarrollo Distrital y Planes de Desarrollo Local, articulando las instituciones del Distrito sobre la ruralidad de Bogotá; en su interior, se plantea un programa colectivo para la conservación del territorio rural (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2009). Asunto que se complementa con la creación del Consejo Consultivo de Ambiente que, mediante mesas de trabajo, pretende discutir diferentes estrategias e intervenciones para la implementación de políticas ambientales o instrumentos de planeación ambiental en el Distrito (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014).

En otras palabras, existen varias intenciones bien planeadas y cada vez más integradas, pero es en el seno del territorio rural, donde se construyen los modelos y se ejecutan las acciones necesarias para que se haga realidad, pues como lo expresa Sepúlveda *et al.* (2003), el enfoque territorial del desarrollo rural es apenas el estadio lógico de un largo proceso de aproximaciones a un nuevo paradigma de desarrollo. En el enfoque territorial, la unidad de observación, análisis e intervención se estructura a partir de la integración de los elementos espacio-temporales. Este es el caso de Costa Rica, donde se viene promoviendo que la comunidad organizada define los problemas que más le afectan, propone soluciones y el Estado apoya tales iniciativas (Sepúlveda, 2008).

En ejemplos a seguir, como es el caso de Brasil, la discusión sobre el desarrollo rural se conecta también al debate más general sobre los procesos de cambio social, que deberían favorecer la mejora de la calidad de vida, pues se trata de un proceso de generación de la autonomía y de la

construcción de un proyecto colectivo, como única forma posible para darle sentido a la sociedad (Schneider & Peyré, 2006), lo cual, se resalta con la posición de Portilla (2003), para quien el desarrollo rural es el resultado de la acción de múltiples grupos y de actores sociales y, desde la óptica del desarrollo territorial, los actores sociales se reconocen por su capacidad colectiva para asumir la función de planificación y de gestión ascendente del desarrollo, siguiendo los principios de cooperación y de responsabilidad compartida. El enfoque territorial del desarrollo rural rescata, precisamente, esa noción de integralidad, que permite repensar los papeles reales y potenciales, que los distintos grupos de población y de actores sociales asumen en la construcción de modelos sostenibles de desarrollo territorial.

Se concluye, entonces, que en Colombia, en el tema agroambiental, se registran pocas experiencias, ya que no se planifican unas políticas, ni planes, ni proyectos que integren el tema agropecuario y ambiental en conjunto con los campesinos, por lo que hace falta un instrumento que reglamente el ordenamiento agroambiental, de manera que se pueda incluir no solo en la planeación, sino en la gestión territorial. Pero ello no tendría sentido, si no se realiza conjuntamente con los habitantes del territorio rural, quienes, como en el caso de esta propuesta para modelar el OAA, tienen todos los elementos para su diseño.

Agradecimiento: Los autores agradecen a la U.D.C.A por financiar el proyecto de investigación "Gestión Ambiental Territorial en Bogotá", que dio origen a este manuscrito. **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. ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. 2014. Decreto 81 de 2014. Por medio del cual se crea y conforma el Consejo Consultivo de Ambiente. 3p.
2. ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. 2009. Plan de Gestión para el Desarrollo Rural Sostenible, del Distrito de Bogotá. Secretaria Distrital de Ambiente. Secretaria Distrital de Planeación. Colombia. 170p.
3. AYALA ORTIZ, D.A.; SCHWENTESIUS, R.; GÓMEZ C., M.A. 2008. La ecocondicionalidad como instrumento de política agrícola para el desarrollo sustentable en México. *Gestión y Política Pública*. 17(2):315-353.
4. BUSTAMANTE, C. 2013. Fortalecimiento de las políticas agro-ambientales en países de América Latina y el Caribe a través del dialogo e intercambio de experiencias nacionales, Caso Colombia. FAO. 240p. Disponible desde internet en: <http://www.fao.org/3/a-as223s.pdf> (con acceso 19/08/2015).
5. CARVAJAL SÁNCHEZ, N.I. 2011. Enfoque ascendente e enfoque descendente do ordenamento territorial na Colômbia. *Cuadernos de geografía. Rev. Col. Geografía*. 20(1):21-28.
6. DELGADILLO MACÍAS, J.; TORRES TORRES, F. 2010. La gestión territorial como instrumento para el desarrollo rural. *Estudios Agrarios*. 55p.
7. GARAY SALAMANCA., L.J.; BAILEY, R.; FORERO A., J.; BARBERI GÓMEZ, F.; RAMÍREZ G., C.; SUÁREZ V, D.; GÓMEZ M., R.; CASTRO F, Y; ÁLVAREZ Z., J.; ROLDAN O., R.; SÁNCHEZ B., E.; MACHADO C., A.; SALGADO A, C.; NARANJO, S.; PERRY, S. 2013. Reflexiones sobre la ruralidad y el territorio en Colombia. Problemáticas y retos actuales. OXFAM, Cooperación Alemana GIZ, Comisión de Seguimiento a la Política Pública sobre el Desplazamiento Forzado, Embajada del Reino los Países Bajos y Pontificia Universidad Javeriana. 447p.
8. FAO. 2014. Políticas agroambientales en América Latina y el Caribe Análisis de casos de Brasil, Chile, Colombia, México y Nicaragua. 74p.
9. MATEUS MORENO., L.; ROJAS SALAZAR., L. 2013. Fortalecimiento de las políticas agro-ambientales en países de América Latina y el Caribe a través del dialogo e intercambio de experiencias nacionales, Caso Colombia. FAO. 240p. Disponible desde internet en: <http://www.fao.org/3/a-as223s.pdf> (con acceso 25/10/2015).
10. MERA CHARÁ, E.M.; GALINDO LUCAS, A. 2005. Geopolítica e impacto agroambiental en Colombia, el avance del ecosistema humano. *Historia Actual Online -HAOL-*, 1:67-73 España. Disponible desde internet en: file:///C:/Users/udca_pc/Downloads/Dialnet-GeopoliticaElImpactoAgroambientalEnColombia-876581.pdf (con acceso 20/08/2015).
11. MÉNDEZ SASTOQUE, M.J. 2012. El neorruralismo como práctica configurante de dinámicas sociales alternativas: un estudio de caso. *Rev. Luna Azul*. 34:113-131.
12. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL -MADR-. 2013. Decreto 1987. Por el cual se organiza el sistema de coordinación de actividades públicas, privadas y de inclusión social para el cum-

- plimiento del Pacto Nacional por el Agro y el Desarrollo Rural. Colombia. 5p.
13. PORTILLA, M. 2003. Actores sociales en el desarrollo rural territorial. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. SINOPSIS N° 8. 8p.
14. POSADA, A. 2009. Intereses ambientales: reflexiones sobre la aplicación de lo difuso. *Rev. Ingenierías*. 8(14):11-20.
15. POSADA, A. 2012. Análisis de intereses ambientales mediante lógica difusa: caso reserva forestal regional del norte de Bogotá-Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 15(2):437-498.
16. POSADA, A. 2014. De la planeación a la gestión ambiental colectiva: posibilidades en Bogotá-Colombia. *Rev. U.D.C.A Act & Div. Cient.* 17(1):257-264.
17. REPÚBLICA DE COLOMBIA. 1974. Decreto Ley 2811. Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Diario oficial No. 34243.
18. SEPÚLVEDA, S.; RODRÍGUEZ, A.; ECHEVERRI, R.; PORTILLA, M. 2003. El enfoque territorial de desarrollo. IICA. Costa Rica. 180p.
19. SEPÚLVEDA, S. 2008. Gestión del desarrollo sostenible en territorios rurales. IICA. Costa Rica. 416p.
20. SCHNEIDER, S.; PEYRÉ T., I. 2006. Desarrollo Rural. Organizaciones, Instituciones y Territorio. Ed. Ciccus. Buenos Aires, p.71-102.
21. UNIVERSIDAD DEL ROSARIO. 2012. Tres Valles: el territorio de la economía. Una estrategia de ordenamiento económico-territorial para los valles de Aburrá, Occidente Cercano y San Nicolás en Antioquia. CEPEC. Comisión tripartita. 412 p.
22. TORRES LIMA, P; CRUZ CASTILLO, J.G.; ACOSTA BARRADAS, R. 2011. Vulnerabilidad agroambiental frente al cambio climático. Agendas de adaptación y sistemas institucionales. *Política y Cultura de México*. 36:205-232.

Recibido: Agosto 23 de 2015

Aceptado: Octubre 30 de 2015

Cómo citar:

Posada Arrubla, A.; Ramírez Poveda, H.Y. 2015. Aproximación a la gestión territorial rural desde un modelo de ordenamiento agroambiental. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 513-523.

CARACTERIZACIÓN DE LA INNOVACIÓN EN LAS PYMES MANUFACTURERAS EN COLOMBIA DESDE LA PERSPECTIVA DEL ANÁLISIS CLÚSTER

CHARACTERIZATION OF INNOVATION IN MANUFACTURING SMES IN COLOMBIA FROM THE PERSPECTIVE OF CLUSTER ANALYSIS

Jairo Torres¹, Gabriel Cataño², José Arias³

¹ Magíster en Gestión de Ciencia, Tecnología e Innovación, Profesor de cátedra del Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de Antioquia, carrera 32 No.50-10, Int. 16-03, Medellín, Colombia, e-mail: jatorresve@unal.edu.co; ² Magíster en Desarrollo con énfasis en Gerencia Social, Coordinador del Laboratorio de Innovación Social, Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín, Colombia, calle 73 No. 76A-354, Bloque F, oficina 201, e-mail: gabrielcatano@itm.edu.co; ³ Doctorando en Dirección de Empresas, Profesor Departamento de Ciencias Administrativas. Universidad de Antioquia, calle 70 No. 52 – 21, oficina 13-105, Medellín, Colombia, e-mail: jenrique.arias@udea.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 525-532, Julio-Diciembre 2015

RESUMEN

El objetivo del artículo fue analizar las diferencias en el comportamiento innovador de las pequeñas y medianas empresas colombianas, en el período 2007-2008, especialmente, en materia de inversión en actividades científicas, tecnológicas y de innovación, capital humano relacionado con dichas actividades, relacionamiento con los sistemas de innovación, propiedad intelectual, certificaciones en calidad, normas y reglamentaciones técnicas e impacto en innovación. En la metodología, se examinan los datos de la cuarta encuesta de innovación tecnológica colombiana EDIT IV, mediante un análisis de correspondencias múltiples. En cuanto a los resultados, se identificaron tres grupos o clúster, con características comunes: el primero es el grupo de las pymes innovadoras, que se distingue por tener un desempeño innovador destacado; el segundo, las empresas seguidoras/principiantes, que se muestran en un punto intermedio y el tercero comprende las rezagadas, que muestran resultados bajos en todos los frentes y al cual pertenecen el mayor número de empresas del país.

Palabras clave: Medición de innovación, encuestas nacionales de innovación, gestión de innovación, análisis de correspondencias múltiples.

SUMMARY

The aim of the paper was to analyze the differences in the innovative behavior of small and medium-sized Colombian companies in the period 2007-2008, especially in terms of

investment in scientific, technological and innovation activities, human capital involved in the activities, relationships with innovation systems, intellectual property, quality certifications, standards and technical regulations and their impact on innovation. In the methodology, data from the fourth survey of Colombian technological innovation EDIT IV are examined using a multiple correspondence analysis. As for the results, three groups with common characteristics or cluster were identified, the first, the group of innovative SMEs that is distinguished by outstanding innovative performance; the second, the follower / beginner companies shown in between; and the third comprised by the stragglers who have low scores on all fronts and belong to the greatest number of companies in the country.

Key words: Measuring innovation, national surveys of innovation, management innovation, multiple correspondence analyses.

INTRODUCCIÓN

La medición de la innovación ha sido un tema de gran interés en los últimos tiempos. Son muchos los estudios que se han realizado, debido a la necesidad de identificar el comportamiento del proceso innovador de las empresas (Filippetti & Archibugi, 2011; Hong *et al.* 2012; Bartels & Koria, 2014). En Colombia, la mayoría de ellos, se ha llevado a cabo siguiendo el enfoque del Manual de Oslo de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE, 2005). Los resultados obtenidos, en dichos estudios, permiten a los gobiernos determinar políticas públicas coherentes con la situación real, en materia de innovación y desarrollo tecnológico.

En el país, la mayor parte de las investigaciones realizadas con base en encuestas de innovación (Gómez, 2009; Gómez, 2011), se han concentrado en analizar los datos obtenidos hasta mediados de la década pasada; sin embargo, es notoria la ausencia de trabajos académicos que se ocupen de la información más reciente y que ahonden, mediante la aplicación de técnicas estadísticas de corte inferencial.

El presente estudio busca, precisamente, mostrar esas asociaciones que permiten identificar los patrones de comportamiento en los procesos de innovación en las pequeñas y medianas empresas en Colombia, a partir de la Cuarta Encuesta de Innovación Tecnológica (EDIT IV, 2007-2008), desarrollada por el DANE, que incluye aspectos, como la inversión en actividades científicas, tecnológicas y de innovación, el capital humano relacionado con dichas actividades, el relacionamiento con otros actores del sistema de innovación, propiedad intelectual, certificaciones en calidad, las normas y reglamentaciones técnicas y el impacto en la innovación.

Para lograr este objetivo, en el artículo se realiza, en primer lugar, una conceptualización y contextualización sobre las capacidades y los procesos de medición de la innovación; seguidamente, se señalan algunos antecedentes, que permiten mostrar los avances en el tema, no sólo a nivel nacional sino internacional; posteriormente, se efectúa un análisis para el caso colombiano, utilizando, como base, los datos de la Cuarta Encuesta de Innovación Tecnológica, EDIT IV. Para ello, se aplica el método del análisis de correspondencias múltiples, para encontrar las relaciones entre los aspectos de innovación mencionados. Este método es una valiosa herramienta, ya que permite agrupar a las unidades de estudio, en este caso las pymes, en grupos o clúster, que identifican patrones de comportamiento en ellas. Como resultado de esta investigación, se encontraron tres grandes grupos o clúster de pymes, según su carácter innovador o no: las exitosas, las estables-indiferentes y las rezagadas no innovadoras.

Ahora bien, cabe señalar que Colombia y en particular su aparato productivo es catalogado como un país tecnológicamente seguidor, que presenta un rezago tecnológico, principalmente, frente a los países desarrollados, que ostentan un liderazgo, en esta materia (Castellacci, 2011), lo cual, indudablemente, condiciona los procesos de innovación; además, la industria que se concentra en sectores tradicionales, máxime de baja tecnología, suele implementar estrategias de innovación asociadas a la adopción y a la adaptación de tecnología, jalonadas por las demandas del mercado (Malaver & Vargas, 2013).

Capacidades de Innovación (CI): En general, las encuestas de innovación son un reflejo de las CI que han desarrollado las empresas (Fagerberg & Srholec, 2008), entendidas como la rutina organizacional orientada a la generación de nuevos y mejora-

dos productos y procesos de manera sistemática y permanente (Lawson & Samson, 2001; Crossan & Apaydin, 2010).

En cuanto al estudio de las CI existe una corriente predominante, que aborda el asunto desde una perspectiva funcionalista (Yam *et al.* 2011), que indica, de manera específica, cuáles son las que se deben desarrollar por áreas funcionales. En ese sentido, hay cierto consenso en torno al impacto positivo sobre los resultados en innovación, que tienen las siguientes CI: capacidad de asignación de recursos financieros para la innovación (Yam *et al.* 2004; Kleis *et al.* 2012); capacidad de aprendizaje relacionada con la gestión del capital humano (Guan & Ma, 2003; Cabello-Medina *et al.* 2011); capacidad de establecer relaciones con el entorno (Rothaermel & Hess, 2007) y la capacidad de gestionar los derechos de propiedad intelectual, para dinamizar la comercialización de las innovaciones y neutralizar la capacidad de absorción de los competidores (Chesbrough, 2003; Hurmelinna-Laukkanen & Olander, 2014).

Encuestas de innovación: Algunos organismos, como la CIS (Community Innovation Survey) de la Unión Europea, la Oficina Estadística de las Comunidades Europeas (EUROSTAT), la Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT), entre otros, han proporcionado, desde hace varios años, datos sobre I+D e innovación por países, siguiendo las directrices marcadas por el Manual de Oslo de la OCDE y, especialmente, la adaptación de éste a los lineamientos en América Latina, con el Manual de Bogotá.

Sobre la medición de la innovación, algunos autores, como March (2003) afirman que “las encuestas de innovación, construidas sobre un amplio abanico de variables de partida, aparecen como una herramienta idónea para recopilar abundante información que posteriormente, tras un proceso de codificación y agregación, dará lugar a unos indicadores sintéticos sobre el impacto de la innovación en la empresa”.

En Colombia es significativo el esfuerzo gubernamental por evaluar los avances en materia de innovación; un ejemplo claro son las encuestas de desarrollo e innovación tecnológica que se viene aplicando a las empresas, en especial, del sector industrial, para tal fin. En 1996, se realizó la Primera Encuesta de Desarrollo Tecnológico EDIT I, aplicada a pymes manufactureras colombianas, bajo las directrices del Manual de Oslo de la OCDE, la cual, fue complementada con la Segunda Encuesta EDIT II, que se ejecutó en 2004 y cuya prueba piloto se ejecutó en 2003, que se ajustó al enfoque del Manual de Bogotá (Jaramillo *et al.* 2000), porque buscaba incorporar las especificidades del contexto latinoamericano (Vargas & Malaver, 2004).

Entre la primera y la segunda encuesta EDIT I EDIT II, se produjeron varios avances y cambios importantes, tanto des-

de el punto de vista conceptual como metodológico, que se van a reflejar en sus resultados; entre ellos, el concepto mismo de innovación, asociado con los recursos humanos y financieros, las actividades que afectan los procesos de innovación, las relaciones entre los recursos, los resultados y los impactos de la innovación, así como las capacidades de eslabonamiento de las empresas para la innovación (Vargas & Malaver, 2004).

Como se mencionó, la EDT I ahonda en aspectos relacionados con la noción de innovación y el concepto mismo permite incorporar preguntas, que buscan evidenciar las diferencias entre los tipos y los grados de innovación de las empresas, clasificándolas como innovadoras en sentido estricto (IE), innovadoras en sentido amplio (IA), potencialmente innovadoras (PI) y no innovadoras (NI) (Durán *et al.* 1998).

Según el documento metodológico para la realización de las encuestas de desarrollo e innovación tecnológica (DANE, 2011), las empresas innovadoras en sentido estricto obtienen bienes o servicios nuevos o significativamente mejorados para el mercado nacional, en el ejercicio de las actividades de innovación. La innovación en sentido amplio supone, como resultado de la inversión en actividades científicas, tecnológicas y de innovación, la obtención de un bien o servicio nuevo o mejorado, para el mercado nacional o para la empresa o la implementación de un nuevo proceso productivo o mejorado, para la línea de producción principal o complementaria. Las empresas potencialmente innovadoras reportan tener o haber abandonado algún proceso de innovación, ya fuera para la obtención de un producto nuevo o significativamente mejorado, para el mercado nacional, internacional o para la empresa. Las empresas no innovadoras son las que no obtuvieron innovaciones, ni reportaron tener en proceso o haber abandonado algún proyecto para la obtención de innovaciones. Estos lineamientos también se utilizaron en las últimas encuestas EDIT IV, V y VI.

En lo relacionado con recursos humanos, se tomaron en cuenta otros aspectos, como nivel de formación formal e informal y la demanda de conocimientos por parte de las empresas. Respecto a los recursos financieros, se indagó sobre el esfuerzo de las empresas para financiar internamente sus actividades tecnológicas. Cabe notar, que en la primera encuesta, se hace un énfasis mayor en las actividades tecnológicas, en la medida en que permiten profundizar en los procesos de innovación con el establecimiento de capacidades, tales como: un mayor número de actividades que conducen a innovaciones, las relaciones entre las actividades y las innovaciones resultantes, la capacidad para acceder a la financiación proveniente de los instrumentos gubernamentales en CyT y las capacidades de encadenamientos.

Con respecto a la EDT II, se introdujeron algunas modifica-

ciones, específicamente, en modelos de gestión y de comercialización, además de realizar el seguimiento y la evaluación de los avances en materia de innovaciones. También, se trataron de establecer, de manera más clara, los vínculos entre actividades, sus resultados e impactos. Con referencia a las capacidades de eslabonamientos, se pudo enfocar en la intensidad de relación de las empresas con el entorno y con los actores del Sistema Nacional de Innovación (DANE, 2011).

En cuanto a la tercera encuesta de innovación EDIT III, cuya base de análisis son los años 2005-2006, conserva el formato general, utilizado en la versión de la EDT II, la cual, está estructurada en tres partes: Recursos financieros y humanos, dedicados a las actividades de desarrollo e innovación tecnológica; los objetivos, resultados y fuentes de ideas, para la innovación tecnológica (DANE, 2011) y el relacionamiento de la empresa con otras entidades públicas y privadas y los mecanismos del Estado, para realizar actividades de desarrollo e innovación tecnológica. Finalmente, una cuarta parte, trata sobre la propiedad intelectual y el uso del sistema de acreditación y de normalización técnica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo de la presente investigación, se llevó a cabo bajo las técnicas procedimentales coherentes con un estudio multivariado. La información utilizada corresponde a los obtenidos en la cuarta encuesta de innovación y desarrollo tecnológico EDIT IV, que realizó el Departamento Administrativo de Estadística (DANE) a las empresas manufactureras del país, para el período 2007-2008, dado el alto número de observaciones realizadas, la disponibilidad de los microdatos y la calidad de los mismos. Este tipo de estudios, derivados de las encuestas nacionales de innovación, se realizan de manera recurrente en la literatura (Amara & Landry, 2005; Tsai & Wang, 2009).

El estudio abarca un total de 6.954 pymes manufactureras, de todos los sectores de la economía, ubicadas a lo largo de todo el territorio colombiano. El instrumento utilizado por el DANE para la recolección de datos fue la encuesta.

El formulario de la encuesta, se presenta en varios capítulos, tratándose en cada uno de ellos, un aspecto diferente, a saber el impacto de la innovación, la inversión en actividades científicas, tecnológicas y de innovación, el capital humano relacionado con dichas actividades, el relacionamiento con los sistemas de innovación y aspectos relacionados con propiedad intelectual, certificaciones en calidad y las normas y reglamentaciones técnicas.

Algunas preguntas son de tipo cuantitativo, pero en su gran mayoría, de tipo cualitativo, con dos opciones de respuesta,

es decir, con respuesta SI o NO. Cada capítulo consta de subtemas relacionados con el tema principal del capítulo.

En cuanto a la depuración de la base de datos, se excluyeron aquellas variables que no aportaban al análisis, en el sentido de que sus modalidades de respuesta fueron muy disímiles (Jolliffe, 2002); por ejemplo, se descartaron preguntas cuya respuesta es SI o NO, donde el 98% respondieron bien que NO o bien que SI; esta información sesga el análisis de conjunto de las variables. También es importante anotar que en la variable llamada tipología, se unieron las modalidades de respuesta “potencialmente innovadoras” con “estrictamente innovadoras”, ya que su contribución de forma individual al análisis es baja y el hecho de estar cada una sola, sesga los resultados obtenidos.

Posteriormente, se realizó un análisis de correspondencias múltiple –ACM- para cada capítulo de la encuesta con tema específico y se determinaron algunas tipologías, mediante clasificación por grupos. Este método consiste en realizar asociaciones entre las variables estudiadas en las unidades de estudio, de tal manera, que las agrupa en unos factores, de acuerdo a similitudes (Escofier & Pagès, 1992). Finalmente, se realizó el análisis de resultados, buscando hallar asociaciones, que permitieran caracterizar los procesos de innovación, entre las unidades de estudio, tratadas en cada una de las variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cuanto a la innovación y su impacto en la empresa es importante destacar que lo que se pretendió fue evaluar cómo ha sido el proceso innovador y su impacto en las empresas, en cuanto a nuevos bienes y servicios ofrecidos, tanto nacional como internacionalmente. Los resultados del ACM muestran que los dos primeros ejes factoriales explican un 35,91% de la varianza, por ende, se forman tres grupos o clúster.

En el cuadro 1, se encuentra la distribución de los tres grupos; al primero de ellos, denominado innovadores (A), pertenece el 33,26% de las empresas, que se caracterizan por tener niveles altos en cuanto a nuevos métodos organizacionales y de producción, bienes originales y mejorados para el mercado nacional; además, no se encontraron obstáculos en cuanto a escases de recursos, falta de personal calificado, dificultad de cumplir con la información sobre el mercado, cumplimiento con las regulaciones y reglamentos técnicos, entre otros.

En cambio, al grupo de principiantes (B), pertenece el 13,75% de las pymes, que se caracterizan porque encontraron algunos obstáculos en su proceso innovador, como: incertidumbre frente a la ejecución técnica de proyectos y frente a la demanda de bienes y servicios innovadores, baja

Cuadro 1. Distribución de los clúster en función de las dimensiones de la Encuesta de Innovación Tecnológica colombiana EDIT IV.

ASPECTOS DE LA ENCUESTA DE INNOVACIÓN	COMPOSICIÓN DE LOS CLÚSTER		
Innovación e impacto en la empresa	A - Innovadores - 33,26%	B - Principiantes - 13,75%	C - Rezagados - 52,99%
Inversión en actividades científicas, tecnológicas y de innovación (CTi)	A - Innovadores - 11,88%	B - Rezagados - 88,12%	
Personal ocupado en actividades de CTi	A - Innovadores - 11,49%	B - Seguidoras - 13,49%	C - Rezagadas - 75,09%
Relaciones con actores del sistema nacional de CTi	A - Mucha investigación y relacionamiento - 5,89%	B - Incipiente investigación y relacionamiento - 19,26%	C - Poca investigación y relacionamiento - 74,91%
Propiedad intelectual, certificaciones de calidad, normas técnicas y reglamentarias	A - Innovadores - 7,81%	B - Seguidores - 24,26%	C - Rezagados - 67,93%

rentabilidad en la innovación, escaso personal calificado, capacidad de imitación por terceros, entre otros (Cuadro 1).

Por su parte, al grupo de rezagados (C) pertenece el 52,99% de las pymes, caracterizadas por encontrar en su proceso innovador obstáculos difíciles de superar, como la incertidumbre frente a la demanda de bienes y servicios innovadores y frente a la ejecución técnica de proyecto, la baja posibilidad de cooperación con otras empresas, la facilidad de imitación por terceros, la dificultad para acceder a financiamiento y la falta de personal calificado, entre otros. Se observa, también, que las empresas de este grupo no emprendieron proyectos nuevos, no hubo bienes mejorados para el mercado nacional ni nuevos métodos organizacionales; en este grupo de pymes rezagadas, el 70,91% son no-innovadoras, el 97,77% no lanzaron nuevos bienes y servicios para el mercado nacional y el 94,57% no diseñaron nuevos métodos organizacionales.

En el apartado inversión en actividades científicas, tecnológicas y de innovación (CTi), se tuvo en cuenta la inversión en capital, el personal ocupado en actividades de ciencia tecnología e innovación y la formación, a nivel de posgrado y profesional en las diferentes áreas funcionales de la empresa. De acuerdo con los resultados del ACM, los dos primeros ejes factoriales explican un 54,91% de la varianza, que permitieron configurar dos grupos o clúster.

En el cuadro 1, se evidencian estos dos grupos: al primero (A) pertenecen el 11,88% de las empresas y de este total, el 78,93%, son ampliamente innovadoras y un 21,07%, potencial o estrictamente innovadoras; además, hay un 31,84% de personal con formación en maestría y doctorado. Estas empresas, se caracterizan porque invirtieron en maquinaria y en equipo para la elaboración de bienes nuevos o procesos y bienes mejorados (80,27%).

De otro lado, está el otro grupo (B), con un 88,12% de las empresas; en este grupo, se presenta un 68,26%, de empresas no-innovadoras y un 77,81%, son pequeñas. Las empresas de este grupo, se caracterizan por tener un nivel pobre de inversión en asesoría de conocimientos tecnológicos, maquinaria y equipo para la elaboración de bienes nuevos o procesos y bienes mejorados; se puede clasificar este grupo, como los rezagados.

En lo relacionado con el personal ocupado en actividades de CTi, los resultados muestran que los dos primeros ejes factoriales explican un 40,04% de la varianza, que permiten formar tres grupos o clúster.

En el cuadro 1, se observan estos tres grupos: al primero, denominado innovadores, pertenecen sólo el 11,49% de las empresas, que tienen un alto porcentaje de respuesta afir-

mativa con respecto a tener personal dedicado a actividades de innovación, con título de posgrado y un porcentaje medio, con título de especialización, en las áreas funcionales de mercadeo, de producción, de administración y de finanzas; además, hay un número relativamente alto con título de pregrado, en áreas funcionales de mercadeo, de producción y de finanzas. En este grupo prevalece la empresa mediana, con un 67,71%, las ampliamente y estricta-potencialmente innovadoras representan un 55,83% y 15,27%, respectivamente. El grupo de seguidores (13,49%) tiene características similares a los innovadores; la diferencia radica en que el personal con posgrado, en áreas funcionales, es relativamente bajo, pero el porcentaje de personal con pregrado, en estas áreas, está dentro de un término medio. En el grupo de rezagadas (75,09%), el 83% de las empresas son pequeñas, el 74,89% son no-innovadoras y predomina un bajo porcentaje de empleados con una formación con título profesional con y sin posgrado, en actividades relacionadas con áreas funcionales y de innovación en la empresa.

En lo concerniente a las relaciones con actores del sistema nacional de CTi, los resultados muestran que los dos primeros ejes factoriales explican un 39,10% de la varianza, que permiten clasificar a las pymes en tres grupos o clúster.

En el cuadro 1, se puede observar que al grupo A, caracterizado por realizar mucha investigación y construir numerosas relaciones, pertenece sólo el 5,9% de las empresas, de las cuales, el 61,82%, de las pequeñas y el 56,65%, de las medianas y manifiestan relacionarse con universidades y agremiaciones, respectivamente; además, en cuanto a cooperación con los clientes y con proveedores, este porcentaje es de 55,91%, para las empresas pequeñas y 58,62%, para las medianas. En cuanto a la utilización de fuentes externas de información para los procesos de innovación, se observa un alto porcentaje de las empresas que dijeron utilizar seminarios y conferencias, normas y reglamentos técnicos, internet, ferias, consulta con expertos, entre otros.

En el grupo B, formado por el 19,26% de las pymes, se observa que estas tienen un mediano relacionamiento, específicamente, un 26,89%, de las pequeñas y un 19,64%, de las medianas, tienen relaciones de cooperación con los proveedores y con clientes, respectivamente. En cuanto a las fuentes de información, se observa un alto porcentaje de pymes que lo hacen con fuentes internas, tales como directivos de la empresa y departamentos de producción y ventas. Se categoriza este grupo B, como las empresas de nivel medio de investigación y relacionamiento. El grupo de mayor tamaño, el C (74,91% de las pymes), se caracteriza por unos niveles pobres en las variables examinadas, en comparación con los grupos A y B. Este grupo, lo conforman las empresas con un nivel bajo de investigación y relacionamiento; en este grupo, el 75,41% de las empresas son no innovadoras.

En cuanto a la propiedad intelectual, certificaciones de calidad, normas técnicas y reglamentarias, se encontró que los dos primeros ejes factoriales explican un 41,89% de la varianza, que permiten distinguir igualmente tres grupos o clúster.

El cuadro 1 muestra que las empresas del grupo A, en un relativo alto porcentaje, suscriben acuerdos de confidencialidad con los empleados y con otras empresas; en este grupo, el 48,25% de las empresas son medianas; el 61,51%, de las pequeñas empresas y el 21,18%, de las medianas son amplia y potencialmente innovadoras, respectivamente. Además, hay una alta respuesta positiva al cumplimiento de las reglamentaciones técnicas; este grupo presenta un alto grado de afectación en materia de propiedad intelectual, certificaciones y normas técnicas. En el grupo B, seguidores, constituido por el 24,26% de las pymes, se observa una mediana afectación positiva para las categorías registro de signos distintivos y marcas y cumplimiento con las reglamentaciones técnicas (68,41% de las empresas). El 45% de las pymes son ampliamente innovadoras, aunque el 100% de las empresas no tienen acuerdos de confidencialidad con los empleados, ni con otras empresas.

El grupo C (67,93% de las pymes), rezagados, presenta una alta tasa de respuesta negativa, en las categorías citadas anteriormente. Cabe notar que en este grupo, el 83,15% de empresas son pequeñas y un 71,27% de ellas son no innovadoras, situación que es coherente con las respuestas negativas, relacionadas con el tema de propiedad intelectual.

Tal como se constata en el análisis anterior, al examinar de forma conjunta las variables evaluadas en los procesos de innovación de las pymes, se obtuvieron algunos hallazgos importantes; uno de los principales, que las empresas se pueden agrupar en tres grupos o clúster: El primero, conformado por empresas exitosas, que obtuvieron, en casi todos los aspectos evaluados, calificaciones sobresalientes y aunque conforman un grupo relativamente pequeño son exitosas en sus procesos de innovación. El segundo grupo, se pudo caracterizar como de las empresas estables o indiferentes, que registraron niveles medios de desempeño innovador en función de las diversas categorías variables analizadas. Finalmente, el tercer grupo, conformado por, aproximadamente, unas tres cuartas partes de las empresas, presentó en promedio un bajo desempeño, en los diversos aspectos evaluados. Éste es el grupo de las pymes rezagadas no innovadoras, distinguidas por su baja capacidad de relacionamiento, falta de personal calificado, una baja inversión y dedicación a actividades relacionadas con innovación y, por ende, un nivel bajo, en el desarrollo de nuevos productos y servicios para el mercado. Esto es coherente con la realidad colombiana, si se tiene en cuenta que Colombia es un

país con un bajo nivel de inversión en actividades de ciencia, tecnología e innovación.

En términos generales, los aspectos de la encuesta, en los que se evidencia una mayor proporción de empresas que son seguidoras y rezagadas, son respectivamente: gestión de la propiedad intelectual y relación con actores del sistema de CT+i (Cuadro 1). En el caso del primero, se puede entender que en un contexto manufacturero no intensivo en tecnología, habrá una menor exigencia en torno al uso de medidas de protección de la propiedad intelectual; sin embargo, sí sorprende que el vínculo de las empresas con actores del sistema sea precario, cuando ha habido en los últimos veinte años un desarrollo significativo de la institucionalidad, que orienta y apoya las actividades de CT+i (Monroy, 2006).

Los estudios que se han realizado en el país, con base en la encuesta de innovación, se suelen concentrar en el análisis de los resultados en innovación, la inversión y el personal humano (Gómez, 2009; Gómez, 2011); sin embargo, los resultados de este trabajo, ponen de relieve los avances marginales de las empresas, en cuanto al desarrollo de rutinas organizacionales, orientadas a establecer un vínculo estratégico con los actores del sistema de CT+i, con el ánimo de absorber tecnología, llevar a cabo procesos de innovación y, en general, lograr reducción de costos y de complementariedades tecnológicas. Esta situación puede evidenciar la presencia del síndrome “no inventado aquí” (NIH por sus siglas en idioma inglés), el cual, indica un rechazo al conocimiento, que procede de fuentes externas (De Araújo *et al.* 2014).

En ese sentido, los resultados obtenidos también pueden ser un insumo importante para la determinación de políticas públicas en materia de gestión de tecnologías e innovación, ya que permiten identificar focos de atención, especialmente, en las falencias que se presentan en los sistemas nacionales de innovación.

En cuanto a las limitaciones, la encuesta nacional de innovación no incorpora, de manera clara, escalas de medida, ampliamente utilizadas en la literatura, para medir los distintos constructos que la componen, lo cual, puede suponer problemas de fiabilidad y de validez de contenido, convergente y discriminante.

En relación con las perspectivas futuras del trabajo, queda abierta la posibilidad de profundizar en estudios posteriores en la investigación de los hallazgos logrados, en particular, hacer un uso más eficiente y técnico de la información, que permita describir y analizar el grado de innovación de las pymes y sus procesos, no sólo según el tamaño y tipo de empresa, sino también, según los sectores donde desarrollan su actividad económica, la región geográfica donde se

localizan y su desempeño exportador. Del mismo modo, es preciso ahondar en la identificación de los factores que inhiben la relación entre las empresas y los actores del sistema de CT+i, por ejemplo, indagar sobre la presencia del NIH.

Conflicto 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.

BIBLIOGRAFÍA

1. AMARA, N.; LANDRY, R. 2005. Sources of information as determinants of novelty of innovation in manufacturing firms: evidence from the 1999 statistics Canada innovation survey. *Technovation*. 25(3):245-259.
2. BARTELS, F.; KORJA, R. 2014. Mapping, measuring and managing African national systems of innovation for policy and development: the case of the Ghana national system of innovation. *African J. Science, Technol., Innov. Developm.* 6(5):383-400.
3. CABELLO-MEDINA, C.; LÓPEZ-CABRALES, A.; VALLE-CABRERA, R. 2011. Leveraging the innovative performance of human capital through HRM and social capital in Spanish firms. *Int. J. Human Resource Managem.* 22(04):807-828.
4. CASTELLACCI, F. 2011. Closing the technology gap? *Rev. Developm. Econom.* 15(1):180-197.
5. CHESBROUGH, H. 2003. The logic of open innovation: managing intellectual property. *California Managem. Rev.* 45(3):33-58.
6. CROSSAN, M.; APAYDIN, M. 2010. A multi-dimensional framework of organizational innovation: A systematic review of the literature. *J. Managem. Studies.* 47(6):1154-1191.
7. DANE. 2011. Documento metodológico encuesta de desarrollo e innovación tecnológica en la industria Manufacturera EDIT. Bogotá: DANE. 43p.
8. De ARAÚJO, A.; PRAEST, M.; ALSTED, H. 2014. Neither invented nor shared here: The impact and management of attitudes for the adoption of open innovation practices. *Technov.* 34(3):149-161.
9. DURÁN, X.; IBÁÑEZ, R.; SALAZAR, M.; VARGAS, M. 1998. La innovación tecnológica en Colombia: Características por tamaño y tipo de empresa. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación. 237p.
10. ESCOFIER, B.; PAGÈS, J. 1992. Análisis factoriales simples y múltiples. Bilbao: Servicio Editorial de la U. del País Vasco. 285p.
11. FAGERBERG, J.; SRHOLEC, M. 2008. National innovation systems, capabilities and economic development. *Res. Policy.* 37(9):1417-1435.
12. FILIPPETTI, A.; ARCHIBUGI, D. 2011. Innovation in times of crisis: National Systems of Innovation, structure, and demand. *Res. Policy.* 40(2):179-192.
13. GÓMEZ, F. 2009. Las capacidades de innovación tecnológica y desempeño empresarial y sectorial en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 51p.
14. GÓMEZ, M. 2011. Evolución de las capacidades de innovación en la industria colombiana: Un análisis comparativo de los resultados de las encuestas de innovación de 1996 y 2005. Universidad Nacional de Colombia. 58p.
15. GUAN, J.; MA, N. 2003. Innovative capability and export performance of Chinese firms. *Technov.* 23(9):737-747.
16. HONG, S.; OXLEY, L.; Mc CANN, P. 2012. A survey of the innovation surveys. *J. Economic Surveys.* 26(3):420-444.
17. HURMELINNA-LAIKKANEN, P.; OLANDER, H. 2014. Coping with rivals' absorptive capacity in innovation activities. *Technov.* 34(1):3-11.
18. JARAMILLO, H.; LUGONES, G.; SALAZAR, M. 2000. Manual de Bogotá: normalización de indicadores de Innovación tecnológica en América Latina y en el caribe. Bogotá: Ricyt. 99p.
19. JOLLIFFE, I. 2002. Principal component analysis. Hoboken: John Wiley & Sons, 488p.
20. KLEIS, L.; CHWELOS, P.; RAMIREZ, R.; COCKBURN, I. 2012. Information technology and intangible output: The impact of IT investment on innovation productivity. *Inform. Syst. Res.* 23(1):42-59.
21. LAWSON, B.; SAMSON, D. 2001. Developing innovation capability in organisations: a dynamic capabilities approach. *Int. J. Innov. Managem.* 5(3):377-400.

22. MALAVER, F.; VARGAS M. 2013. Formas de innovar y sus implicaciones de política: lecciones de una experiencia. Cuadernos de Economía. 32(60):499-532.
23. MARCH, I. 2003. La medición del desempeño ante la innovación mediante el uso de indicadores y macroindicadores. Madrid. Monografía: Rev. Invest. Gestión Innov. Technol. (España). 8:20-30.
24. MONROY, S. 2006. Nuevas políticas y estrategias de articulación del sistema de ciencia, tecnología e innovación colombiano. Innovar. 16(28):157-172.
25. OCDE. 2005. Oslo manual. Oslo: OCDE. 163p.
26. ROTHAERMEL, F.; HESS, A. 2007. Building dynamic capabilities: Innovation driven by individual-, firm-, and network-level effects. Organiz. Sci. 18(6):898-921.
27. TSAI, K.; WANG, J. 2009. External technology sourcing and innovation performance in LMT sectors: An analysis based on the Taiwanese Technological Innovation Survey. Res. Policy. 38(3):518-526.
28. VARGAS, P.; MALAVER, F. 2004. Los avances en la medición del desarrollo tecnológico en la industria colombiana. Rev. Iberoam. Ciencia, Technol. Soc. 1(2):137-166.
29. YAM, R.; GUAN, J.; PUN, K.; TANG, E. 2004. An audit of technological innovation capabilities in Chinese firms: some empirical findings in Beijing, China. Res. Policy. 33(8):1123-1140.
30. YAM, R.; LO, W.; TANG, E.; LAU, A. 2011. Analysis of sources of innovation, technological innovation capabilities, and performance: An empirical study of Hong Kong manufacturing industries. Res. Policy. 40(3):391-402.
27. TSAI, K.; WANG, J. 2009. External technology sourcing and innovation performance in LMT sectors: An

Recibido: Diciembre 18 de 2014

Aceptado: Julio 21 de 2015

Cómo citar:

Torres, J.; Cataño, G.; Arias, J. 2015. Caracterización de la innovación en las pymes manufactureras en Colombia desde la perspectiva del análisis clúster. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 525-532.

EVOLUCIÓN DIACRÓNICA DEL PENSAMIENTO ESTRATÉGICO

DIACRONIC EVOLUTION OF THE STRATEGIC THINKING

Germán Rodríguez¹, Johan Antolinez²

¹Ingeniero Químico, M.Sc. en Dirección y Gerencia, Profesor. Universidad del Rosario, e-mail: german.rodriguez@urosario.edu.co; ²Politólogo, M.Sc. en Análisis de Problemas Políticos, Económicos e Internacionales Contemporáneos, Profesor. Fundación Universitaria San Martín, e-mail: johan.antolinez@sanmartin.edu.co. Dirección para correspondencia: Carrera 50B 64-44 Apto. 3-603, Bogotá DC, Colombia.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 533-542, Julio-Diciembre, 2015

RESUMEN

En el estudio del comportamiento empresarial se han construido diversos modelos, para entender las estrategias desarrolladas por las empresas y encontrar la forma en que las organizaciones puedan perdurar en espacios sectoriales, cada vez más competidos. Estos modelos partieron de la estructuración de procesos internos de la organización; posteriormente, comenzaron a mirar el entorno empresarial, trazando metas a futuro y, luego, se incorporaron otras disciplinas, para comprender el mercado, el consumidor y los competidores, con el propósito de establecer estrategias competitivas efectivas. El objetivo del presente artículo es realizar una revisión histórica de algunos de los principales autores, con diversos modelos de pensamiento estratégico, que van desde lo organizacional hasta lo complejo y buscar dentro de ellos líneas de coincidencia, que permitan discernir mejor dicha evolución.

Palabras clave: Estrategia, perdurabilidad, mercado, innovación, planeación.

SUMMARY

In the study of the corporate behavior diverse models have been structured to understand the strategies developed by the companies and to find the way the organizations could last in sectorial spaces increasingly competed. These models initiated with the structuring of internal processes of the organization, later they began to look at the corporate environment planning goals to future and afterwards other disciplines were included to understand the market, the consumer and the competitors in order to establish effective competitive strategies. The aim of this study is to make a historic overview of some of the principal authors and their thinking

models in order to seek coincidence lines to allow a better comprehension of that evolution.

Key words: Strategy, durability, market, innovation, planning.

INTRODUCCIÓN

La construcción de empresas altamente perdurables es el reto de la administración moderna. Los nuevos enfoques construidos, a partir de los modelos de complejidad, brindan la posibilidad de elaborar una estructura mental totalmente diferente a la que ha gobernado el estudio de la ciencia administrativa, para acercarla a un modelo de empresa, con características de ser vivo (de Geus, 1997).

Los comportamientos adaptativos –típicos de las estructuras naturales que tienen vida– son observados, permanentemente, en las organizaciones de tipo social. Lo anterior es debido a que las empresas consumen energía del medio, como: información y materias primas o conocimiento en sus procesos autopoiéticos, utilizadas con fines creadores, en la generación de nuevos productos, conocimientos y procesos, en un entorno que es cada día más turbulento (Rivera Rodríguez, 2010).

De acuerdo con Hernández *et al.* (2007), los sistemas complejos, como lo son las empresas, pueden presentar las siguientes características o comportamientos: son un grupo de componentes o individuos que se relacionan entre sí para constituir un todo coherente; poseen características en el todo, que no son perceptibles a partir de la individualidad de sus componentes; el sistema crea condiciones para su reproducción y su permanencia en el tiempo (perdurabilidad) y tienen una transformación autónoma y existe una interrelación con el entorno, en el que se desenvuelve.

Así es, como indican Daft & Weick (1984), en cuanto a que se puede ubicar a las empresas en uno de los cuatro modos o estadios de interpretación del entorno que las rodea: interrelacionando si este es fácilmente analizable o no y su actividad o pasividad ante él mismo. Dutton & Jackson (1987) mencionan, al respecto, que un individuo (Hernández *et al.* 2007) o una organización pueden etiquetar un evento, como “oportunidad” o “amenaza”, dependiendo de diferentes variables, como los procesos cognitivos y afectivos y los comportamientos individuales e interacciones sociales.

Los mecanismos utilizados para lograr cambios en una estrategia son clave. Esto es, en la medida en que una empresa tiene un modelo organizacional heterogéneo y una cultura empresarial divergente, que puede adoptar estrategias diferentes de las ya establecidas. Debe siempre existir una tensión constructiva, entre lo que es necesario preservar y lo que se debe cambiar (Johnson, 1988). De acuerdo con lo anterior, se deduce que todos los esfuerzos que se hagan, con el objeto de entregarle a las empresas herramientas necesarias de análisis sistémico de su realidad, son fundamentales, para permitirles cumplir con sus fines últimos vitales: creación de valor económico para los stakeholders y perdurabilidad (Restrepo Puerta, 2004b).

La perdurabilidad, se puede entender como una característica natural, desarrollada por un sistema, que busca permanecer en el tiempo, adaptándose –de forma evolutiva- frente a los cambios que se van produciendo en el entorno (Restrepo Puerta *et al.* 2009). Con todo esto, resulta pertinente implementar un estudio que, por medio de una revisión histórica, recoja algunas de las principales líneas de pensamiento estratégico, permita comprender mejor el muy amplio espectro de enfoques, que desde cada perspectiva enriquece el estudio de la estrategia de empresa y, por tanto, amplíe los posibles caminos de la perdurabilidad.

REVISIÓN DIACRÓNICA DE LOS MODELOS DE ESTRATEGIA

El modelo organizacional

En las últimas décadas se han construido diferentes paradigmas respecto a la concepción epistemológica, funciones y responsabilidades, de lo que en el mundo empresarial posmoderno, se denomina estrategia de empresa (Bowman *et al.* 2006). Dichos paradigmas han enriquecido la discusión respecto a cómo surge la estrategia dentro de una empresa y, segundo, cómo es que a través de ella, tanto los líderes como sus organizaciones, intentan perdurar en espacios sectoriales, cada vez más estrechos. Barnard (1938), quien se ocupó de describir la función de la estrategia, a través de las responsabilidades que los ejecutivos tienen dentro de la corporación, resalta que la principal función del director es

mantener en operación la compañía, a través de la construcción de unos canales de comunicación apropiados, que permitan la fluida articulación de todas las actividades, diseñadas de manera compleja.

Simon (1944) plantea un modelo, en donde la fortaleza de las decisiones estratégicas se encuentra en el adecuado empoderamiento que se le debe dar al personal operativo de la organización, por medio del desarrollo de conceptos, como coordinación, experiencia, especialización del trabajo, responsabilidad y unidad de mando, todo bajo lo que el autor denomina especialización vertical del trabajo.

La estrategia ortodoxa. Rivalidad competitiva

Posteriormente, autores como Alfred Chandler, se concentraron en el estudio del comportamiento de la estructura de la organización, dada la definición de una estrategia. En su obra *Strategy and Structure* de 1962, Chandler pudo determinar la dependencia lineal que existe entre el amoldamiento permanente de las estructuras de la organización, frente a las estrategias definidas.

De manera simultánea, Ansoff (1965) juxtapone la toma de decisiones empresariales, basadas en los criterios puramente financieros, que él denomina modelo CIT (Capital Investment Theory), frente a lo que llama el nuevo método, que se apoya en la estructuración y el desarrollo de procesos estratégicos formales, basados, principalmente, en la manera como una compañía se integra al mercado por medio de sus productos. Igualmente, amplía los conceptos de sinergia, de ventaja competitiva, de panorama de mercado y de vector de crecimiento, como los rasgos distintivos de un proceso adecuado de formación estratégica (Tabla 1). Este último componente expone los conceptos de penetración de mercado, de desarrollo de mercados y productos y de diversificación.

Andrews (1971) estructura un proceso de construcción formal de la estrategia, dándole un peso específico superior a las etapas de elaboración de ésta, concibiendo la formulación estratégica, como un proceso planificado. En este caso, la responsabilidad máxima de la construcción del proceso estratégico recae sobre el ejecutivo que debe liderarlo.

Un salto cualitativo importante en la concepción de la estrategia de empresa lo facilitan Ansoff *et al.* (1976), en su libro “From strategic planning to strategic management”, en donde integran la gestión estratégica de la empresa y su relación con el mercado. Como elementos relevantes del modelo aparecen, por un lado, la importancia de la consideración del estudio pormenorizado del entorno empresarial desde perspectivas no solo de valor agregado hacia el consumidor sino, además, valorando estructuras económicas, financieras y sectoriales, a través de un nuevo concepto, denomi-

Tabla 1. Matriz de Vector de crecimiento de Ansoff.

	PRODUCTO ACTUAL	PRODUCTO NUEVO
MERCADO ACTUAL	Penetración	Desarrollo de producto
MERCADO NUEVO	Desarrollo de mercado	Diversificación

nado “turbulencia sectorial” (Ansoff, 1991). Por otro lado, se presenta el concepto de “estrategia contingente”, como resultado de la turbulencia e inestabilidad de los mercados (Ansoff *et al.* 1976; Ansoff, 1990; Restrepo Puerta, 2004a). Los cambios aquí mencionados llevaron a una percepción diferente de lo que se entendía como estrategia, colocándola en un nivel de análisis superior, más allá de la consideración de las capacidades, las estructuras y los procesos internos de la empresa, obligando a un extenso y detallado análisis del potencial estratégico del mercado (Hofer & Schendel, 1978). Además, los conceptos de innovación de productos y de mercados aparecen como la nueva base del desarrollo estratégico de la empresa.

Paralelamente, Mintzberg (1976) estructura su crítica a la manera como se educaba a los estudiantes de los programas de “Master of business administration (MBA)”, en las principales escuelas de negocios de Norteamérica. La principal razón es la alta orientación racionalista en la formación, dejando a un lado, elementos relevantes en la función gerencial de las empresas, como el liderazgo, la capacidad de innovación o la imaginación, como recursos fundamentales del quehacer administrativo. Más adelante, Mintzberg (1978) –a partir de una reflexión respecto a los modelos mentales, tanto del director como de la misma empresa-, le da una gran relevancia a la formación de la estrategia, a partir de los patrones de conducta que moldean la actividad estratégica de la compañía, durante prolongados periodos de tiempo.

Hofer & Schendel (1978) desarrollaron un modelo propio de proceso estratégico, en el que incluyen siete pasos para su estructuración: identificación de la estrategia, análisis ambiental y de recursos, análisis de brecha, alternativas, análisis y selección de la estrategia. De igual forma, establecieron las bases de lo que más adelante llamaron estrategia corporativa, desarrollando el concepto de unidades estratégicas de negocio. Posteriormente, (Schendel & Hofer, 1979) delimitaron los posibles niveles estratégicos de una corporación, para diferenciar aquellas que tienen que ver con las influencias de tipo político y social de aquellas meramente competitivas en el sector (Figura 1).

De forma paralela a las corrientes estructurales de la formación de los procesos estratégicos, aparece la propuesta de Quinn (1980), en la que se plantea que un proceso de for-

mulación estratégica, más que ser un proceso estático de tipo determinístico, es uno en el que la planificación y la ejecución se implementan de forma simultánea en un proceso integral de aprendizaje del entorno y capacidad de adaptación de la organización.

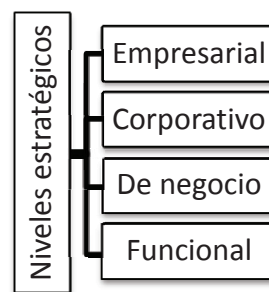


Figura 1. Niveles estratégicos de Hofer & Schendel (1978).

En las décadas de los 70 y 80, Michael Porter expuso varios elementos básicos, que modelaron los desarrollos de estrategia competitiva, en los años posteriores. El primero tiene que ver con la manera en que un mercado es moldeado, a través del comportamiento de cinco fuerzas que interactúan, permanentemente, buscando establecer poderes de negociación relativos superiores; tales fuerzas son: rivalidad entre competidores, poder de negociación con proveedores, poder de negociación con clientes, amenaza de entrada de nuevos competidores y amenaza de ingreso de productos sustitutos (Porter, 1979). Posteriormente, Porter (1980) incluye en su teoría los conceptos de análisis de la industria y los competidores, sofisticando los análisis estratégicos de entorno, así como las estrategias, todo dentro del marco de la rivalidad estratégica. Más adelante, Porter (1985) hace un análisis detallado de la cadena de valor y cómo sus actividades son las que crean las diferencias competitivas, que le van a permitir –a una empresa- establecer diferencias en el mercado.

Desde la perspectiva de la sociología institucional, DiMaggio & Powell (1983) presentan el concepto de isomorfismo, que explica los orígenes y las características de la imitación, de

acuerdo con tres orígenes: isomorfismo coercitivo (necesidad de cumplir con estándares y procedimientos), isomorfismo normativo (influencia de la experiencia profesional que homogeniza las estructuras de las organizaciones) e isomorfismo mimético (copia de las mejores prácticas del sector). Este modelo intenta explicar la tendencia intrínseca de las empresas a imitarse, buscando ser aceptadas en el mercado. Similar a las consideraciones de DiMaggio & Powell (1983), que tienen un alto contenido de aprendizaje organizacional, Bourgeois (1984) contraponen procesos de formación estratégica, como los de Porter (1979; 1980; 1985) o Hofer & Schendel (1978), categorizados como de tipo determinístico, con nuevos modelos dialécticos de construcción de realidades para la organización, concluyendo sobre la necesidad de involucrar ambos esquemas mentales en uno solo, que incluya procesos de tipo emergente o deliberados (Mintzberg & Waters, 1985).

Posteriormente, Mintzberg (1987b) desarrolló un nuevo punto de partida para lograr interpretar el concepto de proceso estratégico dentro de una empresa, denominado las 5 "p": plan, patrón, pauta, perspectiva y posición. Éstas, se entrelazan, de tal forma que es posible identificar rasgos de cada una de ellas en el proceso estratégico de una empresa. Con este desarrollo conceptual, Mintzberg concibió los procesos estratégicos como una mezcla única de experiencia, de conocimiento, de intuición y de validación dinámica de los resultados de la estrategia intentada (Mintzberg, 1987a). Continuando con su trabajo, Porter (1987) amplió el concepto de estrategia corporativa y lo diferenció de los modelos de estrategia de negocio, en el sentido de responsabilizar a las corporaciones de los procesos de diversificación.

A pesar que en esa década los nuevos modelos estratégicos desarrollados tenían una alta orientación sectorial y económica, Hamel & Prahalad (1989) abordaron el problema estratégico, intentando incorporar más elementos de tipo directivo que gerencial, buscando construir procesos heterodoxos, con una alta orientación a un liderazgo estratégico. El modelo está basado en la capacidad de las organizaciones de establecer sentido de dirección, descubrimiento y destino, como elementos inspiracionales del proceso.

Partiendo de habilidades, como la experiencia y la intuición, Ohmae (1989) intenta describir los procesos mentales del estratega, en un modelo que propone tres puntos de origen de las estrategias: la compañía, el cliente o la competencia, dependiendo de las oportunidades del mercado o de sus competencias distintivas. El modelo reafirma la idea que los procesos estratégicos son, ante todo, procesos de aprendizaje mental permanentes, que luego son formalizados. Entrando en la década del 90, Ansoff (1990) profundiza respecto al concepto de turbulencia, que en adelante será parte integral de los modelos que se desarrollen.

Aparición del modelo incremental. Conciliación de dos perspectivas

La idea de turbulencia y del desarrollo de las capacidades estratégicas de adaptación, llevaron a Ansoff (1991) a introducir una crítica estructural al modelo de Mintzberg (1990), considerando un desacierto el hecho de categorizar los modelos, por él desarrollados, dentro de las escuelas descriptivas, sin tener en cuenta lo planteado respecto a la necesidad de ir construyendo estructuras adaptativas dentro de la organización, a partir de la comprensión adecuada de los cambios del entorno.

Mintzberg (1994) elevó una crítica a los modelos racionales de creación de la estrategia empresarial, a través de la formulación de las falacias de la predeterminación, el desapego y la formalización, en las que se fundamentan los procesos estructurales de planeación, basados en una previsión determinista. A pesar de la crítica presentada por Mintzberg (1994), Porter (1996) recopiló sus principales ideas en torno al concepto de ventaja competitiva de una empresa, haciendo especial énfasis en la configuración de una cadena de valor (Figura 2), lo suficientemente diferente, en donde se deben reflejar las ventajas competitivas de la compañía sobre sus rivales. Insistió en la importancia de profundizar la posición estratégica seleccionada por la empresa, dentro de la cadena de valor (Restrepo Puerta, 2004a) y propuso las renunciaciones estratégicas o trade offs, como elementos clave del proceso.

De forma simultánea a las corrientes funcionales de pensamiento estratégico surgen otros modelos, con un alto contenido de aprendizaje organizacional en su estructura. Es así, como Senge *et al.* (2000) consideran, de una relevancia estratégica, el hecho que las organizaciones desarrollen capacidades adaptativas en función de su capacidad, para desaprender y aprender nuevos conocimientos y formula al pensamiento sistémico, como la base de este proceso, dentro de las organizaciones, que él mismo denomina inteligentes. Senge (1990), igualmente, destaca la importancia que tiene un proceso de planificación, que propenda por desarrollar visiones y propósitos compartidos, para potenciar las capacidades intrínsecas de los miembros de una organización.

Por su parte, Heracleous (1998) busca conciliar los conceptos de "planeación estratégica", que se refieren a un proceso de pensamiento programático y analítico, como aquello propuesto por Andrews (1971) y Hofer & Schendel (1978) y "pensamiento estratégico", que es un proceso de pensamiento divergente y creativo (Mintzberg, 1987a); como partes integrales de la "gerencia estratégica".

Otro intento conciliador de las escuelas estructuralistas y creativas lo realizaron Knights & Morgan (1991), analizan-

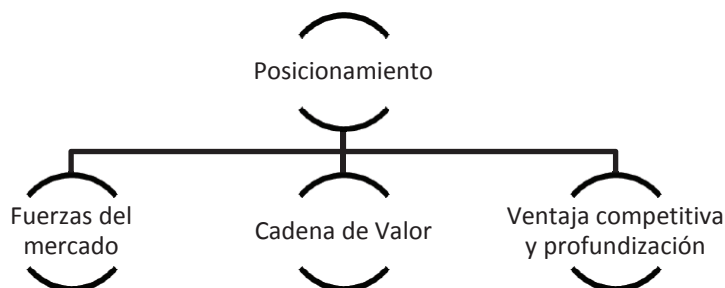


Figura 2. Conceptos de posicionamiento de Porter (1996).

do los dos enfoques sobre la estrategia registrados en la literatura del momento: el racionalista (Ansoff, 1965; Hofer & Schendel, 1978; Porter, 1980; 1985) y el procedimental (Mintzberg, 1978; Mintzberg & Waters, 1985; Pettigrew, 1987). El primero establece una serie de técnicas racionales para la gerencia de negocios complejos, en un entorno cambiante. El segundo implica que la estrategia no solo abarca procesos racionales sino también políticos, alrededor de la implementación de la estrategia, que pueden afectar su efectividad. Knights & Morgan (1991) consideran que se deben examinar las relaciones de poder, donde la estrategia establecida se comienza a articular y materializar, para ver si esta constituye una solución para el problema planteado o debe ser redefinida.

El análisis sectorial y la innovación

A su vez, el estudio del comportamiento sectorial ha involucrado investigaciones desde las perspectivas del mercadeo, la sociología y la economía empresarial, buscando, ante todo, reducir la posibilidad de imitación de las propuestas de valor que, según autores, como Nattermann (1997), Kim & Mauborgne (2004) y Restrepo Puerta *et al.* (2008), restringe la perdurabilidad de una empresa y suprime el valor económico agregado, que existe dentro de un sector económico. Kim & Mauborgne (2004) formalizaron el concepto de “océanos azules”, donde establecen un paralelo entre la tranquilidad que representa un océano azul equivalente a mercados completamente libres de imitación, frente a océanos rojos, con alta rivalidad. Bajo esta nueva óptica, tanto Kim & Mauborgne (2004) como Burke *et al.* (2009, 2010) proponen a los estrategas buscar, sistemáticamente, océanos azules para sus empresas, de tal manera que se alejen de la rivalización directa con sus competidores y tengan un alto enfoque hacia la innovación.

Otras corrientes de pensamiento desarrollan la idea del proceso de imitación, como una estrategia válida, para defender la posición de una compañía, dentro de su mercado (Pidal Gon-

zález, 2008). Esto es posible, si además se complementa la estrategia con procesos de perfeccionamiento del producto o servicio ofrecido, entregando al mercado nuevos atributos, que no eran claramente percibidos dentro del producto original.

Hax & Majluf (1993) divulgaron un modelo de proceso estratégico, que parte del análisis de los estados financieros de la corporación, para determinar su posición estratégica, dentro de la denominada matriz direccional. El resultado del estudio, de dicha interacción, determina el grado de agresividad o defensa que debe adquirir una compañía, en función de la posición determinada en la matriz.

Nattermann (1997) estudió el fenómeno del hacinamiento y la erosión de los beneficios financieros de un sector estratégico, como una de las respuestas implícitas a varios factores, como el tamaño de las barreras de entrada de un sector, la sofisticación tecnológica, los recursos inimitables, el equilibrio económico de la oferta y la demanda y las maniobras estratégicas, entre otros. La convergencia estratégica es el fenómeno, a través del cual, las empresas que están involucradas en la competencia por los clientes de un mercado hacen reflexiones estratégicas similares (Restrepo Puerta & Rivera Rodríguez, 2005). Esto es, los modelos mentales construidos en el recorrer de los años por las empresas y se han hecho tan parecidos, que las respuestas que dan los rivales del sector, se parecen cada vez más.

Restrepo Puerta *et al.* (2008) diseñaron un modelo cuantitativo de análisis del nivel de hacinamiento basado en indicadores financieros, que permite determinar la llamada maduración del mercado o su nivel de hacinamiento, la asimetría entre empresas o sectores, el grado de concentración de los resultados financieros y las empresas o sectores con desempeño superior.

Tanto Prahalad & Hamel (1994) como Prahalad & Hart (2002), se cuestionan respecto a los modelos estratégicos corporativos ortodoxos y la rivalidad competitiva –ya exacer-

bada por dichas estrategias- y plantean una nueva aproximación a mercados no abordados, con rupturas de los modelos estratégicos, hasta ahora planteados. El nuevo modelo, se fundamenta en la consideración que la base de la pirámide social (la población con más bajos recursos económicos en el mundo) puede llegar a ser un gran mercado para las multinacionales y, simultáneamente, un nuevo paradigma socio-económico.

En la primera década del siglo XXI, debido a los estudios sobre cambios sectoriales y la preocupación respecto a la supervivencia de las pequeñas empresas, varios autores extrapolaron los conceptos de estrategia y de perdurabilidad empresarial al estudio de Pymes, indagando respecto a los principales factores que afectan su perspectiva de supervivencia.

Beltrán (2006) describe los 20 principales problemas estratégicos de las pequeñas empresas, concluyendo que, en general, la débil formalización de sus procesos administrativos, el escaso desarrollo de cultura organizacional y la poca reflexión estratégica y de entorno son las causas primordiales de la mortalidad empresarial, especialmente de las Pymes.

Por otro lado, Anzola Morales (2006) valoró la importancia de la construcción de una cultura organizacional orientada hacia la competitividad, con base en rasgos, como la comunicación, los valores organizacionales y la estructura de la empresa, como punto de partida, para elevar la posibilidad de supervivencia de las Pymes.

El pensamiento complejo y la estrategia

Durante la última década se han llevado a cabo esfuerzos para generar nuevamente cambios estructurales en los modelos de comprensión de los procesos estratégicos, integrando los modelos de pensamiento complejo o de ciencias de la complejidad a las ciencias administrativas. Desde esta perspectiva, Martinet (2008) aleja la estrategia de la ciencia tradicional y la categoriza como una ciencia de lo complejo con un gran número de variables, información incompleta e innumerables interacciones, en el que un sistema no tiene una única solución óptima y propone, como su objetivo, el dar sentido a las reflexiones empresariales de los líderes.

Maldonado & Gómez (2010) incluyeron la idea de sistemas computacionales de simulación gerencial, para ambientes considerados complejos, como lo son las empresas y sus entornos, yuxtaponiendo la ingeniería de los sistemas complejos con la modelación lineal ortodoxa, hasta ahora utilizada. Aplicando estos conceptos, Martínez Huartos *et al.* (2011) buscaron el modelamiento de un panorama competitivo en regiones bi y tridimensionales, a través de la mecánica estadística o la teoría de enjambres, intentando describir nuevos segmentos de mercado, para lograr ventajas competitivas.

Partiendo de las reflexiones del pensamiento complejo que intentan abordar el problema de la perdurabilidad de las empresas, a partir de los modelos no lineales adaptativos, se han integrado los conceptos de sistemas ecológicos colaborativos, como una nueva salida para la reducción de la rivalidad sectorial y la mortalidad empresarial. Gregori (2014) planteó un modelo que utiliza los principios del pensamiento complejo de Edgar Morin (1994), buscando construir modelos cooperativos, que le permitan a las empresas adaptarse en ambientes de alta turbulencia. Bajo esta misma óptica, Dias de Toledo *et al.* (2014) desarrollan la idea del continuum colaborativo, como la nueva estrategia de perdurabilidad empresarial, basado en relaciones filantrópicas transaccionales e integrativas, buscando cambiar el concepto de rivalidad competitiva por el de cooperación, que no incluye el costo de oportunidad, que implica la muerte de una empresa, a manos de sus rivales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de artículo y objetivo: El presente estudio es un artículo de revisión que, según Cué (2008) es una investigación selectiva, que pretende analizar y sintetizar la información recolectada, para llegar a una conclusión. En este caso, se busca recoger algunos de los principales autores y corrientes de pensamiento en el área de estrategia, mostrar su evolución a lo largo del tiempo y concluir respecto a grupos de pensamiento comunes, en dicho desarrollo histórico. Dado este objetivo, la revisión bibliográfica buscó recoger diferentes puntos de partida en el análisis y variadas perspectivas sobre el tema, para ampliar los matices de la discusión.

Fuentes primarias: El principal medio de búsqueda de fuentes primarias, se concentró en el Sistema Integrado de Búsqueda de la Universidad del Rosario, que incluye el propio repositorio institucional de libros y de revistas indexadas de investigación y bases de datos, como Embase.com, ProQuest Business y Elsevier.com, usando palabras clave como: estrategia, perdurabilidad, mercado, innovación, planeación y organizaciones.

Criterios de selección de los artículos: Los principales criterios de selección de los artículos, aquí presentados, fueron la búsqueda de autores relevantes dentro de su propio campo de estudio, artículos y autores con líneas de pensamiento diversas, con ópticas divergentes del problema estudiado y la relevancia de los artículos y las revistas donde fueron publicados. De esta forma, se intentó asegurar una amplia recopilación, tanto cronológica como conceptual, buscando asegurar la pertinencia de los autores seleccionados.

Organización de la información: Posteriormente, se realizaron dos tipos de categorizaciones con los artículos seleccionados: una cronológica y otra de línea de pensamiento,

buscando grupos de enfoques, que permitan, por un lado, una mejor comprensión del tema y, por otro, cumplir con el objetivo de la revisión (Cué, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultado de la revisión bibliográfica diacrónica, en el que se categorizaron los autores referenciados (Tabla 2), en bloques con líneas de pensamiento común, en lo que respecta a la formación de estrategia empresarial:

Los autores organizacionales, le dan una gran importancia al liderazgo del ejecutivo en la construcción de empresas competitivas, a través de la formalización de adecuados canales de comunicación, clara definición de roles y una alta capacidad de aprendizaje colectivo. En la medida en que el entorno geo-económico fue adquiriendo rasgos turbulentos, se fueron elaborando modelos más estructurados, que con-

centraban el esfuerzo del análisis estratégico, en la forma como una compañía debía abordar su mercado y cómo obtener una posición competitiva superior a la del rival (ortodoxia estratégica).

Durante varias décadas, este concepto se profundizó como la principal escuela de estrategia; sin embargo, el incremento paulatino de la complejidad sectorial, junto con los cada vez más rápidos ciclos de maduración de los mercados modelados, a través de los conceptos de hacinamiento y de convergencia (análisis sectorial), llevaron a pensar en la reformulación del paradigma de pensamiento estratégico, llevándolo a una órbita menos estructuralista, integrando, a esta perspectiva, principios, como la emergencia, la intuición y la simultaneidad en el proceso planeación-ejecución, mostrando rasgos adaptativos en las respuestas de una empresa, frente a los cambios de entorno (bloque incremental). Paulatinamente, el modelo de rivalidad competitiva se fue

Tabla 2. Categorías de pensamiento estratégico.

BLOQUE	AUTORES	CARACTERÍSTICAS
ORGANIZACIONAL	Simon (1944), Barnard (1938), DiMaggio & Powell (1983), Bourgeois (1984), Senge (1990), Anzola Morales (2006)	Modelo centrado en la descripción de las funciones estratégicas de los individuos, especialmente, los líderes organizacionales. Fuerte tendencia al desarrollo de las habilidades adaptativas, soportadas en procesos de aprendizaje y comunicación organizacional.
ORTODOXO	Ansoff (1965, 1990, 1991), Hofer & Schendel (1978), Porter (1979, 1985, 1987, 1996), Pidal González (2008)	Desarrollo del concepto de rivalidad competitiva y ventaja competitiva. Desarrollo del posicionamiento estratégico, como elemento central del avance de los planes estratégicos de las empresas. Evolución del concepto de estrategia corporativa, diferente al de estrategia de negocio. Aparición del concepto de UEN.
INCREMENTAL	Mintzberg (1976, 1978, 1987 a y b, 1990, 1994), Heracleous (1998) y Knights & Morgan (1991), Quinn (1980)	Reconciliación de modelos racionales con creativos. Aparición del concepto de estrategia emergente. Integración de las relaciones de poder con el desarrollo de la estrategia y su eficacia. Desarrollo del concepto de proceso estratégico.
INNOVACIÓN	Hamel & Prahalad (1989) & Mauborgne (2004)	Concepción de la estrategia formulada, a través de la eliminación de la rivalidad y la creación de nuevos espacios de mercado, por medio de procesos profundamente innovativos. Desarrollo del concepto de océanos azules y rojos.
SECTORIAL	Nattermann (1997), Hax & Majluf (1993) y Restrepo Puerta & Rivera Rodríguez (2005, 2008), DiMaggio & Powell (1983)	Enfoca su esfuerzo en poder analizar, a profundidad, el comportamiento sectorial, con base en análisis financieros estratégicos agregados, concluyendo respecto al potencial de crecimiento o decrecimiento de un sector y de sus empresas. Se desarrollan los conceptos de maduración sectorial, convergencia estratégica y hacinamiento, cuando el nivel de imitación es alto.
COMPLEJIDAD	Martinet (2008), Maldonado & Gómez (2010), Martínez Huartos <i>et al.</i> (2011), Gregori (2014), Dias de Toledo <i>et al.</i> (2014)	Se integra a la reflexión estratégica el pensamiento complejo, buscando construir nuevas realidades, a partir de modelos mentales, que involucran conceptos de ecología, geometría de fractales y matemáticas complejas. El fenómeno empresarial es considerado complejo, debido a las múltiples variables involucradas, el alto grado de incertidumbre y la gran cantidad de respuestas válidas al problema empresarial.

atenuando, abriendo, de nuevo, paso a la importancia del desarrollo de habilidades individuales y colectivas (paradigma organizacional), que le permitieran implementar fuertes y profundos procesos de aprendizaje creativo, con una alta carga de innovación en los mercados, que evite la rivalidad directa con los competidores (modelo de innovación).

Las grandes transformaciones geoeconómicas y geopolíticas que tumbaron las fronteras y la globalizaron de la economía provocaron el crecimiento exponencial de las variables que una compañía debe tener monitoreadas, para construir su ruta estratégica; esto, junto con las grandes transformaciones tecnológicas y la creciente incertidumbre sectorial, llevó a integrar al pensamiento estratégico de las organizaciones los modelos adaptativos, de sistemas ecológicos y de múltiples realidades, como base de un nuevo modelo de pensamiento, en donde no hay una respuesta única válida al problema de la perdurabilidad (pensamiento complejo).

Como se aprecia, la evolución del paradigma del pensamiento estratégico tiene que ver con la búsqueda permanente de nuevos modelos mentales, que le permitan a la compañía construir su camino hacia la perdurabilidad. De hecho, los actuales retos estratégicos de las organizaciones están asociados con la forma como la alta dirección aborda la realidad empresarial, a partir de múltiples entornos geoeconómicos, geopolíticos y sectoriales, que permitan adaptarse, adecuadamente, a los efectos que sobre la economía de la empresa tienen los acontecimientos de tipo mundial, para finalmente lograr el anhelado camino de la perdurabilidad.

Pensar que la forma de hacer negocios es inmutable y que basta con encontrar un buen producto para ser competente en el mercado es una buena forma de acortar la vida de una empresa. Rápidamente, se debe aceptar que las empresas están sometidas “a mayor y mejor exposición mundial, con todas las oportunidades y amenazas que ello implica” (Restrepo Puerta, 2004b). Por tanto, el estudio, la crítica y el análisis de la evolución del paradigma estratégico son necesarios y relevantes, para construir nuevas formas del quehacer empresarial.

Conflicto 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:** Esta revisión es financiada por la Fundación Universidad Autónoma de Colombia, en el marco de la convocatoria No. 19 del SUI (Sistema Unificado de Investigación), para investigadores externos y es parte de la investigación Rasgos de hacinamiento sectorial en Colombia. Valoración del renglón industrial de los mismos autores.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANDREWS, K. 1971. The concept of corporate strategy. Ed. Dow-Jones Irwin (Estados Unidos). 245p.
2. ANSOFF, I. 1965. Corporate strategy: an analytic approach to business policy for growth and expansion. Ed. McGraw-Hill (Estados Unidos). 241p.
3. ANSOFF, I. 1990. General management in turbulent environments. *The Practising Manager* (Australia). 11(1):6-27.
4. ANSOFF, I. 1991. Critique of Henry Mintzberg's "The design school. Reconsidering the basic premises of strategic management". *Strategic Managem. J.* (Reino Unido). 12(6):449-461.
5. ANSOFF, I.; DECLERCK, R.P.; HAYES, R.L. 1976. From strategic planning to strategic management. Ed. John Wiley (Estados Unidos). 257p.
6. ANZOLA MORALES, O.L. 2006. La cultura corporativa y su relación con la competitividad. *Sotavento M.B.A.* (Colombia). (7):38-50.
7. BARNARD, C. 1938. The functions of the executive. Ed. Harvard University Press (Estados Unidos). 334p.
8. BELTRÁN, A. 2006. Los 20 problemas de la pequeña y mediana empresa. *Sotavento M.B.A.* (7):8-15.
9. BOURGEOIS III, L. 1984. Strategic management and determinism. *Acad. of Managem. Rev.* (Estados Unidos). 9(4):586-596.
10. BOWMAN, E.; SINGH, H.; THOMAS, H. 2006. The domain of strategic management: history and evolution. En: Pettigrew, A.; Thomas, H.; Whittington, R. (eds). *Handbook of strategy and management*. Ed. Sage Publications Ltd. (Londres). p.31-51.
11. BURKE, A.; VAN STEL, A.; THURIK, R. 2009. Blue ocean versus competitive strategy: theory and evidence. *ERIM Report Series Research in Management*. Disponible desde Internet en <http://repub.eur.nl/pub/16037> (con acceso 08/10/14).
12. BURKE, A.; VAN STEL, A.; THURIK, R. 2010. Blue ocean vs. five forces. *Harvard Business Rev.* (Estados Unidos). 88(5):28-29.
13. CHANDLER, A.J. 1962. Strategy and structure. Ed. MIT Press (Estados Unidos). 463p.

14. CUÉ, M. 2008. Síntesis de información y artículos de revisión. ACIMED. (Cuba). 17(2):1-11.
15. DAFT, R.; WEICK, K. 1984. Toward a model of organizations as interpretation systems. *Acad. of Managem. Rev.* 9(2):284-295.
16. DE GEUS, A. 1997. *The living company*. Ed. Harvard Business School Press. (Estados Unidos). 215p.
17. DIAS DE TOLEDO PITOMBO, T.C.; FRANÇA DA CUNHA, C.; SOARES, J.A.; BERNARDO MYCZKOWSKI, M.H.; KASSOUF PIZZINATTO, A. 2014. El continuum de la colaboración como herramienta estratégica para la sustentabilidad de las organizaciones. *Invenio: Rev. Invest. Acad.* (Argentina). 17(33):103-113.
18. DIMAGGIO, P.J.; POWELL, W.W. 1983. The iron cage revisited institutional isomorphism and collective rationality. *Am. Sociol. Rev.* (Estados Unidos). 48(2):147-160.
19. DUTTON, J.; JACKSON, S. 1987. Categorizing strategic issues: links to organizational action. *Acad. of Managem. Rev.* 12(1):76-90.
20. GREGORI, M. 2014. Un modelo corporativo-colaborativo como propuesta en la gestión compleja de la organización en un entorno cambiante. *Rev CIEG Centro de Investigación y Estudios Gerenciales.* (Venezuela). 5(1):31-44.
21. HAMEL, G.; PRAHALAD, C.K. 1989. Strategic intent. *Harvard Business Rev.* 67(3):63-76.
22. HAX, A.; MAJLUF, N. 1993. *Gestión de empresa con una visión estratégica*. Ed. Dolmen (Chile). 450p.
23. HERACLEOUS, L. 1998. Strategic thinking or strategic planning? *Long Range Planning* (Reino Unido). 31(3):481-487.
24. HERNÁNDEZ MARTÍNEZ, A.G.; SAAVEDRA MAYORGA, J.J.; SANABRIA R., M. 2007. Hacia la construcción del objeto de estudio de la administración: una visión desde la complejidad. *Rev. Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión.* Universidad Militar Nueva Granada (Colombia). 15(1):91-112.
25. HOFER, C.; SCHENDEL, D. 1978. *Strategy formulation: analytical concepts*. Ed. West Publishing Co. (Estados Unidos). 234p.
26. JOHNSON, G. 1988. Rethinking incrementalism. *Strategic Managem. J.* 9(1):75-91.
27. KIM, W.C.; MAUBORGNE, R. 2004. Blue ocean strategy. *Harvard Business Rev.* 82(10):76-84.
28. KNIGHTS, D.; MORGAN, G. 1991. Corporate strategy, organizations and subjectivity: a critique. *Organization Studies* (Reino Unido). 12(2):251-273.
29. MALDONADO, C.E.; GÓMEZ CRUZ, N. A. 2010. *Modelación y simulación de sistemas complejos*. Ed. Centro de Estudios Empresariales para la Perdurabilidad. Universidad del Rosario. (Colombia). 32p.
30. MARTÍNEZ HUARTOS, J.H.; RIVERA RODRÍGUEZ, H.A.; MALDONADO CASTAÑEDA, C.E.; MENDOZA PULIDO, I.A. 2011. Adquisición de ventajas competitivas mediante la generación de un territorio estratégico. *Contaduría y Administración.* (México). 234(2):11-31.
31. MINTZBERG, H. 1976. Planning on the left side and managing on the right. *Harvard Business Rev.* 54(4):49-58.
32. MINTZBERG, H. 1978. Patterns in strategy formation. *Managem. Science* (Estados Unidos). 24(9):934-948.
33. MINTZBERG, H. 1987a. Crafting strategy. *Harvard Business Rev.* 65(4):66-75.
34. MINTZBERG, H. 1987b. The strategy concept I: five Ps for strategy. *California Managem. Rev.* (Estados Unidos). 30(1):11-24.
35. MINTZBERG, H. 1990. The design school. Reconsidering the basic premises of strategic management. *Strategic Managem. J.* 11(3):171-195.
36. MINTZBERG, H. 1994. *The rise and fall of strategic planning*. Ed. The Free Press. (Estados Unidos). 464p.
37. MINTZBERG, H.; WATERS, J. 1985. Of strategies, deliberate and emergent. *Strategic Managem. J.* 6(3):257-272.
38. MARTINET, A.C. 2008. Strategy and strategic management of companies: A historical and critical review. *RAC* (Brasil). 12(4):1131-1158.
39. MORIN, E. 1994. *Introducción al pensamiento complejo*. Ed. Gedisa. (España). 176p.

40. NATTERMANN, P. 1997. New entry, strategy convergence and the erosion of the industry profitability. Ed. Cass Business School (Reino Unido). 44p.
41. OHMAE, K. 1989. La mente del estratega. Ed. McGraw Hill (España). 202p.
42. PETTIGREW, A. 1987. Context and action in the transformation of the firm. *J. Managem. Studies* (Estados Unidos). 24(6):649-670.
43. PIDAL GONZÁLEZ, M.J. 2008. La estrategia de imitación: estado del arte. *Anales Universidad Metropolitana* (Venezuela). 8(1):53-75.
44. PORTER, M. 1979. How competitive forces shaped strategy. *Harvard Business Rev.* 57(2):137-145.
45. PORTER, M. 1980. Competitive strategy: techniques for analyzing industries and competitors. Ed. The Free Press. (Estados Unidos). 396p.
46. PORTER, M. 1985. Competitive Advantage. Ed. The Free Press. (Estados Unidos). 592p.
47. PORTER, M. 1987. From competitive advantage to corporate strategy. *Harvard Business Rev.* 65(3):43-59.
48. PORTER, M. 1996. What is strategy? *Harvard Business Rev.* 74(6): 61-78.
49. PRAHALAD, C.; HAMEL, G. 1994. Strategy as a field of study: why search for a new paradigm? *Strategic Managem. J.* 15(S2):5-16.
50. PRAHALAD, C.; HART, S. 2002. The fortune at the bottom of the pyramid. *Strategy+business magazine* (Estados Unidos). 26:2-14.
51. QUINN, J.B. 1980. Strategies for change: logical incrementalism. Ed. Richard D. Irwin Inc. (Estados Unidos). 222p.
52. RESTREPO PUERTA, L.F. 2004a. Gestión estratégica y competitividad. Ed. Universidad Externado de Colombia (Bogotá). 182p.
53. RESTREPO PUERTA, L.F. 2004b. Interpretando a Porter. Ed. Centro Editorial Universidad del Rosario (Colombia). 90p.
54. RESTREPO PUERTA, L.F.; RIVERA RODRÍGUEZ, H.A. 2005. ¿Por qué la convergencia estratégica puede originar la mortalidad empresarial? *Rev. Universidad y Empresa.* Universidad del Rosario. (Colombia). 7(9):66-85.
55. RESTREPO PUERTA, L.F.; RIVERA RODRÍGUEZ, H.A. 2008. Análisis estructural de sectores estratégicos. 2ª ed. Ed. Universidad del Rosario. (Colombia). 235p.
56. RESTREPO PUERTA, L.F.; VÉLEZ BEDOYA, R.; MÉNDEZ ÁLVAREZ, C.E.; RIVERA RODRÍGUEZ, H.A.; MENDOZA SABOYA, L. 2009. Aproximación a una metodología para la identificación de componentes que crean condiciones para la perdurabilidad en empresas colombianas. Ed. Universidad del Rosario (Colombia). 80p.
57. RIVERA RODRÍGUEZ, H. 2010. Cambio estratégico para entornos turbulentos. *Rev. Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión.* Universidad Militar Nueva Granada. 18(1):87-117.
58. SCHENDEL, D.; HOFER, C. 1979. Strategic management: a new view of business policy and planning. Ed. Little, Brown & Co. (Estados Unidos). 538p.
59. SENGE, P. 1990. La quinta disciplina. Ed. Juan Granica S.A. (España). 490p.
60. SENGE, P.; KLEINER, A.; ROBERTS, C.; ROSS, R.; ROTH, G.; SMITH, B. 2000. La danza del cambio. Los retos de sostener el impulso en organizaciones abiertas al aprendizaje. Ed. Norma S.A (Colombia). 498p.
61. SIMON, H. 1944. Decision-making and administrative organization. *Public Administration.* (Estados Unidos). 4(1):16-30.

Recibido: Noviembre 25 de 2014

Aceptado: Julio 15 de 2015

Cómo citar:

Rodríguez, G.; Antolinez, J. 2015. Evolución diacrónica del pensamiento estratégico. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 533-542.

CORRELACIÓN CANÓNICA ENTRE ÍNDICES MACROCLIMÁTICOS Y VARIABLES METEOROLÓGICAS DE SUPERFICIE EN COLOMBIA

CANONICAL CORRELATION BETWEEN LARGE SCALE CLIMATE OSCILLATIONS AND SURFACE METEOROLOGICAL VARIABLES IN COLOMBIA

Diana Díaz¹, Nancy Villegas²

¹ Física, M.Sc., Meteorología, Departamento de Ciencias Básicas. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, carrera 4 # 22-61, Bogotá, D.C., Colombia. e-mail: dianac.diaz@utadeo.edu.co; ² Ingeniera Oceanóloga, Ph.D. en Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geociencias. Universidad Nacional, Avenida Carrera 30 # 45, Bogotá D.C., Colombia. e-mail: nvillegasb@unal.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 543-552, Julio-Diciembre, 2015

RESUMEN

El análisis de correlación canónica es propuesto como herramienta para relacionar variables meteorológicas de superficie en Colombia y oscilaciones climáticas, de gran escala. El trabajo aporta una metodología, que permite generar conocimientos sobre el clima y mejorar los pronósticos, a largo y mediano plazo. El estudio fue realizado para El Niño Oscilación Sur (ENSO), la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), la Oscilación Cuasibienal (QBO) y los valores totales mensuales de precipitación y de temperatura máxima. Las oscilaciones fueron representadas por medio de índices climáticos globales y las variables utilizadas corresponden a tres estaciones meteorológicas, ubicadas en los departamentos de Santander y de Boyacá. Los resultados muestran la potencia de este método estadístico para identificar asociaciones, mediante un enfoque multivariado, donde los índices macroclimáticos actúan como predictores. Las correlaciones y las cargas canónicas encontradas indican una correspondencia, entre las variables y el ciclo ENSO, especialmente, durante diciembre-febrero, en el periodo 1980-2012. Por el contrario, la relación con la NAO y la QBO, es discreta y oscilante.

Palabras clave: Variabilidad climática, análisis multivariante, oscilaciones atmosféricas, El Niño/Oscilación del Sur (ENOS).

SUMMARY

This study examines relationships between available surface meteorology variables and climatic oscillations using cano-

nical correlation analysis (CCA). The general methodology is explained and applied to three particular cases. Canonical loadings and cross loadings from CCA are evaluated for three meteorological stations located in municipalities of Boyacá and Santander. The tests were carry out using temperature and precipitation data and three climate oscillations – the Ocean Niño Index (ONI), North Atlantic Oscillation (NAO), and Quasi-biennial oscillation (QBO). The results show the power of this statistical method to identify associations with an acceptable level of confidence using multivariate approach. The analysis reveals relationships mostly between the variables and the ENSO for all cases and a discrete connection with the NAO and QBO. Add climate indices to the group of independent variables increased the explained variance rates between 3 and 7% and therefore contribute to a better understanding of climate dynamics in the country.

Key words: Climate variability, atmospheric oscillations, Multivariate analysis, El Niño Southern Oscillation (ENSO).

INTRODUCCIÓN

El clima de Colombia está determinado por la ubicación del país sobre el ecuador geográfico, zona donde confluyen los vientos alisios (Carmona & Poveda, 2012). Adicionalmente, la cercanía con el océano pacífico, el mar caribe, la selva amazónica y la presencia de la cordillera de los Andes, favorecen los procesos convectivos, que hacen de Colombia un país con abundancia hídrica y diversidad de climas (IDEAM, 2005). Los procesos océano-atmosféricos de mayor influencia en Colombia son el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), el fenómeno del Niño Oscilación Sur (ENSO) y la Oscilación Madden Julian (OMJ)

(IDEAM, 2005; Poveda *et al.* 2011; Henríquez, 2012; Hoyos *et al.* 2013). Las características promedio y la clasificación de los climas en cada región son conocidas gracias a los registros históricos de las variables meteorológicas de superficie (VMS); sin embargo, dada la complejidad del sistema climático, aún no se ha comprendido completamente la influencia de las Oscilaciones Climáticas de Gran Escala (OCGE) sobre el comportamiento de las VMS, en las diferentes zonas climáticas del país (Montealegre, 2009; Henríquez, 2012). El desconocimiento de dicha relación no favorece la realización de pronósticos a largo y mediano plazo y aumenta el grado de vulnerabilidad de las regiones, ante situaciones meteorológicas adversas.

Comprender cómo afectan las OCGE a la región tropical contribuye a una mejor comprensión del clima global y a la realización de mejores pronósticos (Vera *et al.* 2010; Fonseca & Cavalcanti, 2012). El problema principal para adelantar este tipo de investigaciones radica en la poca disponibilidad de series de tiempo, cuya longitud permita estudiar fluctuaciones interdecadales e interanuales. A pesar de la dificultad, varios autores han intentado evaluar la influencia de fenómenos macroclimáticos, en los patrones climáticos locales; algunos ejemplos son: el estudio de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), por Poveda *et al.* (1998, 2002); la Oscilación Cuasibienal (QBO), por Zea *et al.* (2000); Zuluaga *et al.* (2000) y Carmona & Poveda (2012) y el fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS), por Montealegre (2009), Poveda *et al.* (2011), Henríquez (2012), Hoyos *et al.* (2013) y Córdoba *et al.* (2014), entre otros. Tanto los anteriores autores como el presente estudio evalúan el efecto de la NAO, la QBO y el ENOS, por medio de índices, que describen el proceso físico correspondiente.

El índice para representar la NAO es definido como la diferencia normalizada entre la presión, a nivel del mar en Gibraltar y Reykjavik, al suroeste de Islandia. Un índice positivo significa una realza en la Alta de los Azores, ocasionando, en el hemisferio norte, un ascenso atípico en la temperatura del aire, cuando es invierno y, un descenso, cuando es verano. Un índice negativo implica el proceso contrario (Zorita *et al.* 1991). Poveda *et al.* (1998, 2002) realizaron correlaciones cruzadas trimestrales, entre la NAO y la precipitación, encontrando asociaciones fuertes y negativas, especialmente, en el sector de la costa atlántica y más débiles y positivas, hacia el centro y sur del país, con un rezago de seis meses; sin embargo, los mismos autores recomiendan profundizar en el tema.

El índice para representar la QBO es la dirección del viento zonal, en el nivel de 30 hPa. La fluctuación en la dirección del viento es observada en la baja y media estratósfera ecuatorial, con un período entre 20 a 36 meses y una media de 26 meses. Algunos estudios indican que afecta la frecuencia de los ciclones tropicales en el Atlántico y las condiciones climá-

ticas del país (Zea *et al.* 2000; Baldwin *et al.* 2001). Zuluaga *et al.* (2000) correlacionaron la QBO con la precipitación y la radiación de onda larga de varios sectores del país, sin obtener asociación estadística, razón por la cual, los autores sugieren emplear otros métodos de correlación. A pesar de la existencia de una banda cuasi-bienal en los registros de lluvia en el país, aún son pocos los trabajos publicados sobre el posible vínculo, entre la QBO y la hidrología del país.

Finalmente, los índices Southern Oscillation Index (SOI) y Ocean Niño Index (ONI) son considerados para representar el ENOS (Poveda *et al.* 1998; 2002; 2011). El SOI es calculado como la diferencia estandarizada de presión, a nivel del mar, entre Tahití y Darwin; valores positivos, se asocian con eventos La Niña y negativos, con El Niño (Stevens & Ruscher, 2014). El ONI, se calcula como la media móvil trimestral de las anomalías de la TSM, medida por ERSST.v3b en la región Niño 3.4, sobre la base de períodos de treinta años, actualizados cada cinco años. Valores por encima de 0,5 por tres meses consecutivos, se vinculan con eventos Niño e inferiores a -0,5, a eventos Niña. Los estudios de correlación cruzada trimestral, entre el ENOS y la hidroclimatología del país, han identificado asociaciones con la precipitación y con los caudales de los ríos; las más fuertes, durante el trimestre diciembre-enero-febrero (DEF) y las más débiles, para el periodo marzo-abril-mayo (MAM) (Poveda *et al.* 2002). Estos estudios revelan que el impacto del ENOS sobre las variables hidrológicas, se propaga del oeste hacia el este (Poveda *et al.* 2002; 2011; Hoyos *et al.* 2013; Córdoba *et al.* 2014). A diferencia de los estudios mencionados, este trabajo propone el uso de correlación canónica entre índices macroclimáticos, como el SOI, ONI, NAO o QBO y VMS, como la temperatura máxima y la precipitación en los ejemplos construidos.

Análisis de Correlación Canónica (ACC): El ACC es un método multivariado lineal utilizado para comparar dos conjuntos de datos: uno independiente X y otro dependiente Y , compuestos de un número p de variables x_i y q variables y_j , respectivamente.

En el ACC, se crean combinaciones lineales x^* y y^* , llamadas variables canónicas (VC), con al menos dos de las variables de cada conjunto:

$$x^* = X\alpha = \sum_{i=1}^p \alpha_i x_i \quad y^* = Y\beta = \sum_{j=1}^q \beta_j y_j \quad (1)$$

Los vectores α y β deben maximizar la correlación entre x^* e y^* ; cada VC debe tener varianza y no estar correlacionada con otras VC:

$$Corr[x_k^* y_M^*] = \begin{cases} r_c, k = M \\ 0, k \neq M \end{cases} \quad (2)$$

Donde r_c es la correlación canónica. El cálculo de las VC, se realiza a partir de las matrices de varianza y de covarianza $[S_c]$ de las variables iniciales X y Y :

$$[S_c] = \begin{bmatrix} [S_{XX}] & [S_{XY}] \\ [S_{YX}] & [S_{YY}] \end{bmatrix} \quad (3)$$

(p×p) (p×q)
(q×p) (q×q)

$[S_{xx}]$ y $[S_{yy}]$ son las matrices de varianza y covarianza de las p variables en X y las q variables en Y ; $[S_{xy}]$ $[S_{yx}]$ son las matrices de covarianza entre los elementos de X y los de Y . Las correlaciones canónicas r_c entre las diferentes VC, que se determinen, están dadas por la raíz cuadrada de los valores propios, diferentes de cero de las matrices:

$$[M_x] = [S_{xx}]^{-1} [S_{xy}] [S_{yy}]^{-1} [S_{yx}] \quad (4)$$

$$[M_y] = [S_{yy}]^{-1} [S_{yx}] [S_{xx}]^{-1} [S_{xy}] \quad (5)$$

y los vectores canónicos α y β serán los respectivos vectores propios de las matrices que satisfacen:

$$[M_x] \alpha = r_c^2 \alpha \quad (6)$$

$$[M_y] \beta = r_c^2 \beta \quad (7)$$

Los valores de α y β revelan cuáles variables tienen la mayor fuerza explicativa dentro de la correlación y son importantes cuando se está construyendo un modelo predictivo (Wilks, 2006; Singh *et al.* 2012). Además de α y β en el ACC, se calculan también las cargas canónicas (CC) y las cargas canónicas cruzadas (CCC). Las CC permiten conocer la contribución de cada variable observada x_i y y_i a su respectiva VC x^* y y^* . Las CC independientes son las correlaciones lineales entre x_i y x^* , y las CC dependientes entre y_i y y^* . Las CCC proveen información más significativa de la relación entre las variables observadas y las nuevas VC (Katz *et al.* 2003). Las CCC independientes son las correlaciones lineales entre x_i y y^* y las CCC dependientes entre y_i y x^* . Finalmente, en el ACC es estimado el coeficiente de redundancia, que permite establecer el porcentaje de varianza, explicada en el conjunto de variables dependientes, por parte del conjunto de variables independientes (Katz *et al.* 2003). El ACC fue el método seleccionado, por ser uno de los menos dependientes de la periodicidad de los fenómenos y, como en este caso se están analizando procesos que evolucionan en escalas de tiempo distintas, utilizar esta metodología, es apropiado (Wilks, 2006; Singh *et al.* 2012).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio implementa el ACC como herramienta para relacionar los índices de la NAO, el ENOS y la QBO con la precipitación y la temperatura máxima de tres estaciones meteorológicas, cada una ubicada en El Cucharó, departamento de Santander, Villa de Leyva y Sutatenza, departamento de Boyacá, como se muestra en la figura 1. Las VMS fueron obtenidas del Instituto de Estudios Ambientales (IDEAM), mediante el convenio marco No. 031/2009. Las estaciones meteorológicas fueron elegidas por contar con series mensuales multianuales, mayores de 30 años, en ambas variables y por tener el menor número de datos faltantes, durante el periodo 1980-2012. Las series de los índices fueron obtenidas del sitio web del Earth System Research Laboratory (ESRL, 2014), también para el periodo 1980-2012.

Las variables fueron organizadas como series de tiempo trimestrales, correspondientes a los periodos: diciembre-enero-febrero (DEF), marzo-abril-mayo (MAM), junio-julio-agosto (JJA) y septiembre-octubre-noviembre (SON), es decir, que cada serie original se divide en cuatro series, de acuerdo con Stevens & Ruscher (2014); esta forma de disponer los datos maximiza la posibilidad de encontrar relaciones entre las OCGE y las VMS.

El ACC fue realizado por separado para cada trimestre; el grupo de las variables dependientes y_i fue conformado por las series de precipitación y de temperatura máxima de cada trimestre analizado. El grupo de las variables independientes x_i estuvo compuesto por las series de los índices de todos los trimestres, es decir, que en cada análisis fue evaluado el grado de relación de las VMS de un trimestre dado, con los índices de todos los trimestres del año.

Para los tres lugares fueron realizadas tres pruebas distintas, por cada uno de los cuatro trimestres. En la primera prueba, las variables independientes fueron NAO y ONI; en la segunda, NAO y SOI y, en la tercera, NAO, ONI y QBO. El objetivo de realizar tres pruebas distintas fue identificar con qué combinación de índices se obtenía la mayor correlación; por tanto, se realizaron en total 36 ACC.

Al finalizar cada ACC fue realizada la prueba F con la aproximación de Rao (Stevens & Ruscher, 2014) y se aceptaron los resultados estadísticamente significativos, con un nivel de confianza, al menos del 90% (Hair *et al.* 1998). En cada análisis, se estimaron los siguientes valores: los coeficientes de correlación entre las variables canónicas (r_c), los vectores α y β , las cargas canónicas (CC), las cargas canónicas cruzadas (CCC), los coeficientes de redundancia y los porcentajes de confiabilidad. No existe un estándar universal de significancia para considerar las correlaciones y las cargas canónicas, obtenidas de un ACC, por tanto, el investigador

debe interpretar los resultados, de acuerdo a la naturaleza de la investigación y a su propia experiencia. Para el presente estudio, se consideraron relevantes valores iguales o superiores a 0,4, en el caso de las CC y a 0,2, para las CCC, que son los umbrales usuales para el ACC, con datos geofísicos (Zorita *et al.* 1991; Stevens & Ruscher, 2014).

En la etapa siguiente fueron graficadas las cargas, en un diagrama de barras. Las CC dependientes fueron multiplicadas con las CCC independientes y este valor es el graficado. De acuerdo con lo explicado en la introducción, en este caso, las CC dependientes son las correlaciones lineales entre la precipitación y la temperatura con su correspondiente variable canónica. Y las CCC independientes son la correlación lineal entre los índices considerados y las variables canónicas, resultantes de la combinación lineal de la precipitación y la temperatura. Multiplicar estas dos cargas permite identificar el grado de relación entre cada índice y las variables mencio-

nadas. Para este trabajo fue escrito un código en R versión 2.14.2, que permite ejecutar todos los pasos mencionados. El código fue escrito para calcular los estadísticos descriptivos, graficar las variables, construir las series trimestrales, realizar los ACC, seleccionar los valores, de acuerdo a los umbrales establecidos y visualizar los resultados, mediante la gráfica de barras. La ventaja del código es que automatiza la ejecución del análisis y agiliza la posterior emulación para cualquier serie de variables meteorológicas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Climatología del área de estudio: La figura 1 muestra el comportamiento medio mensual multianual de la precipitación y la temperatura máxima y mínima de los lugares considerados. En el sector de la estación Villa de Leyva, la precipitación presenta un régimen bimodal con dos máximos, que ocurren durante abril y octubre y mínimos, en enero y

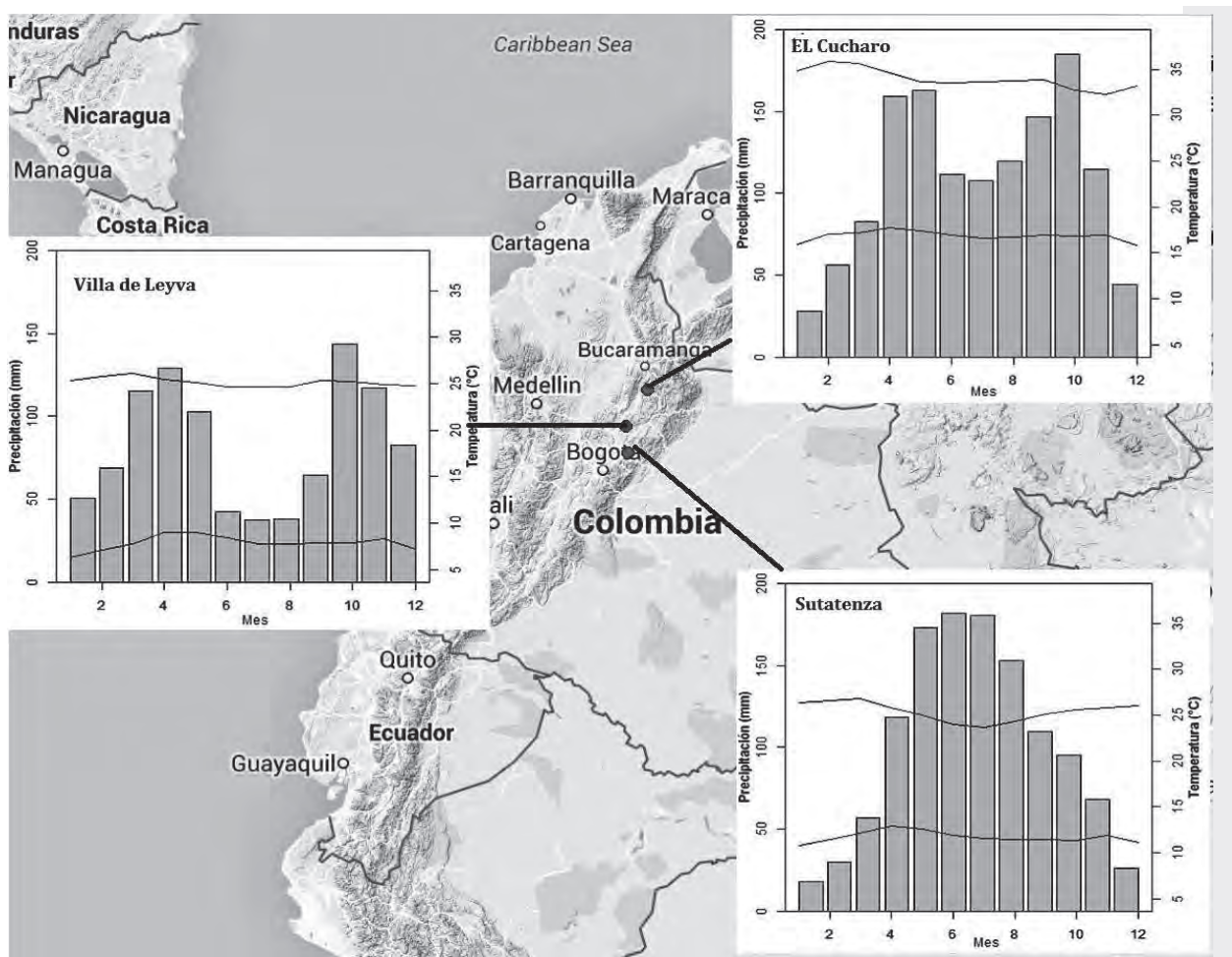


Figura 1. Climatología mensual de la precipitación y la temperatura máxima y mínima, medidas durante el periodo 1980-2012, en la estación de Villa de Leyva, Sutatenza y El Cucharó.

junio-agosto, que corresponden con el desplazamiento sur-norte de la ZCIT; este punto recibe en promedio 992 mm/año. La temperatura promedio es de 17°C, con los valores promedio mensuales más bajos, durante noviembre-enero y los más altos, en marzo-mayo. La temperatura máxima varía alrededor de los 25°C y la mínima de los 7°C. En el sector de la estación Sutatenza, la precipitación es máxima durante junio-julio y mínima, diciembre-enero; este punto recibe en promedio 1209,71mm/año. La temperatura promedio es de 17,82°C y los valores más bajos son registrados durante junio-agosto y los más altos, en noviembre-marzo. La temperatura máxima varía alrededor de los 25°C y la mínima de los 11°C.

En el sector de El Cucharo, la precipitación es máxima durante abril-mayo y septiembre-octubre y mínima, en diciembre-febrero y junio-julio; este punto recibe en promedio 1328,5 mm/año. La temperatura promedio en este sector es de 24,74°C y los valores más bajos son registrados durante octubre-noviembre y los más altos, en febrero-marzo. La temperatura máxima oscila alrededor de los 33°C y la mínima de los 16°C. Considerando los climagramas de la figura 1, el patrón pluviométrico de Villa de Leyva y El Cucharo están determinados por el doble paso de la ZCIT durante el año, que ocasiona dos temporadas secas y dos húmedas durante el año. Por el contrario, en Sutatenza es observada una temporada seca, predominante de noviembre a marzo y otra húmeda, de abril a octubre.

Análisis de Correlación: En la primera prueba, la proporción de varianza de las variables meteorológicas, explicada por los índices, oscila entre 16 y 43%, en el periodo DEF; entre 18 y 30%, en MAM; entre 19 y 26%, en JJA y entre 24 y 33%, durante la temporada SON, como es resumido en la tabla 1. El trimestre con los porcentajes más altos es DEF, seguido por SON. Los menores coeficientes de correlación y de porcentajes de varianza explicada fueron obtenidos en el caso de Sutatenza y los mayores, en Villa de Leyva. La diferencia de los resultados obtenidos en estos dos casos es explicada por el contraste del ciclo hidrológico, entre los dos lugares. En Sutatenza, el régimen de precipitación es controlado, primordialmente, por procesos de mesoescala, como la circulación valle-montaña; por el contrario, en Villa de Leyva y El Cucharo, el patrón de lluvia es bimodal, en respuesta, principalmente, al desplazamiento de la ZCIT. La discrepancia entre los factores generadores de la precipitación de los tres lugares, explica la disimilitud en la influencia de las OCGE sobre el comportamiento de las VMS, siendo más visible la relación en el caso de Villa de Leyva y El Cucharo.

En la figura 2, los números junto a la etiqueta de los índices son utilizados para referirse al periodo: 1, corresponde a DEF; 2, a MAM; 3, a JJA, y 4, a SON. La figura mostró que durante DEF sobresalen las correlaciones de las variables

ONI1, ONI3 y NAO1. En MAM, la temperatura máxima esta mejor relacionada con ONI1, ONI3 y con NAO1 y NAO2; la asociación de la precipitación con todos los índices no superó el límite propuesto de 0,4 y, por esta razón, no hay barras en esta variable, durante MAM. En JJA, no se presenta asociación con la temperatura máxima, pero hay correlaciones menores e inversas con todos los índices y la precipitación. En SON sobresalen las relaciones con ONI3 y ONI4. En resumen, los valores más altos de las cargas ocurren entre el ONI y las VMS de DEF y los más bajos, entre la NAO y las VMS, de todos los trimestres.

Analizando el caso de Villa de Leyva, la relación entre el ONI y la temperatura máxima es positiva durante todos los trimestres, excepto en JJA, cuando las cargas canónicas están por debajo del umbral de 0,4. La relación con la precipitación es negativa, a excepción del periodo MAM. Para El Cucharo, el sentido de las correlaciones es el mismo que en Villa de Leyva. En Sutatenza continúa el mismo sentido de dependencia, pero con cargas de menor peso.

Los resultados de la primera prueba, para el índice ENOS, están de acuerdo con lo planteado por Poveda *et al.* (1998; 2002; 2011), quienes obtuvieron las mayores correlaciones cruzadas significativas entre este índice y las variables hidrológicas del trimestre DEF; además, aseguran que MAM es la época menos afectada por eventos ENOS. En cuanto al índice ONI, el sentido de las relaciones corresponde con el fenómeno físico, pues un ONI positivo asociado a eventos Niño está relacionado con una disminución en la precipitación y un ascenso de la temperatura máxima. Sucede también, que la relación entre el ONI y las VMS, se evidencia, incluso, con tres y seis meses de rezago. Esto corresponde al hecho de que la señal del ENOS se propaga de occidente a oriente y tarda en su recorrido, a través del pacífico ecuatorial, aproximadamente seis meses; también así lo reportan estudios en Argentina (Barreiro *et al.* 2014) y Venezuela (Paredes & Guevara, 2013), donde hay regiones con rezagos hasta de siete meses o más y casos en Centroamérica (Alfaro, 2011) y Chile (Cortés *et al.* 2011), donde la respuesta de las VMS, se evidencia en menor tiempo, por estar sobre la costa pacífica.

Los resultados están de acuerdo, además, con los análisis realizados por Ramírez & Jaramillo (2009), quienes muestran la relación inversa entre el ONI y la precipitación en la región central del país. La diferencia en la altura de las barras de la figura 2 muestra que el impacto de los eventos ENOS varía de un lugar a otro; los trabajos de Montealegre (2009) y Arango *et al.* (2014a; 2014b), también evidencian que el grado de afectación varía en función de la ubicación geográfica.

En cuanto a la NAO, en muy pocos casos, las cargas canónicas superaron el umbral preestablecido, aunque discreta, se obtiene una relación directa con la precipitación durante

Tabla 1. Correlación canónica (r_c) y porcentaje de varianza compartida (vc) y explicada (ve).

	DEF			MAM			JJA			SON		
	r_c	vc(%)	ve(%)	r_c	vc(%)	ve(%)	r_c	vc(%)	ve(%)	r_c	vc(%)	ve(%)
Prueba 1												
Villa de Leyva	0,82	0,67	0,43	0,72	0,52	0,26	0,72	0,52	0,26	0,73	0,53	0,33
Sutatenza	0,6	0,34	0,16	0,6	0,31	0,18	0,68	0,47	0,23	0,75	0,56	0,27
El Cucharó	0,73	0,54	0,30	0,8	0,66	0,30	0,64	0,42	0,19	0,6	0,35	0,24
Prueba 2												
Villa de Leyva	0,74	0,55	0,34	-	-	-	-	-	-	0,65	0,42	0,21
Sutatenza	0,53	0,28	0,14	0,56	0,32	0,18	-	-	-	-	-	-
El Cucharó	0,59	0,35	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prueba 3												
Villa de Leyva	0,85	0,72	0,46	0,74	0,57	0,27	0,74	0,5	0,28	0,85	0,72	0,46
Sutatenza	0,66	0,43	0,21	0,61	0,3	0,20	0,7	0,59	0,26	0,81	0,66	0,31
El Cucharó	0,76	0,59	0,33	0,82	0,68	0,33	0,7	0,57	0,291	0,76	0,59	0,38

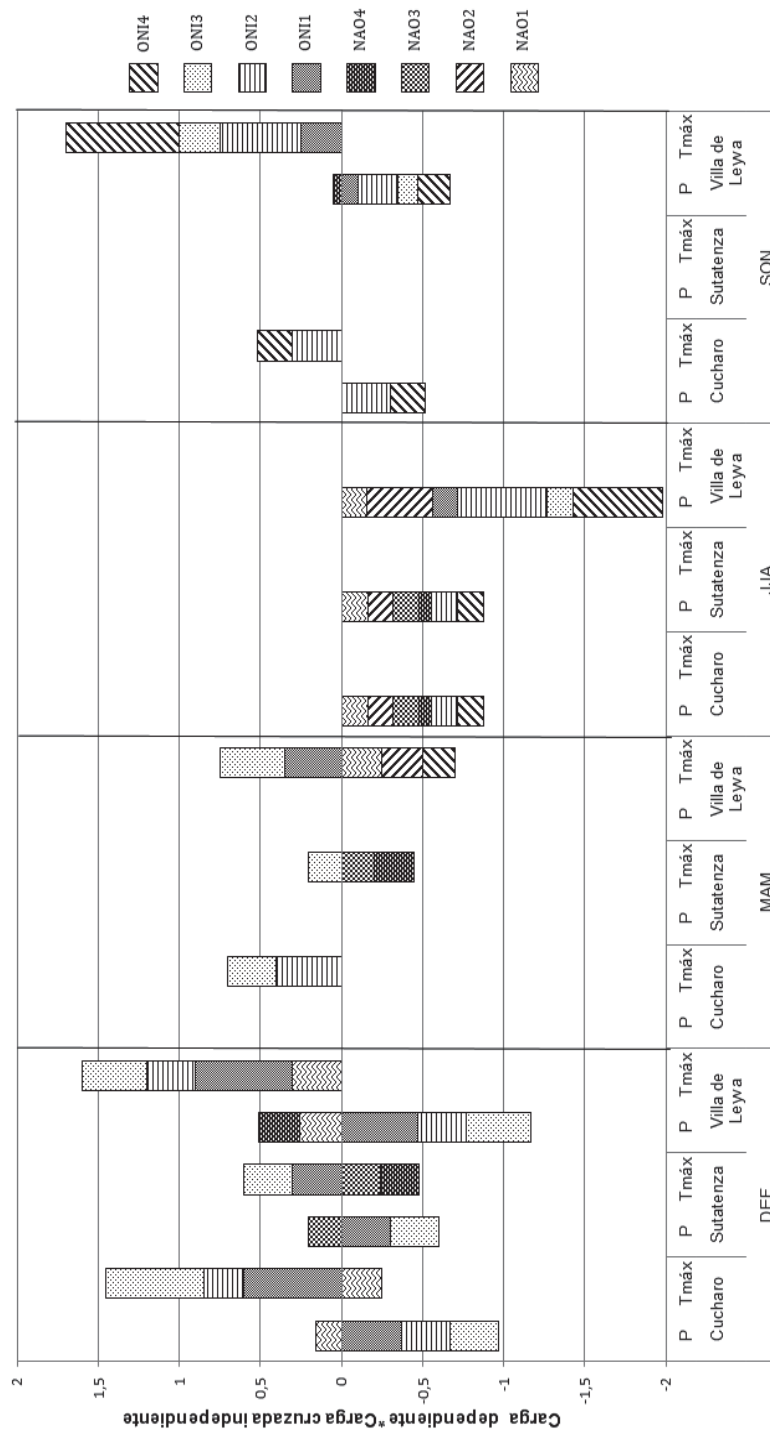


Figura 2. Resultado de multiplicar las CC dependientes con las CCC independientes. Multiplicar estas dos cargas permite comparar el grado de relación entre cada índice con la precipitación y la temperatura. Son presentados los valores obtenidos en la primera prueba, para los municipios de Villa de Leyva, Sutatenza y El Cucharo, en los cuatro trimestres del año, durante el periodo de tiempo 1980-2012.

SON y DEF e inversa, durante JJA, para los tres lugares, es decir, que en SON-DEF, si la NAO es positiva, es de esperar un ligero incremento en los niveles de lluvia, pero durante JJA, la relación es contraria. Un comportamiento similar obtuvieron Stevens & Ruscher (2014), quienes reportan que la influencia de la NAO sobre las VMS cambia de sentido, según la época del año y Montealegre (2009), quien concluyó, que las correlaciones con la NAO no siguen un patrón definido. La relación entre la NAO y las VMS, se puede entender, teniendo en cuenta que la NAO afecta la intensidad de los alisios de noreste y, por consiguiente, el desplazamiento de la ZCIT sobre el atlántico tropical, modificando el transporte de humedad desde el atlántico tropical hacia el continente americano y la actividad convectiva (Poveda *et al.* 1998), aunque el efecto de la NAO, en la banda interanual sobre la precipitación, parece ser limitado, como Paegle & Mo (2002) y Montealegre (2009), también lo reportaron.

En la segunda prueba, los resultados fueron similares a los de la primera, ya que solo cambió el índice SOI por el ONI y ambos son una forma de representar el mismo fenómeno; sin embargo, como fue observado en la tabla 1, solo en algunos casos los ACC superaron el umbral del 90%, impuesto como límite de fiabilidad; por esta razón, no fueron presentados los gráficos de barras de la prueba. La variabilidad de las VMS estudiadas esta mejor relacionada con la serie ONI, porque el ONI es calculado como una media móvil trimestral, que suaviza la serie y, además, la temperatura superficial del mar, al ser una variable oceánica, tiene mayor inercia, mientras que el SOI es calculado en función de la presión atmosférica, cuya señal es más inestable.

En la tercera prueba, la proporción de varianza –explicada de las variables meteorológicas por parte de los índices-, fue ligeramente mayor, al incluir la QBO en el grupo de las variables independientes. Los valores oscilaron entre 21 y 46%, en el periodo DEF; entre 20 y 33%, en MAM; entre 26 y 29%, en JJA y entre 31 y 46%, durante la temporada. Los porcentajes más altos corresponden el trimestre DEF-SON (Tabla 1). En esta misma prueba, el gráfico obtenido fue idéntico al de la figura 2; la oscilación climática que presentó mayor relación con las variables fue el ONI. En todos los casos, la relación fue directa con la temperatura máxima e indirecta con la precipitación, de los cuatro trimestres, siendo de mayor peso durante DEF y SON. En cuanto a la NAO, las cargas canónicas tuvieron el mismo sentido que en la primera prueba, aunque fueron menores en magnitud. La única diferencia con la primera prueba fue la señal de la QBO, que apareció ligeramente relacionada con los datos de precipitación de El Cuchar y Sutatenza, en todos los trimestres, salvo durante DEF; la relación fue directa con las temperaturas e inversa con la precipitación. Esta relación adicional, que aparece entre las series y la QBO, explica el ligero aumento entre el 3 y el 7% de la varianza, explicada por las oscilaciones climáti-

cas. La QBO alcanza su mayor amplitud en la estratosfera; la hipótesis más aceptada es que su existencia se asocia con el desplazamiento ecuatorial de las ondas kelvin y Rossby-gravedad. La QBO es relacionada con la frecuencia de los ciclones en el Atlántico o con el ciclo ENOS, de manera que es posible observar su señal en las VMS, en Colombia. Hasta el momento, Montealegre (2009) y Carmona & Poveda (2012) han identificado señales de periodo similar al de la QBO en las anomalías de precipitación, acumulada durante abril.

La importancia de este trabajo radica en que los resultados encontrados, mediante el ACC, son coherentes con los procesos físicos y con estudios previos de correlación, realizados con cada índice por separado. Esto implica, que el método es una alternativa para identificar relaciones simultáneas, aprovechando el enfoque multivariado de predictores, como lo sugieren Singh *et al.* (2012). Las correlaciones canónicas obtenidas no son muy grandes, debido a que la varianza explicada por las oscilaciones climáticas en las VMS es generalmente pequeña (Stevens & Ruscher, 2014). Los análisis presentados son un ejemplo para ser extendido a otras regiones del país, con registros meteorológicos mayores a 30 años, incluyendo otros índices, no considerados en el presente estudio.

El trabajo muestra que el ACC permite identificar asociaciones, mediante un enfoque multivariado de índices macroclimáticos, como predictores, dada la coherencia de los resultados encontrados con los procesos físicos y con estudios preliminares de correlación. En general, los resultados de las tres pruebas indican que la variabilidad de las VMS analizadas está asociada, en mayor grado, con el índice ONI. La relación es inversa con la precipitación y directa con la temperatura máxima; las mayores correlaciones ocurren con las series meteorológicas del trimestre DEF y las más débiles, durante MAM. Por ahora, solo se puede afirmar que por medio del ACC, se aprecia una relación lineal conjunta, entre los índices y las series meteorológicas en estudio, donde el mayor peso lo aporta el ONI, seguido de la NAO y una contribución más discreta de la QBO.

Conflicto de intereses: Los autores del presente trabajo declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados obtenidos. **Financiación:** El proyecto fue financiado por Colciencias, a través de la Convocatoria Nacional para Estudios de Doctorados en Colombia 528.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALFARO, E.J. 2011. Uso del análisis de correlación canónica para la predicción de la precipitación pluvial en Centroamérica. *Rev. Ing. Competitividad.* (Colombia). 9(2):49-58.

2. ARANGO, C.; DORADO, J.; GÚZMÁN, D.; RUIZ, J.F. 2014a. Informe análisis compuesto según el índice ENSO ONI, para la temperatura media trimestral de Colombia. IDEAM. Disponible desde Internet en: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/2456> (con acceso 20/10/2014).
3. ARANGO, C.; DORADO, J.; GÚZMÁN, D.; RUIZ, J.F. 2014b. Variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada al Ciclo El Niño, la Niña – Oscilación del Sur (ENSO). IDEAM. Disponible desde Internet en: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/2456> (con acceso 20/10/2014).
4. BALDWIN, M.P.; GRAY, L.J.; DUNKERTON, T.J. 2001. The Quasi-Biennial Oscillation. *Rev. Geophys.* (Estados Unidos). 39(2):179-229.
5. BARREIRO, M.; DÍAZ, N.; RENOM, M. 2014. Role of the global oceans and land-atmosphere interaction on summertime interdecadal variability over northern Argentina. *Climate Dynamics.* (Alemania). 42(7-8):1733-1753.
6. CARMONA, A.; POVEDA, G. 2012. Application of hilbert-huang transform to detect hydroclimatic variability modes in Colombia. *DYNA.* 79(175):72-80.
7. CÓRDOBA-MACHADO, S.; PALOMINO-LEMUS, R.; GÁMIZ-FORTIS, S.R.; CASTRO-DÍEZ, Y.; ESTEBAN-PARRA, M.J. 2014. Influence of tropical Pacific SST on seasonal precipitation in Colombia: prediction using El Niño and El Niño Modoki. *Climate Dynamics.* DOI: 10.1007/s00382-014-2232-3.
8. CORTÉS, G.; VARGAS, X.; CPHEE, J. 2011. Climatic sensitivity of streamflow timing in the extratropical western Andes Cordillera. *J. Hydrology.* (New Zealand). 405(1):93-109.
9. EARTH SYSTEM RESEARCH LABORATORY –ESRL. 2014. Climate Indices: Monthly Atmospheric and Ocean Time Series Database [online]. National Oceanic and Atmospheric Administration, Boulder (CO, USA). Disponible desde Internet en: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/> (con acceso 20/10/2014).
10. FONSECA, I.; CAVALCANTI, A. 2012. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century. *Atmosph. Res.* (Países Bajos). 118:27-40.
11. HAIR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. 1998. Canonical correlation analysis. *Multivariate Data Analysis*, fifth ed. Prentice Hall. (Estados Unidos). 29p.
12. HENRÍQUEZ, M. 2012. Climatología ambiental de Colombia. Editor Universidad Santo Tomás, Bogotá (Colombia). 330p.
13. HOYOS, N.; ESCOBAR, J.; RESTREPO, J.C.; ARANGO, A.M.; ORTIZ, J.C. 2013. Impact of the 2010-2011 La Niña phenomenon in Colombia, South America: The human toll of an extreme weather event. *Applied Geography.* (Países Bajos). 39:16-25.
14. IDEAM, 2005. Atlas Climatológico de Colombia. Imprenta Nacional de Colombia. 219p.
15. KATZ, R.W.; PARLANGE, M.B.; TEBALDI, C. 2003. Stochastic modelling of the effects of large-scale circulation on daily weather in the southeastern US. *Clim. Change.* (Países Bajos). 60:189-216.
16. MONTEALEGRE, J.E. 2009. Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala. Disponible desde Internet en: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/812> (con acceso 01/11/2014).
17. PAEGLE, J.N.; MO, K.C. 2002. Linkages between summer rainfall variability over South America and sea surface temperature anomalies. *J. Clim.* (Estados Unidos). 15(12):1389-1407.
18. PAREDES, F.J.; GÚEVARA, E. 2013. A probabilistic model for the prediction of meteorological droughts in Venezuela. *Atmósfera.* (México). 26(3): 311-323.
19. POVEDA, G.; VÉLEZ, J.; MESA, O.; HOYOS, C.; SALAZAR, L.; MEJÍA, J.; BARCO, O.; CORREA, P. 2002. Influencia de fenómenos macroclimáticos sobre el ciclo anual de la hidrología colombiana: cuantificación lineal, no lineal y percentiles probabilísticos. *Meteorol. Colomb.* (Colombia). 6:121-130.
20. POVEDA, G.; ÁLVAREZ, D.M.; RUEDA, O.A. 2011. Hydro-climatic variability over the Andes of Colombia associated with ENSO: A review of climatic processes and their impact on one of the Earth's most important biodiversity hotspots. *Climate Dynamics.* 36(11-12):2233-2249.
21. POVEDA, G.; GIL, M.; QUICENO, N. 1998. El ciclo anual de la Hidrología de Colombia en relación con el

- ENSO y la NAO. Bull. Inst. fr. Études Andines. (Francia). 27(3):721-731.
22. RAMÍREZ, V.H.; JARAMILLO, A. 2009. Relación entre el índice Oceánico del EL Niño y la lluvia en la región andina central de Colombia. Cenicafe. (Colombia). 60(2):161-172.
23. SINGH, A.; ACHARYA, N.; MOHANTY, U.C.; MISHRA, G. 2012. Performance of Multi Model Canonical Correlation Analysis (MMCCA) for prediction of Indian summer monsoon rainfall using GCMs output. *Comptes Rendus Geosc.* (Francia). 345(2):62-72.
24. STEVENS, K.; RUSCHER, P.H. 2014. Large scale climate oscillations and mesoscale surface meteorological variability in the Apalachicola Chattahoochee-Flint River Basin. *J. Hydrology.* 517:700-714.
25. VERA, C.; BARANGE, M.; DUBE, O.P.; GODDARD, L.; GRIGGS, D.; KOBYSHEVA, N.; ODADA, E.; TRENBERTH, K. 2010. Needs assessment for climate information on decadal timescales and longer. *Procedia Environm. Sci.* (Países Bajos). 1(1):275-286.
26. WILKS, D.S. 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, second ed. International Geophysics Series, vol. 59. Academic Press, 464p.
27. ZEA, J.A.; LEÓN, G.E.; ESLAVA, J.A. 2000. La oscilación cuasibienal y algunas relaciones con los eventos cálidos y fríos del pacífico. *Meteorol. Colomb.* 1:51-58.
28. ZORITA, E.; KHARIN, V.; STORCH, H.V. 1991. The atmospheric circulation and sea surface temperature in the North Atlantic area in winter: their interaction and relevance for Iberian Precipitation. *J. Clim.* 5:1097-1107.
29. ZULUAGA, M.D.; POSADA, J.E.; POVEDA, G. 2000. Relación entre las fases de la Oscilación Cuasibienal (QBO), la precipitación mensual y la radiación de onda emergente en Colombia. Disponibles desde Internet en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4416/1/AA3318> (con acceso 01/11/2014).

Recibido: Noviembre 19 de 2014

Aceptado: Julio 23 de 2015

Cómo citar:

Díaz, D.; Villegas, N. 2015. Correlación canónica entre índices macroclimáticos y variables meteorológicas de superficie en Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 543-552.

ARITMÉTICAS EN UN MUNICIPIO DEL NORORIENTE COLOMBIANO

ARITHMETIC IN A REGION OF NORTHEASTERN COLOMBIA

Armando Aroca¹

¹Lic. Matemáticas, Magister en Educación con énfasis en educación matemática. Estudiante del doctorado Interinstitucional de Educación Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Profesor Asociado Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia, km 7, antigua vía a Puerto Colombia, e-mail: armandoaroca@mail.uniatlantico.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 553-561, Julio-Diciembre, 2015

RESUMEN

Una aritmética existe por necesidad de una actividad humana y solo tiene sentido en el intercambio de los productos que genera o moviliza. El objetivo de esta investigación fue analizar las aritméticas en un sector del municipio de la Paz, departamento del Cesar, Colombia. Se identificaron, a la vez, los procesos y los algoritmos que emplean personas adultas, al hacer cálculos en algunos oficios y se determinó el grado de participación de los niños en estas actividades. He aquí justamente lo problemático, a que se hace referencia, cuando se dice que la matemática tiene sentido si se vincula con la realidad. La metodología empleada fue básicamente cualitativa de tipo etnográfica, cuyas estrategias de recolección de datos consistió en 17 entrevistas informales de periodos cortos, observaciones no participantes de actividades y el empleo del google earth, como herramienta de localización de la actividad, dentro de un mapa. Los resultados muestran que es posible determinar cuándo el niño o niña se vincula, de manera concreta, a las actividades de su entorno socio-cultural próximo, en el sentido de comprender los procesos y los algoritmos de los cálculos empleados en ellas.

Palabras clave: Procesos, algoritmos, relación con la realidad, contexto sociocultural, contexto escolar, etnomatemáticas.

SUMMARY

An arithmetic exists for human activities and only makes sense for the exchange of the products produces or mobilized by it. The objective of this research was to analyze the arithmetic in a specific region of a small Colombian town. Both processes and algorithms being employed by adults to make calculations in some trades were identified and the degree of participation of children in these activities was determined,

which could relate to what appeals in math classes as reality. Here there is aright the problem, referred to when mentioned that mathematics has sense if it is linked with reality. The methodology used was basically of qualitative ethnographic type, which strategies for data collection consisted of informal interviews, observations of activities and the use of google earth. The results show that it is possible to determine when a child is linked specifically to the activities of its surrounding sociocultural environment in the sense of understanding the processes and algorithms used in these calculations.

Key words: Arithmetic, relation to reality, socio-cultural context, school context, ethnomathematics.

INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de la historia moderna de las ciencias y de las matemáticas, en el siglo XIX y tomando como referencia algunos estudios sobre conocimiento humano y etnomatemática, realizados por D'Ambrosio (2000; 2011; 2012), se puede deducir que en todas las culturas la aritmética nace por la necesidad que tienen los seres humanos de observar, de comparar, de clasificar, de cuantificar, de medir, de ordenar y de inferir, tal como se puede deducir de Taylor (1816), de Boyer (1974), de Hodgkin (2005) y de Seaquist *et al.* (2005), que ha sido desde tiempos pre-históricos. La necesidad ha existido desde el momento en que la especie humana interactuó con su entorno, en principio geográfico y, luego, sociocultural. Una aritmética existe, debido a una actividad de la persona que la necesita y sólo tiene sentido en la transacción o intercambio de los productos que moviliza; como ejemplo, se pueden analizar los trabajos de Saxe (1988; 1991), quien analizó el conocimiento matemático de los vendedores ambulantes o de quienes ejercen sus oficios en las calles. A diferencia de la aritmética escolar, ésta no cobra sentido a partir de alguna actividad productiva o de

intercambio concreto, sino por la necesidad de educar en masa. Sólo la aritmética escolar tiene como objetivo que otras personas la aprendan masivamente y la incorporen en su forma de vivir, lo que genera tensiones, dado que el estudiante pertenece a un contexto sociocultural específico, que le provee otras formas de hacer, de pensar y de comunicar aritméticas; experimenta lo que se podría denominar una falta de comprensión interlógica de las aritméticas. Por un lado, el contexto escolar privilegia el cálculo numérico por escrito, mientras que el sociocultural privilegia el mental, cuanto este último, es la base del primero. Por lo general, el contexto escolar tiene el foco en la enseñanza de las técnicas o algoritmos y no se establece relación con las otras aritméticas, surgidas a partir de las actividades socioculturales, en las que han participado los alumnos, en su vida cotidiana. Dichas tensiones, se podrían establecer de la siguiente manera: en primer lugar, los ámbitos socioculturales, no sólo determinan cómo se adquiere el conocimiento, sino también la forma en que se representa, organiza y conserva, de acuerdo con lo planteado por Chahine & Naresh (2013); en segundo lugar, la lógica de una aritmética externa a la escolar no siempre puede entender a ésta en el acto; estas dos aritméticas, la escolar y de la calle no guardan algo en común, solo se encuentra entre ellas semejanzas de familia (Wittgenstein, 1997). Es una afirmación que entramos a cuestionar: como se verá más adelante el cálculo mental si les permite guardar algo en común y, en tercer lugar, el proceso escolar tiene como finalidad que la lógica de los algoritmos y las operaciones de la aritmética sea entendida y aplicada, pues si no tiene esta segunda finalidad, entonces, ¿para qué sirve la primera? A estas dos últimas tensiones, se llamarán tensiones de intercomprensión de lógicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomó como muestra un sector del municipio de La Paz, departamento del Cesar, ubicado al norte de Colombia. Se escogió este sitio, porque se hicieron observaciones previas, que identificarán un lugar que aglutinará varios oficios o actividades, además que fuera una población conocida por el autor. Algunos de estos oficios o actividades son: ventas ambulantes de fritos y de leche, ventas de frutas o verduras en la plaza de mercado, albañilería, curtiembre artesanal del cuero, carpintería, zapatería, modistería, juegos infantiles, peluquería y algunos oficios de campesinos. A este sector, se le tomó una foto por medio de google earth (Figura 1). En algunos casos, fue necesario ir al mismo lugar donde se desarrollaba el oficio, como por ejemplo, la curtiembre artesanal del cuero, elaboración de mecedoras y carpintería; luego, se hizo, en algunas mañanas y tardes, varios recorridos por las calles de esta zona, para identificar ciertos oficios o actividades que se daban allí; por ello, en la figura 1, aparecen triángulos monocolor y bicolor; el impacto visual que se quería en esta figura no se logró empleando marcas de posi-

ción de google earth, por eso se descartaron. Cada triángulo es la representación de un oficio que se consideró que tiene una aritmética asociada, con sus procesos y algoritmos. En la figura 2, se explica cada uno de estos triángulos. En algunos momentos, sobre todo en las tardes o fines de semana, se hacían observaciones no participantes desde las tiendas de barrios o casas de amigos, para establecer qué hacían los niños, de un rango de edad entre 8 a 12 años; estas edades, en algunos casos, fueron consultadas directamente con los menores y, en otros, fueron estimadas. También, se hacían estas observaciones para establecer qué oficios se daban en algunas partes del sector escogido, como calles, avenidas, manzanas y barrios; esto permitió hacer el primer mapeo aritmético. Dicho mapeo, se hizo dos veces y se notó que es temporal, es decir, cambiante. Algunos oficios tienden a ser más fijos, geográficamente hablando, otros se mueven de manera regular por una misma trayectoria, otros son espontáneos y dependen de algunas variables, por ejemplo, un juego de moda o la decisión de un grupo de niños por jugar tal juego, porque llovió, porque cuentan con terreno sin pavimentar o porque hay pavimento.

En otros casos, haciendo algunas entrevistas, se preguntó a los niños su edad, su grado de formación escolar y su ocupación en los tiempos libres. También, se hicieron algunas entrevistas, conversaciones, a padres sobre las ocupaciones de sus hijos en su tiempo no escolar, al igual que entrevistas o conversaciones informales con adultos, que ejercían los oficios que se describen en la figura 2. Por lo anterior, es que se estableció en el resumen, que la investigación es cualitativa, tomando como referencia Deslauriers (2005) y que es de tipo etnográfica (Morse *et al.* 2007; Goetz & LeCompte, 1998). El análisis de datos estuvo en función de la construcción de categorías emergentes, que se van mostrando a medida que aparecen las figuras de este artículo (Strauss & Corbin, 2002). En cuanto al margen de error de la figura 1, se ha precisado que las actividades u oficios del ser humano, cambian, mutan, algunas son fijas, en términos geográficos y, otras no; es por ello, que dicho margen no es sencillo precisar. Se trató de emplear el mayor rigor metodológico, ya descrito, para dar una aproximación de la realidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontró, como ocurre también en el contexto escolar, que los niños necesitan cierta edad o ciertas competencias cognitivas para poder comprender algunos algoritmos u operaciones empleados en diversos oficios de la calle, los cuales, nadie se los enseña, sino que las aprenden por experiencia, por tensiones inherentes a la comunicación social, por necesidad o por tradición de oficio familiar. La figura 1 muestra una aproximación de la ubicación de oficios que se consideraron emplean su propia aritmética; son apenas una aproximación de la diversidad de oficios que se presentan en



Figura 1. Mapeo aritmético de un sector del municipio de la Paz, Cesar, Colombia. Fotografía tomada con google earth y distribución de triángulos, mediante jornadas de observaciones no participantes.

la zona escogida, en algunos casos, muy diferente a la empleada en el contexto escolar. En la figura 1, se ubicaron las líneas de influencia de una aritmética, por ejemplo, se pueden ver las líneas rojas que son las líneas de influencia de la aritmética del oficio, representado por el triángulo rojo. Estas líneas de influencia es solo una noción que se quiso dar a conocer, pues su real alcance es muy complejo. Como algunos oficios o actividades están anclados en lugares geográficos y las aritméticas al estar sujetas a oficios o actividades (Carrher *et al.* 1993), éstas, entonces, se anclan también en algunos sectores; por ejemplo, no sería normal vender gasolina de contrabando al lado de un colegio de preescolar o curtir, artesanalmente, cuero distante del río. Para el desarrollo de una actividad u oficio, se necesitan unas condiciones, incluso naturales, como estar al lado del río; geográfica, que las calles sean de fácil acceso para movilizar el carrito de fritos o sociales, por el flujo del intercambio comercial, para que una aritmética responda a esos problemas descritos al principio, de observar, de comparar, de clasificar y de cuantificar. En estos oficios, se comienzan a vincular, asumiendo ciertas tareas, los niños y niñas, a partir de cierta edad, en particular, cuando sus rangos de edad oscilan entre 10 a 12 años, que coincide con los niveles escolares de quinto de primaria hasta séptimo de secundaria, siendo este último, el de la

enseñanza de la aritmética, para luego pasar al álgebra, en octavo grado.

La figura 2 presenta una muestra de 21 oficios, que se ubicaron en la figura 1, que se consideró tiene asociada su propia aritmética.

No se va a profundizar en el papel que juegan las herramientas en cada uno de los oficios, para la construcción o desarrollo de los métodos o algoritmos, para hacer los respectivos cálculos; en Flores (2011) este tema se analiza con las implicaciones descritas. Lo que interesa en este momento, es pasar a otro nivel y es el de establecer los algoritmos u operaciones que se pueden llegar a involucrar en cada una de las aritméticas, descritas en la figura 2; ésta, pretende resaltar los diversos procesos y algoritmos aritméticos que pueden existir en una región en concreto. Además de los escolares, existen procesos aritméticos, como el manejo de billetes y de monedas, el redondeo, el manejo del tiempo, estimaciones de longitudes, combinaciones de patrones, proporcionalidad y comparaciones entre objetos, percepciones y abstracciones; aparecen algoritmos, como el del complemento, la suma larga, tanto de X por tanto de Y . También advierte sobre otras unidades de medida no convencionales,






















	Aritmética Escolar		Aritmética venta fija de fritos		Aritmética venta ambulante de fritos
Algoritmos de suma, resta, multiplicación y división, mayor o igual que y menor o igual que.		El manejo de las monedas, en esencia el manejo del algoritmo del complemento		El manejo de las monedas, en esencia el manejo del algoritmo del complemento	
	Aritmética en la tienda		Aritmética en curtiembre del cuero		Aritmética venta de yuca
La suma larga, el redondeo.		Tiempos de cal, de curtiembre en dividi y de lavada, canoas		El manejo de las monedas, estimación por la longitud y grosor del tubérculo.	
	Aritmética venta de gasolina		Aritmética de amas de casa		Aritmética en la peluquería
Por galones; por pimpinas de 6 y de 8 galones; estimación hasta la tanqueada (división por estimación).		Medidas no calibradas, tanto de X por tanto de Y, la pisca y sus múltiplos y submúltiplos.		El corte, control del tiempo, las combinaciones de tintes.	
	Aritmética en la venta almojábanas		Aritmética matadero "artesanal" de ganado		Aritmética en juegos infantiles
Lleve 3 por 1.000, 7 por 2.000, cálculos muy rápidos, venta y vueltas con vehículos en movimiento		Divisiones estimadas en el campo, cortes, asignación de precios, tamaños.		Aritmética en los juegos populares de los niños ¿Dónde la colocaríamos?	
	Aritmética elaboración de sillas y mecedoras		Aritmética oficios campesinos		Aritmética venta ambulante de leche
Puntillas, medición, lernas, diseños en el cuero.		Herramientas e implicaciones en el cálculo aritmético, la vara, el tronquito, la palada.		Por cucharones, por botella, por potes, hay un libro que da más confianza.	
	Aritmética de las modistas		Aritmética en la zapatería		Aritmética venta de carbones
El molde, el metro flexible, las tallas. (Aquí poco se usa el algoritmo del complemento)		El molde, tiempo de pegadas, cortes, resistencias.		La palada, las bolsas calibradas, el bulto, menudeo.	
	Aritmética de la carpintería		Aritmética plaza de mercado		Aritmética albañilería, construcción de casas
Texturas, formas, diseños, tipos de clavos, herramientas e implicaciones en el cálculo aritmético.		En la venta de los productos agrícolas y víveres en general, la suma larga, el redondeo.		La cimbra, los tipos de metros, el paso largo, la estimación ad óculos, cálculos en la pared, señas y explicaciones.	

Figura 2. Operaciones y algoritmos por cada aritmética asociada a un oficio.

como la palada, el galón o la pimpina, el bulto, la vara, el tronquito, el cucharón, la botella o instrumentos para medir, como la cimbra, el metro flexible o medidas antropométricas, como el paso largo, la cuarta, el gеме y la pisca. En la figura 2, se puede identificar, de manera muy sucinta, cómo las comunidades de prácticas crean sus propios procesos y algoritmos aritméticos, para sobrevivir y trascender en el tiempo.

Hay aritméticas que poseen más recursos de cálculo para resolver un problema en concreto, lo cual, complejiza las formas de calcular, algoritmos u operaciones. Cada uno de los oficios, se caracteriza, entonces, por tener un ambiente, un contexto particular asociado a la aritmética. En estos contextos las personas asumen roles distintos, manualidades, técnicas, artes, fuerza física o solo esfuerzo mental. Esto es lo que implica el contexto y la actividad en sí, donde para algunos niños es imposible asumir la aritmética, sea por falta de fuerza, de desarrollo psicomotriz o de habilidades cognitivas, que aún no ha desarrollado.

Se analizaron algunos aspectos que se pudieron notar en los oficios, en particular, en sus algoritmos. En todos los oficios, cuya celda del triángulo aparece rellena en azul, se emplea el algoritmo del complemento, para dar el cambio o el vuelto, que no es el de la diferencia escolar, siendo esta otra operación aritmética diferente a las propuestas en el contexto escolar. Mariño (1985; 1990) hizo investigaciones al respecto, en particular, sobre formas de calcular, aritméticamente los adultos, en sectores populares. Este algoritmo del complemento no es de manejo de niños sino de adultos y jóvenes, que están familiarizados con el manejo del dinero, en particular, de todas las denominaciones de los billetes.

Un ejemplo del algoritmo del complemento: alguien paga una deuda de \$17.500 con un billete de \$50.000, el vendedor da los vueltos así: 500 para 18, 2 para 20, 10 para 40 y 10 para 50. Basta con preguntarle a una persona que emplea este algoritmo cuánto tenía que dar y se notará que para ellos no existe lo que llamamos diferencia. $10 - 8 = 2$, en este caso, 2 es la diferencia en la escuela, en el contexto escolar, pero en aquellos oficios que emplean este procedimiento del complemento, sobre el 2, no hay conciencia, como tampoco sobre la diferencia, es decir, el 2 no existe en el cálculo mental cuando se emplea este tipo de algoritmo. Al vendedor se le puede preguntar ¿cuánto tenías que darme? Y en nuestro trabajo de campo encontramos dos reacciones: 1. Regularmente preguntaban ¿cuánto te di?, ¿cuánto tenía que darte?, ¿cuánto tienes ahí? o 2; procedían a quitar el vuelto o el cambio. En algunos casos, recurrían a la calculadora, si existía; otros, iban al cálculo mental, pero empleando el algoritmo escolar; otros, escribían imaginariamente sobre una superficie y se notaba el empleo del algoritmo escolar; en fin, todas estas segundas estrategias de

cálculos implicaba más tiempo y, en algunos casos, más dificultad para la persona o vendedor.

En la tabla 1, en otra investigación en la ciudad de Barranquilla, con dos de mis estudiantes, Romario Palacios y Freddy Ramírez, que se hizo sobre el empleo de algoritmos y operaciones aritméticas de vendedores informales en esta ciudad, cuyas actividades u oficios son similares a las encontradas en la región descrita, se estableció una sistematización de los cálculos de varios vendedores informales, en la plaza de mercado. En este caso, el interés radica en mostrar la relación entre los cálculos mentales empleados por los niños, jóvenes y adultos escolarizados y adultos no escolarizados, sin importar la actividad en que se desempeñe; es por ello, que los principales referentes teóricos que se tienen en dicha investigación son Gómez (1994), Delprato (2005), De Marinis (2008), Crespo *et al.* (2009), Gómez (2010) y Guerrero (2011). Entre estos referentes, los trabajos de Bernardo Gómez son los referentes teóricos principales en dicha investigación, dado que ha analizado a profundidad el cálculo mental.

Se encontró que en el caso de la suma son más recursivos en cuanto a proceso y algoritmos. En el caso de la resta, los algoritmos mentales de los vendedores consisten, básicamente, en sustituir algunas o todas las partes de la resta por una cifra más cómoda en el sustraendo o minuendo, por medio de un redondeo de cifras, ya sea en decenas o centenas. Para la multiplicación, la propiedad distributiva fue la más utilizada y la de mayor frecuencia en las respuestas. La hipótesis aquí es que la propiedad distributiva tiene su origen en los contextos no escolarizados; Gómez (1995) ya lo había notado, en particular, en lo que él llamó vertimientos de los contextos a los textos de matemáticas. En el caso de la división, se obtuvieron pocas respuestas en comparación con las otras operaciones, donde sí hubo varios resultados y se debe a que como esta operación, al igual que la resta, no es tan utilizada por ellos en sus oficios. Se puede observar, que en estos procesos y algoritmos, al ser de carácter mental, existe mucha creatividad. En la tabla 1, se sistematizaron los cálculos de tres vendedores.

Los datos en la tabla 1, que representan algoritmos aritméticos de vendedores ambulantes o de la plaza de mercado de Barranquilla, sirvieron para hacer comparaciones con los resultados obtenidos en el mapeo aritmético proveniente del municipio de la Paz y estos coincidieron. Se considera que esta coincidencia, se debe a que las poblaciones escogidas se desempeñan en oficios similares o iguales, es decir, se encontró que en dos regiones diferentes de la costa caribe colombiana los tipos de cálculo mental son similares y que están sujetos a la experiencia de cada individuo con el oficio; sin embargo, se pudo establecer que al insistirle a una persona que se negaba a calcular mentalmente, lo cual, cada

Tabla 1. Resultados y análisis de tres entrevistas aplicadas a vendedores ambulantes de Barranquilla.

	Suma y resta	Aproximación al algoritmo	Multiplicación y división	Aproximación al algoritmo
Vendedor 1 (V1)	<p>Entrevistador (E): ¿Cómo haría esta suma 69+54? (Pregunta común para vendedores 1, 2 y 3)</p> <p>Primero sumo el 60 con el 50. $60+50=110$ y después sumo el 9 con el 4. $9+4=13$ y sumo $110+13=123$</p> <p>E: ¿Cómo haría esta resta 75-19?</p> <p>Primero al 75 le resto 20 y me da 55 y después le sumo 1 y me da 56</p>	$69+54 = (60+9)+(50+4) = 60+9+50+4=60+50+9+4 = 123$ $(60+50)+(9+4)=110+13 = 123$ $75 - 19 = 75 - (20-1) = 75 - 20 + 1 = 55 + 1 = 56$	<p>E: ¿Cómo haría esta multiplicación 17 x 13?</p> <p>Primero multiplico 17 por 10 me da 170 y después 17 por 3 que es 51 y $170+51$ es 221</p> <p>E: ¿Cómo haría esta división $234 \div 13$?</p> <p>Primero multiplico 13 x 10 y me da 130 está lejos, entonces lo multiplico por 20 y me da 260 pero está más cerca del 234, entonces le resto 13 me da 247 le vuelvo a restar 13 y me da 234 entonces como multiplique por 20 y le rete 2 veces 13 entonces la respuesta es 18</p> <p>E: ¿Cómo haría esta multiplicación 17 x 18?</p> <p>Como el 18 está cerca del 20, entonces multiplico 17 por 20 que son 340 y como al 18 le faltan 2 para ser 20 entonces al 340 le resto dos veces 17 y me da 306</p> <p>E: ¿Cómo haría esta división $195 \div 13$?</p> <p>Primero como sé que 13 por 13 es 169 entonces lo que me falta para 195 lo divido por 13 y se lo sumo, que sería 26 entre 13 igual a 2, entonces 13 más 2 es 15</p> <p>E: ¿Cómo haría esta multiplicación 15 x 18?</p> <p>Primero multiplico 15 por 15 que son 225 y como son 18 entonces multiplico 15 por tres que son 45 y lo sumo y me da 270</p> <p>E: ¿Cómo haría esta división $750 \div 15$?</p> <p>Yo dejo el cero a un lado y miro si el 75 está en la tabla del 15. Como 75 entre 15 es 5, entonces al 5 le agrego el cero y me da 50</p>	$17 \times 13 = 17 \times (10+3) = 17 \times 10 + 17 \times 3 = 170 + 51 = 221$ $234 \div 13 = (260-26) \div 13 = 260 \div 13 - 26 \div 13 = 20 - 2 = 18$ $17 \times 18 = 17 \times (20-2) = (17 \times 20) - (17 \times 2) = 340 - 34 = 306$ $195/13 = (169+26)/13 = 13+2 = 15$ $15 \times 18 = 15 \times (15+3) = (15 \times 15) + (15 \times 3) = 225 + 45 = 270$ $750/15 = (75 \times 10)/15 = (75/15) \times 10 = 5 \times 10 = 50$
V2	<p>E: ¿Cómo haría esta resta 79 - 24?</p> <p>Primero al 79 le resto 4 que sería 75 y después le resto los 20 para 55.</p> <p>Primero al 75 le resto 20 y me da 55 y después le sumo 1 y me da 56</p>	$69+54 = 69+(50+4) = (69+50)+4 = 123$ $75-19 = (60+15) - (10+9) = 60+15-10-9 = (60-10)+(15-9) = 50+6 = 56$		
V3	<p>Primero al 69 le sumo el número más pequeño que es el 4 y tengo 73 y después sumo 50 y son 123</p> <p>E: ¿Cómo haría esta resta 87 - 53?</p> <p>Yo resto 80 menos 50 y me da 30 y resto 7 - 3 y me da 4 sumo eso y me da 34.</p>	$69+54 = 69+(50+4) = (69+4)+50 = 73+50 = 123$ $75-19 = 75-(10+9) = 75-10-9 = (75-9)-10 = 66-10 = 56$		

día es más difícil de lograr, como objetivo pedagógico, pues en su lugar, se emplean objetos manipulativos, como calculadora o el celular, tiende a aplicar las mismas descomposiciones o procedimientos. Un PhD. en matemáticas tiende a calcular, mentalmente, de manera similar que una persona que vende fritos en las calles; de hecho, este último lo hace más rápido que el primero. La importancia del cálculo mental es que es la base de la comprensión de los procesos y de los algoritmos aritméticos escritos.

En la figura 2, las celdas de los triángulos que están rellenas en verde, las herramientas que se han desarrollado en cada uno de estos oficios juegan un papel esencial en los algoritmos u operaciones empleados.

Estas herramientas son esenciales para el desarrollo del conocimiento y el mismo aprendizaje, pero aquí se encontró una particularidad, que no hay una intercepción entre los procesos o algoritmos de los oficios, cuyas celdas están rellenas con azul, con respecto a las celdas rellenas en verde. El algoritmo del complemento no se intercepta con los algoritmos u operaciones de oficios, donde se emplean varias herramientas, es decir, el algoritmo del complemento que, esencialmente, se emplea en los oficios de menudeo o intercambio comercial rápido, no se pudo notar que se empleara en los oficios, cuyo uso de herramientas es clave. Se consideró que, lo anterior, se debe a que en las actividades del menudeo el comercio o intercambio del producto es más rápido y, por ende, no se necesitan tantas herramientas, sino cálculos mentales ágiles.

De la presente investigación, se puede concluir que en los contextos que están por fuera del ámbito escolar, representados por los oficios, no se generan tensiones en la comprensión entre aritméticas, algoritmos u operaciones, de los diversos grupos culturales, excepto cuando esta comunicación se pretende dar con el escolar, es decir, no se produce la intercomprensión de lógicas. Las aritméticas provenientes de oficios no escolares, no quieren entre sí imponer sus lógicas y acciones de cálculo, procesos o algoritmos y operaciones, lo importante es que se puedan comunicar. No tienen un agente o un profesor que supervise esta imposición, que se camufla en la palabra competencia. Esta condición de respeto, le permite al pueblo poderse comunicar aritméticamente, así, las aritméticas tienen sentido y significado para las personas (Chahine & Naresh, 2013) y fragilidad, ya que pueden desaparecer si deja de existir el oficio, pues la aritmética no siempre se desarrolla por el individuo sino por las pequeñas comunidades que se aglutina por medio del oficio (Aroca, 2013). Si aún se duda de las tensiones que se generan por medio de esta comprensión interlógica de aritméticas, se podrá notar que los encuentros matemáticos no han sido en la historia de la humanidad pacifista. D'Ambrosio (2012) plantea este tema de la paz y su relación con la forma de

pensamiento más difundida en el mundo, el matemático. Sería extraño encontrar un profesor de matemáticas maltratando a un niño o niña, porque no se aprendió el algoritmo u operación aritméticos, pero sí es posible escucharle decir así no es, ese así no es y puede significar que los cálculos u operaciones que emplea el padre o la madre, o todo el núcleo familiar, que ellos emplean casi a diario para sobrevivir, no sirven. Aunque esto también es recíproco, el tendero dirá algo propio si no le da el mismo resultado, empleando el algoritmo escolar. Se precisa que -el no sirven-, solo sería válido si no da el resultado correcto para los que no están involucrados; una apuesta compleja en una situación didáctica.

Si se mira ahora lo que sucede en la mayoría de las escuelas, se notará que se sigue enseñando a calcular aritméticamente, a través de un único algoritmo para cada operación, es decir, no hay un cálculo flexible (Gómez, 2010). Al enfocarse, de esta manera, se produce una tensión, pues las personas, los estudiantes, cuentan con otras formas de calcular y llegan a tener una comprensión profunda de los números, de las cantidades, de las magnitudes, el papel que juegan en los oficios, su diversidad algorítmica y procedimental. Lo curioso es que el mismo profesor de matemáticas no está excepto de esto; si hay una conciencia en ambas direcciones, entre agentes de los oficios y la escuela, desde la escuela que no vena las aritméticas de los oficios, como ejemplos de lo escolar y los agentes de los oficios no vean lo escolar, como impositiva, tal vez esta conciencia puede permitir una intercomprensión de lógicas de las aritméticas escolares o provenientes de oficios. Si lo primero se logra y se comprende, las vinculaciones de los niños y niñas a estos oficios, entonces, se podrá construir un significado sobre el real alcance de la frase de que la matemática tiene sentido si se vincula con la realidad.

Por último, la educación matemática, para aproximarse al respeto que caracteriza la intercomprensión de lógicas de las aritméticas de oficios, necesita de la enculturación matemática del currículo (Bishop, 1999), teniendo como actores fundamentales a los profesores de matemáticas, sensibles a sus entornos próximos, donde éste labora, los cuales, son fecundos en aritméticas. Es solo una cuestión de ir con otros ojos a la calle.

Agradecimientos: A los profesores Carlos Eduardo Vasco y Bruno D'Amore, por revisar este texto en sus primeras versiones, por sus observaciones y recomendación de bibliografía. **Conflictos de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado por el autor, quien declara ser el único autor y que no existe conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. AROCA, A. 2013. Cálculos aritméticos en una práctica cultural. EAE, España. 64p.
2. BISHOP, A. 1999. Enculturación matemática: La educación matemática desde una perspectiva cultural. Ed. Ibérica S.A. Paídos, SAICF, Buenos Aires. 239p.
3. BOYER, C. 1974. História da Matemática. Editora da Universidade de São Paulo, Brazil. 252p.
4. CARRAHER, T.; CARRAHER, D.; SCHLIELMANN, A. 1993. Na vida dez, na escola zero. 3ª. ed. Cortez, Brasil. 184p.
5. CHAHINE, I.C.; NARESH, N. 2013. Mapping the cognitive competencies of street vendors and bus conductors: A cross-cultural study of workplace mathematics. Rev. Latinoam. Etnomatem. (Colombia). 6(3):7-35.
6. CRESPO, C.; FARFÁN, R.; LEZAMA, J. 2009. Algunas características de las argumentaciones y la matemática en escenarios sin influencia aristotélica. Rev. Latinoam. Invest. Matemát. Educat. (México). 12(1):29-66.
7. D'AMBROSIO, U. 2000. Las dimensiones políticas y educativas de la etnomatemática. En: Martinón, A.; (ed.). Las matemáticas del siglo XX, una mirada en 101 artículos. NIVOLA Libros y Ediciones, España, p.439-444.
8. D'AMBROSIO, U. 2011. Etnomatemática. Elo entre as tradições e a modernidade. Autentica Editora, Belo Horizonte, 110p.
9. D'AMBROSIO, U. 2012. The program ethnomathematics: theoretical basis and the dynamics of cultural encounters. Cosmopolis. J. Cosmopolitics. 3(4):13-41.
10. De MARINIS, S. 2008. Matemática. Cálculo mental con números naturales para el docente. Ministerio de Educación Gobierno de la ciudad de Buenos Aires, Buenos Aires, 56p.
11. DELPRATO, M. 2005. Educación de adultos. ¿Saberes matemáticos previos o saberes previos a los matemáticos? Acta Latinoam. Matemát. Educat. (México). 18:51-56.
12. DESLAURIERS, J. 2005. Investigación cualitativa. Guía práctica. Ed. Papiro, Colombia, 142p.
13. FLORES, F. 2011. Enciclopedia de las tecnologías Rotas. El humanista como Ingeniero. Libro Primero. Media – Tryck, Suecia, 134p.
14. GOETZ, J.; LeCOMPTE, M. 1998. Etnografía y Diseño Cualitativo en investigación educativa. Ed. Morata, Madrid), 280p.
15. GÓMEZ, B. 1994. Tipología de los errores en el cálculo mental. Un estudio en el contexto educativo. Enseñanza Ciencias. 13(3):313-325.
16. GÓMEZ, B. 1995. Los métodos de cálculo mental vertidos por tradición reflejados en los libros de aritmética. Uno: Rev. Didáctica Matemát. (España). 2(5):91-101.
17. GÓMEZ, B. 2010. El cálculo flexible. En: Las matemáticas su enseñanza y aprendizaje. Org. Velasco, M.C.; Mejía, M.F. p.17-31. Unidad de Artes Gráficas – Facultad de Humanidades, Cali, 150p.
18. GUERRERO, F. 2011. La importancia de las estrategias del cálculo mental en las operaciones matemáticas básica. Rev. Digital Innov. Experien. Educat.40:1-7. Disponible desde Internet en: http://www.csi-csif.es/andalucia/modules/mod_ense/revista/pdf/Numero_40/Francisco%20Javier_Guerrero_1.pdf (con acceso el 02/10,2014).
19. HODGKIN, L. 2005. A history of mathematics. From Mesopotamia to modernity. Oxford University Press, New York, 283p.
20. MARIÑO, G. 1985. Cómo opera matemáticamente el adulto del sector popular, constataciones y propuestas. Dimensión Educativa, Bogotá, 161p.
21. MARIÑO, G. 1990. La resta desde los sectores populares. En: Centro Laubach de educación popular básica de adultos. p. 151-157. Consejo de educación de adultos de América Latina. La enseñanza de la matemática con los adultos de los sectores populares: Experiencias e investigaciones. Dimensión Educativa, Bogotá, 184p.
22. MORSE, H.; BOTTORFF, J.; ZIMMERMAN, E. 2007. Asuntos críticos en los métodos de investigación cualitativa. Ed. Universidad de Antioquia, Colombia, 185p.

23. SAXE, G.B. 1988. The mathematics of child street vendors. *Child Developm.* (Estados Unidos). 59:1415-1425. desarrollar la teoría fundamentada. Primera edición en español, Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. 340p.
24. SAXE, G.B. 1991. Venditori ambulanti e conoscenze matematiche. *Età Evolutiva.* (Italia). 40:3-16.
25. SEAQUIST, C.; SESHAIYER, P.; CROWLEY, D. 2005. Calculation across cultures and history. *Texas College Mathemat. J.* (Estados Unidos). 1(1):15-31.
26. STRAUSS, A.; CORBIN, J. 2002. Bases de la investigación cualitativa. Técnicas y procedimientos para
27. TAYLOR, T. 1816. *Theoretic arithmetic.* Printed for the author, London, 252p.
28. WITTGENSTEIN, L. 1997. *Observaciones sobre los fundamentos de la matemática,* Madrid: Alianza, 384p.

Recibido: Julio 31 de 2015

Aceptado: Octubre 6 de 2015

Cómo citar:

Aroca, A. 2015. Aritméticas en un municipio del nororiente colombiano. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 553-561.

INFLUENCIA DEL GRADO DE MADUREZ EN LA FIRMEZA DEL PLÁTANO HARTÓN (*Musa* AAB Simmonds)

INFLUENCE OF MATURITY ON THE STRENGTH OF FRACTURE "HARTÓN" PLANTAIN (*Musa* AAB Simmonds)

Ramiro Torres¹, Ricardo Andrade², Diego Tirado³, Diofanor Acevedo⁴

¹Ingeniero Químico, M.Sc. Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Córdoba, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Alimentos. Carrera 6 No. 76-103, Km. 3, vía Cereté, Córdoba-Colombia, e-mail: rtorres@correo.unicordoba.edu.co; ²Ingeniero Químico, Ph.D. Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Universidad de Córdoba, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Alimentos. Carrera 6 No 76-103, Km. 3, vía Cereté, Córdoba-Colombia, e-mail: randrade@correo.unicordoba.edu.co; ³Ingeniero de Alimentos, C. M.Sc. Ingeniería Ambiental. Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Campus de Piedra de Bolívar, Cartagena, Bolívar-Colombia, e-mail: dtiradoa@unicartagena.edu.co; ⁴Ingeniero de Alimentos, Ph.D. Ingeniería de Alimentos. Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería de Alimentos. Avenida El Consulado, Calle 30 No, 48-152, Cartagena, Bolívar-Colombia, e-mail: diofanor3000@gmail.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 563-567, Julio-Diciembre, 2015

INTRODUCCIÓN

Colombia es un país donde los productos agrícolas son unos de los principales pilares de la economía nacional. La agricultura colombiana está liderada por productos, como el café, las flores, el aceite de palma, el maíz y el plátano (Peffetti *et al.* 2013).

El plátano (*Musa paradisiaca* L.) es uno de los productos agrícolas más indispensables de la dieta alimentaria, especialmente, para la población de escasos recursos de los países tropicales, ya que es uno de los alimentos que más aporta calorías. El cultivo de plátano en Colombia ha sido un sector tradicional de economía campesina, de subsistencia para pequeños productores, de alta dispersión geográfica y de gran importancia socioeconómica, desde el punto de vista de seguridad alimentaria y de generación de empleo (Castaño *et al.* 2012; Villaverde *et al.* 2013). Aunque hay muchas variedades, las más cultivadas son: Hartón (*Musa* ABB Simmonds), Morado (*M. paradisiaca*), Cachaco (*M. sapientum*), Topocho o Cuatrofilos (*M. ABB silver bluggoe*), Pelipita (*M. ABB*), Maqueño (*M. balbisiana*), entre otros (Lucas *et al.* 2012).

El comportamiento físico del plátano varía durante la maduración, presentando cambios en el tamaño, la forma, la coloración de la cáscara, la pulpa, la materia seca y la textura (Villaverde *et al.* 2013). En el proceso avanzado de la maduración, cuando se han logrado los máximos cambios de composición, se inicia el proceso de ablandamiento del fruto, debido al incremento de la actividad de la enzima pectina-

sa (Barrera *et al.* 2010; Torres *et al.* 2013). Estas variaciones que se muestran durante la maduración, afectan la calidad organoléptica del plátano, especialmente, en la firmeza (Torres *et al.* 2015), que es un atributo textural de las frutas y de las hortalizas, utilizado para determinar el momento óptimo de la recolección, la calidad durante el almacenamiento, la comercialización en fresco o al procesado inicial de los productos (Negrin *et al.* 2013; Granados *et al.* 2014).

La firmeza, se puede determinar a través de la fuerza máxima de compresión o por el módulo de elasticidad o módulo de Young (Rodríguez *et al.* 2012). Como la mayoría de los alimentos son viscoelásticos y, por lo general, se someten a grandes compresiones, la definición de módulo Young rara vez se aplica a los productos alimenticios, por lo que es más conveniente determinar la fuerza con el módulo de deformabilidad, donde las deformaciones elástica y plástica, en la curva fuerza-deformación, es empleada para calcular la deformación unitaria en la expresión del módulo (Shirvani *et al.* 2014); sin embargo, el concepto del módulo de Young, se utiliza con frecuencia para expresar la relación tensión-deformación del alimento, a compresiones moderadamente bajas y en la zona de la curva de fuerza – compresión, que es razonablemente lineal y se ha identificado como una forma de medir la firmeza en los alimentos (De Lavergne *et al.* 2015; Barreiro y Ruiz, 1996). El plátano, desde su cosecha, en los procesos prácticos de manipulación y de transporte, están sometidos a diversas condiciones de fuerzas o cargas aplicadas, las cuales, pueden ocasionar daños mecánicos, que afectan su calidad y precio (Torres *et al.* 2013).

Por tanto, identificar las magnitudes de esas cargas y esfuerzos resulta determinante, para mejorar las técnicas de empaque, de transporte, de manejo y de control y así conservar su calidad (Barrett *et al.* 2010). Los modelos reológicos pueden dar razón de ese comportamiento mecánico, al someter el producto a fuerzas de fractura, aplicando compresión en dirección transversal y longitudinal. Dicho comportamiento puede estar afectado por una combinación de múltiples factores o características físicas, químicas, térmicas y mecánicas del producto (González *et al.* 2014).

En Colombia existen pocas investigaciones sobre el comportamiento textural de los productos agrícolas, como es el caso del plátano Hartón, que pueden mejorar la calidad de procesamiento del mismo (Ciro Velásquez *et al.* 2007; Barco *et al.* 2009). El objetivo de esta investigación fue estudiar la influencia del grado de madurez en la fuerza de fractura del plátano Hartón (*Musa AAB Simmonds*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de frutas. Se seleccionaron los plátanos variedad Hartón (*Musa AAB Simmonds*) tipo exportación, procedentes de un cultivo de zona rural del Municipio de Montería, Córdoba; se escogieron en los estados de madurez 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7, identificados, visualmente, por el color de la cáscara, expresada en los parámetros CIELAB, siguiendo la metodología propuesta por Torres *et al.* (2012), adaptada para el plátano *Musa AAB Simmonds*. Cada estado de madurez, se representó como un patrón o estándar, enumerándolos del 1 al 7.

Determinación de la firmeza. Se realizaron pruebas de compresión uniaxial, longitudinal y transversal, sobre muestras cilíndricas de 2cm de diámetro y 3cm de altura, mediante un plato de compresión de 5cm de diámetro, a las velocidades seleccionadas en el diseño experimental, hasta 70%, respecto a la altura inicial de la muestra, para determinar fuerza máxima de compresión y pruebas de compresión uniaxial y longitudinal, hasta 30%, respecto a la altura inicial de la muestra, para determinar el módulo de deformabilidad, en un Texturómetro Shimadzu EZ Test[®], usando el software RheoMeter[®] versión 2.04. Con la gráfica de fuerza vs desplazamiento, se determinó la fuerza máxima de compresión uniaxial y el módulo de deformabilidad, se calculó como la pendiente en la región lineal de la gráfica la deformación de Hencky, $\epsilon(t)$ vs esfuerzo real, $\sigma(t)$ dado por:

$$\epsilon(t) = - \int_{h_0}^h dh \quad (1)$$

$$\sigma(t) = \frac{F(t)}{A_0} \quad (2)$$

Donde h y h_0 son la altura en cualquier tiempo t y la altura inicial de la muestra, respectivamente; $F(t)$ es la fuerza realizada a la muestra en cualquier tiempo t y A_0 es el área inicial de la muestra.

Diseño experimental. Se empleó un diseño experimental completamente al azar, bajo un arreglo factorial $2 \times 3 \times 7$ con los factores: dirección de la carga, en los niveles longitudinal y transversal; velocidades de compresión, en los niveles 0,1, 0,3 y 0,4cm/s y estado de madurez, en los niveles 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; dos repeticiones por tratamiento, para un total de 126 unidades experimentales. Se realizó una prueba de análisis de varianza ANOVA, a un nivel de significancia del 5%, correspondiente al diseño planteado, para validar el ajuste del modelo y verificar la significancia de los tratamientos sobre las variables de respuesta fuerza máxima de compresión uniaxial y módulo de deformabilidad. Posteriormente, se realizó la prueba de comparación de medias de tratamientos de Tukey. El análisis estadístico y procesamiento de los datos, se realizó en el software estadístico Statgraphics Centurion XV versión de prueba.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Anova muestra que existen diferencias significativas del estado de madurez sobre la fuerza máxima de compresión, medida de forma longitudinal y transversal. En la tabla 1, se evidencia que, para el plátano variedad Harton, la fuerza máxima de compresión uniaxial disminuye significativamente, con una significancia del 5%, a medida que aumenta el estado de madurez del 1 al 2; sin embargo, entre los estados de madurez 2 a 3, 3 a 4 y 4 a 5 no se presentaron diferencias significativas y solo vuelve a presentarse un descenso significativo de la fuerza de compresión, entre los estados 5 al 7. Lo anterior permite tener un referente para procesamiento y también para su almacenamiento y transporte, teniendo en cuenta la relación proporcional entre la cáscara y la pulpa (Ciro Velásquez *et al.* 2005), pues las pruebas no se realizaron con cáscara. Así, a menor fuerza de compresión soportada por el plátano, mayores van a ser los daños mecánicos que afectan su calidad y su precio.

La disminución de la firmeza del plátano Hartón (representada por fuerza máxima de compresión), a medida que aumenta su estado de madurez, se debe a que, durante el proceso de maduración, se presenta un ablandamiento de la rigidez celular de la fruta, originado por una degradación de los hidratos de carbono poliméricos, específicamente, sustancias pécticas y hemicelulares, las cuales, debilitan las fuerzas cohesivas entre células y la pared celular (Torres *et al.* 2012). Además, durante la maduración, la velocidad de degradación de las sustancias pécticas está relacionada con el ablandamiento de la fruta (Linares *et al.* 2013).

En la tabla 1, se evidencia que la firmeza también se presentan diferencias significativas en el sentido de la carga, por lo que se puede afirmar que el plátano Hartón se comporta como un alimento anisotrópico, en todos sus estados de madurez, es decir, que la estructura de los tejidos no es homogénea, concordando con estudios en plátano (*Musa AAB Simmonds*) (Ciro Velásquez *et al.* 2008). Igualmente, la velocidad de compresión, no incidió sobre la determinación de la firmeza, a un nivel de significancia del 5%.

En la tabla 2, se observa que el módulo de deformabilidad longitudinal a la compresión disminuye, significativamente, a un nivel de significancia del 5%, entre el estado de madurez 1 al 3 y del 5 al 7; sin embargo, entre los estados de madurez 3

al 5 no se presentaron diferencias significativas. Esto permite diferenciar la firmeza de la fruta atribuible a la pérdida de rigidez del fruto, que ocurre en su proceso de maduración, mostrando una mayor diferencia de ésta entre los estados de madurez inicial y final y, manteniéndose, entre los estados de madurez intermedios, del 3 al 5. Este comportamiento, se puede explicar porque la maduración ha sido asociada con tres procesos (Barco *et al.* 2009): en el primero, se presenta la degradación del almidón para formar azúcar, lo cual, ocurre entre los estados de madurez 1 a 2; en el segundo proceso, se detecta la degradación de las paredes celulares o reducción en la cohesión de la lamella media, debido a la solubilización de las sustancias pécticas, lo que se da en los estados de madurez 3 al 5; esto explica, por qué estos estados de madurez no afectan significativamente la elasticidad

Tabla 1. Fuerza máxima de compresión uniaxial del plátano Hartón (*Musa AAB Simmonds*).

Estado de Madurez	Fuerza máxima (N)	
	Longitudinal	Transversal
1	455,43±3,03 ^{a**}	350,45±5,21 ^a
2	416,97±7,04 ^{b**}	312,23±6,47 ^b
3	396,41±7,41 ^{bc**}	292,50±6,41 ^{bc}
4	372,65±8,51 ^{cd**}	267,68±9,96 ^{cd}
5	359,49±11,97 ^{d**}	254,13±11,24 ^d
6	142,41±32,22 ^{e**}	82,56±27,20 ^e
7	91,72±28,78 ^{f**}	44,22±17,73 ^f

*Letras minúsculas indican diferencias entre tratamientos estados de madurez. Letras diferentes indican diferencias significativas (nivel significancia 5%). Los ** indican diferencia significativa entre tratamientos longitudinal y trasversal.

Tabla 2. Módulo de deformabilidad longitudinal (KPa) del plátano Hartón (*Musa AAB Simmonds*).

Estado Madurez	Módulo de deformabilidad longitudinal (KPa)
1	819,35±56,27 ^a
2	645,83±31,32 ^b
3	542,33±25,36 ^c
4	505,45±49,98 ^c
5	486,93±27,25 ^c
6	340,33±35,65 ^d
7	133,82±28,77 ^e

*Letras minúsculas indican diferencias entre tratamientos. Letras diferentes indican diferencias significativas (nivel significancia 5%).

de la fruta y, el tercero, es el movimiento de agua desde la cáscara a la pulpa, debido al proceso de ósmosis, lo que se da en los estados 6 al 7, afectando, significativamente, la elasticidad de la fruta. Resultados similares se han reportado en banano (*Musa sapientum*), por Barco *et al.* (2009); en bayas de arándanos, por Zapata *et al.* (2010); en lulo, por Ospina *et al.* (2007) y en manzana, por Yurtlu *et al.* (2005).

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

- BARCO, P.L.; BÚRBANO, A.C.; MEDINA, M.; MOSQUERA, S.A.; VILLADA, H.S. 2009. Efecto de recubrimiento natural y cera comercial sobre la maduración del banano (*Musa sapientum*). Rev. Biotecn. Sector Agropec. Agroindustr. (Colombia). 7(2):70-76.
- BARRERA, J.; ARRAZOLA, G.; CAYÓN, D. 2010. Caracterización fisicoquímica y fisiológica del proceso de maduración de plátano Hartón (*Musa AAB Simmonds*) en dos sistemas de producción. Acta Agr. (Colombia). 59(1):20-29.
- BARREIRO, J.; RUIZ-ALTISENT, M. 1996. Propiedades mecánicas y calidad de frutos. Definiciones y medidas instrumentales. Fruti. Prof. 77:48-51.
- BARRETT, D.; BEAULIEU, J.; SHEWFELT, R. 2010. Color, Flavor, Texture, and Nutritional Quality of Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Desirable Levels, Instrumental and Sensory Measurement, and the Effects of Processing. Critical Rev. Food Sci. Nutrition. (UK). 50:369-389.
- CASTAÑO, A.M.; ARISTIZABAL, M.; GONZÁLEZ, H. 2012. Requerimientos hídricos del plátano Dominico-Hartón (*Musa AAB Simmonds*) en la región Santágueda (Palestina, Caldas). Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia). 15(2):331-338.
- CIRO VELÁSQUEZ, H.J.; MONROY LAITON, F.A.; CORTÉS MARÍN, E.A. 2008. Estudio preliminar del comportamiento reológico bajo compresión unidireccional de la pulpa de plátano (*Musa AAB Simmonds*). Dyna. 75(155):155-161.
- CIRO VELÁSQUEZ, H.J.; LARGO ÁVILA, S.; CASAFÚS PIEDRAHITA, H.S. 2007. Caracterización reológica de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Parte I: Respuesta a la compresión unidireccional. Dyna. (Colombia). 74(151):25-36.
- CIRO VELÁSQUEZ, H.J.; MONTOYA LÓPEZ, M.L.; MILLÁN CARDONA, L.d.J. 2005. Caracterización de propiedades mecánicas del banano (Cavendish Variety). Rev. Fac. Nal. Agr. 58(2):2975-2988.
- DE LAVERGNE, M.D.; VAN DELFT, M.; VAN DE VELDE, F.; VAN BOEKEL, M.A.; STIEGER, M. 2015. Dynamic texture perception and oral processing of semi-solid food gels: Part 1: Comparison between QDA, progressive profiling and TDS. Food Hydrocoll. (Netherlands). 43(1):207-217.
- GONZÁLEZ, D.I.; ORDOÑEZ, L.E.; VANEGAS, P.; VÁSQUEZ, H.D. 2014. Cambios en las propiedades fisicoquímicas de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) cosechados en tres grados de madurez. Acta Agr. 63(1):11-17.
- GRANADOS, C.; ACEVEDO, D.; CABEZA, A.; LOZANO, A. 2014. Análisis de perfil de textura en plátanos Pelipita, Hartón y Topocho. Inf. Tecnol. (Chile). 25(5):35-40.
- LINARES, J.A.; CASTILLO, B.; LONDONO, M.T. 2013. Characterization of the mechanical properties of the sweet passion fruit (*Passiflora ligularis* Juss.). Acta Agr. 31(2):208-214.
- LUCAS, J.C.; QUINTERO, V.D.; LEAL, J.F.V.; MOSQUERA, J.D. 2012. Evaluación de los parámetros de calidad de chips en relación con diferentes variedades de plátano (*Musa paradisiaca* L.). Rev. Lasallista Invest. (Colombia). 9(2):65-74.
- NEGRIN, H.L.I.; BARROS, R.; DA SILVA, A.C.; NETO, A.F.; CARDENAS, N. 2013. Comportamiento mecánico de dos variedades de mango (*Mangifera Indica*) bajo compresión axial. Rev. Cienc. Técn. Agropec. (Cuba). 22(2):11-15.
- OSPINA MONSALVE, D.M.; CIRO VELÁSQUEZ, H.J.; ARISTIZÁBAL TORRES, I.D. 2007. Determinación de la fuerza de la fractura superficial y fuerza de firmeza en frutas de lulo (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*). Rev. Fac. Nal. Agron. (Colombia). 60(2):4163-4178.
- PERFETTI, J.J.; HERNÁNDEZ, A.; LEIBOVICH, J.; BALCÁZAR, Á. 2013. Políticas para el Desarrollo de la

- Agricultura en Colombia. 1ª Edición. Ed. La imprenta. (Colombia). 248p.
17. RODRÍGUEZ, A.; MOUNSON, L.L.; HERNÁNDEZ, A. 2012. Determinación de la firmeza de la guayaba (*Psidium guajava* L.) en diferentes estados de maduración. *Rev. Ing. Agr. (Cuba)*. 2(1):42-46.
18. SHIRVANI, M.; GHANBARIAN, D.; GHASEMI-VARNAMKHAJASTI, M. 2014. Measurement and evaluation of the apparent modulus of elasticity of apple based on Hooke's, Hertz's and Boussinesq's theories. *Measurement. (UK)*. 54(1):133-139.
19. TORRES, R.; MONTES, E.; PÉREZ, J.; OMAR, A.; ANDRADE, R.D. 2013. Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. *Inform. Tecnol.* 24(3):51-53.
20. TORRES, R.; MONTES, E.J.; PÉREZ, O.A.; ANDRADE, R.D. 2012. Influencia del estado de madurez sobre las propiedades viscoelásticas de frutas tropicales (mango, papaya y plátano). *Inform. Tecnol.* 23(5):115-124.
21. TORRES, R.; MONTES, E.J.; PÉREZ, O.A.; ANDRADE, R.D. 2015. Influencia del color y estados de madurez sobre la textura de frutas tropicales (Mango, Papaya y Plátano). *Inform. Tecnol.* 26(3):47-52.
22. VILLAVERDE, J.; OLIVEIRA, L.; VILELA, C.; DOMINGUES, R.; FREITAS, N.; CORDEIRO, N.; SILVESTRE, A. 2013. High valuable compounds from the unripe peel of several *Musa* species cultivated in Madeira Island (Portugal). *Industr. Crops Prod. (Netherlands)*. 42(1):507-512.
23. YÜRÜTLÜ, Y.; ERDOĞAN, D. 2005. Effect of storage time on some mechanical properties and bruise susceptibility of pears and apples. *Turkey J. Agric. Forest. (Turquía)*. 29(1):469-482.
24. ZAPATA, L.M.; MALLERET, A.D.; QUINTEROS, C.F.; LESA, C.E.; VUARANT, C.O.; RIVADENEIRA, M.F.; GERARD, J.A. 2010. Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándanos durante su maduración. *Cienc., Doc. Tecn. (Uruguay)*. (41):159-171.

Recibido: Abril 14 de 2015

Aceptado: Noviembre 17 de 2015

Cómo citar:

Torres, R.; Andrade, R.; Tirado, D.; Acevedo, D. 2015. Influencia del grado de madurez en la firmeza del plátano hartón (*Musa* AAB Simmonds). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 563-567.

DIVERTÍCULOS ESOFÁGICOS EN UNA YEGUA CRIOLLA COLOMBIANA: REPORTE DE CASO

ESOPHAGEAL DIVERTICULA IN COLOMBIAN CREOLE MARE: CASE REPORT

Omar F. Arenas¹, Gustavo A. Villa², José R. Martínez A.³

¹ EST MV. Universidad de Antioquia, Medellín-Colombia, e-mail: omar-are@hotmail.com; ² MV. Universidad de Antioquia, práctica privada, Medellín-Colombia, e-mail: tavovilladiaz@hotmail.com; ³ MVZ, MS, PhD. LIMCE Línea de Investigación en Medicina y Cirugía Equina, Grupo de Investigación Centauro. Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Antioquia, calle 70 No. 52-21, Medellín, Antioquia-Colombia, e-mail: jrmonmvz@yahoo.com. Autor de correspondencia: jose.martinez@udea.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 569-573, Julio-Diciembre, 2015

INTRODUCCIÓN

Las patologías esofágicas son de carácter multifactorial y se manifiestan después de la compactación de material alimenticio, iniciando con el desarrollo de disfagia, progresando a obstrucción y, finalmente, ruptura de esófago (Jones & Blikslager, 2005). Casos de obstrucción intraluminal son los más comunes en los equinos y, dentro de éstos, se encuentran, con mayor frecuencia, los divertículos.

Los divertículos esofágicos son hallados en los equinos y pueden ser de origen congénitos y adquiridos. Los adquiridos son de mayor incidencia y son clasificados, como divertículos de tracción y de presión (Yamout *et al.* 2012). De acuerdo con Stick (2012), el tratamiento consiste en la reducción o en la extirpación, a través de la diverticulectomía, dependiendo de la localización y de la accesibilidad al segmento esofágico comprometido.

El objetivo de este trabajo es reportar el caso de la presencia de divertículos esofágicos en una yegua criolla colombiana de paso fino, que fue atendida en una clínica veterinaria del municipio de Envigado, Antioquia-Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos anamnésticos reportaron historia reciente de Síndrome de abdomen agudo (SAA), por impactación gástrica, tratada con hidratación parenteral, con solución cristaloi-de isotónica de ringer lactato, a 100mL/kg/día, hidratación enteral, con sonda nasogástrica, cada cuatro horas, por 24 horas, en la cual, se administró de cuatro a seis litros de líquidos, compuesto por dextrosa y electrolitos, a base de

cloruro de sodio, citrato de sodio y cloruro de potasio, así como la administración de ranitidina 6,6mg/kg/qid/iv, por tres días. La paciente evolucionó, positivamente, al protocolo instaurado.

El caso corresponde a un equino hembra, criollo colombiano de paso fino, con una condición corporal 7/9, cinco años de edad y un peso de 346kg. Durante el examen clínico, se reportaron los siguientes signos vitales: frecuencia cardíaca: 38lpm; frecuencia respiratoria: 12rpm; temperatura rectal: 38,7°C; atenta al medio y con reflejos nerviosos normales y normo-motilidad gastrointestinal; sin embargo, después de 24 horas de estabilidad clínica, posterior al SAA, presentó secreción nasal bilateral mucoide, de forma continua, con contenido de pasto y tendencia a aumentar, al intentar ingerir alimento. De igual forma, evidenció sialorrea, disfagia, odinofagia, estertores traqueales, posición del cuello extendida de forma antero ventral y, a la palpación del área yugular, se encontró enfisema subcutáneo.

Inicialmente, se realizó endoscopia exploratoria –previa sedación con xilacina al 10%, a dosis de 1,1mg/kg/iv-; durante este primer examen, se presentó imposibilidad de entrar al esófago, posiblemente, relacionado con la resistencia de los tejidos inflamados del área; por tal motivo, se instauró tratamiento antiinflamatorio, compuesto de dexametasona a 0,1mg/kg/sid/iv y flunixin meglumine 1,1mg/kg/bid/iv, ambas durante dos días.

Después de la terapéutica antiinflamatoria, se practicó una segunda endoscopia, bajo sedación con xilacina al 10%, a dosis de 1,1mg/kg/iv y premedicación con 10UI/iv de oxitocina, 30 minutos antes del procedimiento. La resistencia para

ingresar al esófago persistió; sin embargo, después de varios intentos, se logró avanzar con el endoscopio, tan solo 3cm, aproximadamente.

Ante este impedimento, se decidió, inicialmente, retirar el material compactado, con pinzas de uso endoscópico, pero sin éxito, por el poco contenido que se obtenía. Como segunda tentativa –para desobstruir la entrada esofágica-, se introdujo una sonda nasogástrica por el ollar libre, para hidratar y ablandar, con la instilación de líquidos y de dioctil-sulfosuccinato sódico (DSS), en el sitio de la obstrucción, para posteriormente realizar tracción mecánica, en sentido aboral. En definitiva, se logró atravesar el sitio obstruido y llegar al estómago, con la sonda, mas no con el endoscopio.

Se efectuó un estudio radiográfico simple del área cervical proximal y, otro, contrastado con sulfato de bario, en el esfínter superior del esófago, en proyecciones latero-lateral. Durante estos procedimientos, se le realizó hidratación parenteral, a razón de 100mL/kg día, con lactato de ringer, sucralfato 15mg/kg/qid/vo y se instauró terapia antibiótica conservadora, posterior al procedimiento con enrofloxacin 5mg/kg/qid y penicilina G sódica 22.000UI/kg/qid/iv. Durante el día quinto de evolución clínica, se tomaron muestras de sangre, para hemoleucograma y determinación de BUN, creatinina y sodio.

Ante la persistencia de los signos, se decidió realizar una tercera endoscopia, tres días después de la segunda, en este caso, con protocolo de anestesia general endovenosa fija, compuesta de xilacina al 10%, a dosis de 0,8mg/kg/iv, ketamina al 10%, a dosis de 2,2mg/kg/iv y guayacolato de glicerilo al 10%, a dosis de 100mg/kg/iv, bajo un esquema de infusión, para mantenimiento de 1ml/kg/hora de la solución.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La primera endoscopia reportó inflamación del área laríngea, con exacerbación en los procesos corniculados de los cartílagos aritenóides, tal como se muestra en la figura 1A; la exploración endoscópica de la tráquea reportó presencia de moco, que se extendía hasta la carina. El segundo estudio endoscópico evidenció lumen traqueal libre de moco, zona laríngea y cartílagos aritenóides notablemente desinflamados, como se muestra en la figura 1B; igualmente, con el limitado avance del endoscopio, se observaron puntos necróticos y acúmulo de material alimenticio en descomposición. Los hallazgos de la tercera endoscopia fueron similares a los encontrados durante la segunda.

La evaluación radiológica mostró, como hallazgo relevante, cambios de radiolucidez compatible, con acúmulo de gas, en los tejidos circunvecinos ventrales al esófago del área y sin alteraciones en el lumen esofágico; los exámenes de

laboratorio, no indicaron alteraciones significativas. Ante la ausencia de mejoría, de pronóstico reservado y de razones económicas del propietario, se tomó la decisión de eutanasia, bajo anestesia general, aplicando 20mL de lidocaína 2% intratecal, según protocolo, propuesto por Amaral *et al.* (2011).

En la necropsia, se evidenciaron dos divertículos, que iniciaban en el área dorsal de la entrada del esófago y de manera transversal y en forma cónica, recorrían el perímetro hasta el área ventral, sin comunicación entre sí; cada saculación, con un tamaño aproximado de 3 y 4cm de profundidad. La cavidad de los divertículos contenía partículas de alimento impactado, que ejercían presión hacia la luz del esófago.

Muestras de tejido de las saculaciones de la pared esofágica fueron tomadas y procesadas, para estudio histopatológico. Necrosis, inflamación crónica activa con reparación, inflamación flegmonosa y gangrenosa severa –con extensión a capas profundas, como lámina propia, submucosa, túnica muscular y adventicia del esófago-, necrosis de Zenker, necrosis grasa y microabscesos –de diferente tamaño-, se reportaron microscópicamente.

Los divertículos esofágicos adquiridos son los más comúnmente encontrados en los equinos, mientras los de naturaleza congénita son de escasa presentación, de acuerdo a lo reportado por Stick (2012); sin embargo, este reporte describe una alteración de tipo congénita, por la configuración bilateral de las saculaciones en el segmento inicial del esófago y la cronicidad de las lesiones halladas macroscópica e histológicamente.

La manifestación clínica del cuadro esofágico, en este equino adulto, a pesar de ser congénito, indicó una lenta y progresiva compactación de material alimentario dentro las cavidades de los divertículos, alcanzando un volumen considerable para disminuir el espacio luminal y afectar el paso de ingesta y alterar la fase esofágica de la deglución. Esta situación, también influyó en la resistencia evidenciada al paso del endoscopio, para realizar la esofagoscopia completa, en esta paciente.

La oclusión luminal y la pérdida de la función esofágica confirmó la presentación de los signos percibidos en la evaluación clínica inicial, que son propios de cuadros obstructivos de este segmento del sistema digestivo del equino. Como consecuencia de la disfagia, la odinofagia y la pérdida constante de saliva, se pueden generar desequilibrios hidroelectrolíticos y ácido-base (Southwood, 2014), cuya severidad depende del tiempo de evolución e intervención médica. Hiponatremia, hipocloremia y pérdida de bicarbonato por salivación conducen a acidosis metabólica transitoria (Feige *et al.* 2000); sin embargo, en esta paciente, solamente la

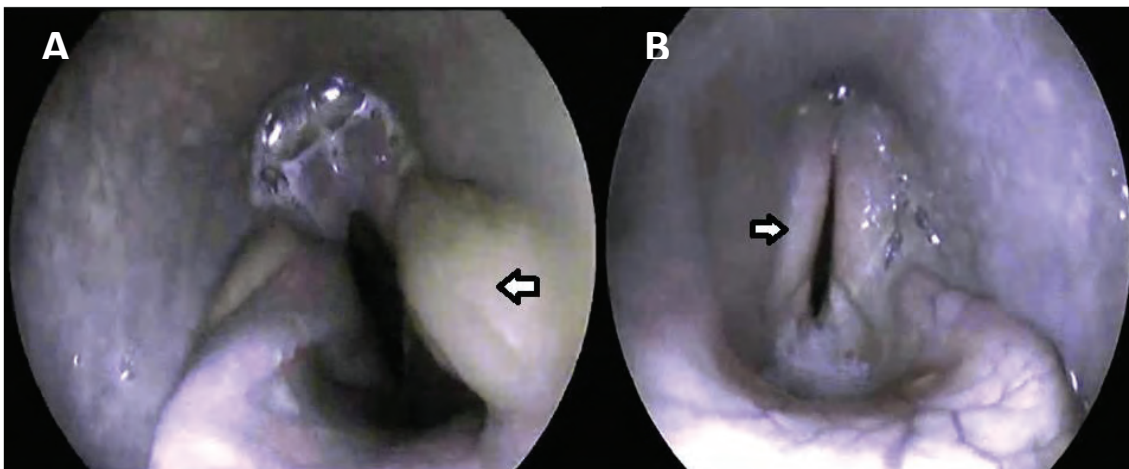


Figura 1. Endoscopia del área laríngea. Inflamación de los cartílagos aritenóides, como indica la flecha blanca y presencia de moco (A). Endoscopia de la misma área después de la terapia antiinflamatoria, con notable respuesta, como lo muestra la flecha blanca (B).

concentración de sodio sanguíneo se reportó en el rango inferior normal. Posiblemente por el monitoreo y la atención inmediata, no se evidenciaron clínicamente ni por laboratorio, estos desequilibrios.

El tratamiento de soporte administrado al inicio y durante el diagnóstico, posiblemente, minimizó las manifestaciones clínicas, como fue evidenciado con los hallazgos normales, en la mayoría de los parámetros evaluados. En este sentido y de acuerdo con Chiavaccini & Hassel (2010), algunas variables clínicas, junto a resultados endoscópicos, son herramientas importantes para determinar severidad de lesiones esofágicas y compromiso pulmonar; sin embargo, la paciente presentó leve hipertermia, probablemente, relacionado con el estrés o el dolor, ya que la frecuencia respiratoria y el leucograma se registraron normales, lo que descartó un cuadro infeccioso, a pesar de la presencia de secreción en el lumen traqueal, observado a través de la endoscopia.

A causa de la necrosis por presión desarrollada en los divertículos, se produjo perforación o rotura esofágica, causando una extensa celulitis y necrosis de los tejidos adyacentes, con posterior formación de enfisema, como se evidenció en la palpación y en el estudio radiológico (Jones & Blikslager, 2005). Las placas radiográficas simples mostraron áreas de radiolucidez, debido al gas entre los tejidos periesofágicos; sin embargo, proyecciones radiográficas con contraste fueron necesarias, para descartar la existencia de algún patrón obstructivo en esta paciente, de acuerdo con lo reportado por Greet (1982).

La tentativa inicial de realizar extracción del material impactado dentro los divertículos con las pinzas endoscópicas falló, a causa de varios factores, como la complejidad de la zona afectada, por ser una área de acceso mínimo, así como también, el tamaño de la pinza y la consistencia del material compactado. Igualmente, el lavado y la disgregación propulsiva del esófago permitieron –con dificultad– el paso de la sonda en dirección al estómago, por la mayor consistencia comparada con la del extremo del endoscopio y fue poco exitoso, debido a que la compactación del divertículo comprimó la pared y el lumen esofágico, impidiendo el tránsito aboral por la obstrucción.

El manejo médico instaurado, inicialmente, a base de antibióticos y de analgésicos, son los recomendados por la literatura para casos de obstrucción luminal simple (Feige *et al.* 2000; Jones & Blikslager, 2005; Smith, 2010). Posiblemente, la indicación de estos medicamentos contribuyó en evitar el desarrollo de complicaciones infecciosas de tipo respiratorias, por ejemplo, por ser una de las más comunes, como lo describieron Chiavaccini & Hassel (2010).

La implementación de oxitocina en procura de producir relajación esofágica para facilitar la desobstrucción, se indicó por ser efectiva, en casos donde se compromete la parte inicial o craneal del esófago de pacientes no complicados, de acuerdo a lo reportado por Meyer *et al.* (2000); a pesar del variable y controversial éxito, se utilizó, en este caso, por la condición clínica presentada; seguramente, el acceso a la entrada del esófago en la segunda endoscopia pudo haber sido por el efecto esperado de este medicamento. El uso de

sucralfato obedeció a los efectos protectores y cicatrizantes de la mucosa esofágica descritos (Jones & Blikslager, 2005); sin embargo, por el desenlace del caso, no fue posible evaluar su utilidad.

Los casos de obstrucción esofágica luminal por compactación simple, se caracteriza, por lo general, de tener un buen pronóstico; no obstante, es malo a reservado en casos de obstrucciones, por anormalidades funcionales o morfológicas, como el reportado en este trabajo. En un estudio realizado en 11 caballos con alteraciones esofágicas, sólo dos sobrevivieron a largo plazo, mientras que en otro trabajo, cinco de nueve caballos, fueron sacrificados después de complicaciones esofágicas por sondaje nasogástrico (Hardy *et al.* 1992). Complicaciones postoperatorias, como la estenosis con potencial de reincidir en obstrucción, se ha estimado en el 37% de los casos, con 24 horas de duración (Craiq *et al.* 1989). En este caso, se destacó su cronicidad por ser congénito, con un curso de manifestación clínica por siete días de duración y la baja respuesta al manejo inicial; podría indicar complicaciones mayores en su evolución.

El manejo quirúrgico de alteraciones esofágicas, en la mayoría de los casos, termina con complicaciones, como estenosis y dehiscencia de sutura, por la deficiente cicatrización derivada de características histológicas y anatómicas, particulares de este órgano (Orsini *et al.* 1991; Godoy, 2009), además de factores extrínsecos, como movilidad y efecto químico de la saliva, que comprometen el proceso de resolución (Stick, 2012). En el caso particular de la paciente de este reporte, el pronóstico se consideró reservado, por lo anteriormente mencionado y por la naturaleza y la compleja ubicación de la anormalidad diagnosticada.

Finalmente, en la decisión de eutanasia influyeron varios factores, relacionados con el tipo y la ubicación de la anormalidad esofágica; el relativo éxito quirúrgico y las razones presupuestales del propietario, para atender el manejo postoperatorio, dado que se requiere modificaciones de dieta y de prevención de posibles complicaciones, tanto en el sitio de lesión como en otros órganos circunvecinos o sistémicos; además de la posibilidad de consecuencias permanentes en la deglución, que puede terminar con el desarrollo de neumonía por aspiración, en un alto porcentaje de los casos (Jones & Blikslager, 2005). De igual forma, pueden desarrollar cuadros de hemiplejia laríngea, ruptura de la arteria carótida, infecciones postoperatorias, pleuritis, laminitis y síndrome de Horner, según lo reportado por Craiq *et al.* (1989) y Stick (2012).

En conclusión, los divertículos esofágicos congénitos en los equinos son raros y pueden cursar con una evolución crónica, que se puede agudizar con manifestación clínica y desencadenar graves trastornos. En conocimiento de los au-

tores, este reporte de caso es el primero que se estudia y se describe en un ejemplar equino criollo colombiano.

Agradecimientos: Estrategia de sostenibilidad CODI 2013-2014, Universidad de Antioquia. **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 del manuscrito presentado.

BIBLIOGRAFÍA

1. AMARAL, L.C.; RABASSA, V.; MARCHIORI, M.; MEIRELLES, M.G.; AMADO, M.; NOGUEIRA, C.E.W. 2011. Utilizacão de lidocaina 2% por via intratecal associada a anestesia previa com tiopental sódico como método de eutanasia em equinos. *ARS Veterinaria*. (Brasil). 27:011-016.
2. CHIAVACCINI, L.; HASSEL, D.M. 2010. Clinical features and prognostic variables in 109 horses with esophageal obstruction (1992-2009). *J. Vet. Intern. Med.* (USA). 24:1147-1152.
3. CRAIQ, D.R.; SHIVY, D.R.; PANKOWSKI, R.L.; ERB, H.N. 1989. Esophageal disorders in 61 horses. Results of nonsurgical management. *Vet. Surg.* (USA). 18(6):432-438.
4. FEIGE, K.; SCHWARZWALD, C.; FÜRST, A.; KASERHOTZ, B. 2000. Esophageal obstruction in horses: a retrospective study of 34 cases. *Can. Vet. J.* (Canada). 41:207-210.
5. GODOY, P.A. 2009. Obstrucción esofágica en equinos (choke). *Rev. Tecno.Vet.* (Chile). 15(1):17-21.
6. GREET, T.R. 1982. Observations on the potential role of esophageal radiography in the horse. *Equine Vet. J.* (England). 14:73-79.
7. HARDY, J.; STEWART, R.H.; BEARD, W.L.; YVORCHUK-ST, J. 1992. Complications of nasogastric intubation in horse: nine cases. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* (USA). 201(3):483-486.
8. JONES, S.L.; BLIKSLAGER, A.T. 2005. Esophageal diseases. En: Reed, S.M.; Bayly, W.M.; Sellon, D.C. (eds) *Equine Internal Medicine*. Ed. Saunders (USA). p.855-863.
9. MEYER, G.A.; RASHMIR-RAVEN, A.; HELMS, R.J.; BRASHIER, M. 2000. The effect of oxytocin on contractility of the equine oesophagus: a potential treatment for

- oesophageal obstruction. *Equine Vet. J. (England)*. 32:151-155.
10. ORSINI, J.A.; DIKES, N.; RUGGLES, A.; CHARLTON, C.; PERRY, R. 1991. Use of gastrotomy to relieve esophageal obstruction in a horse. *JAVMA (USA)*. 198(2):295-296.
11. SMITH, B.P. 2010. *Medicina interna de grandes animales*. Elsevier Mosby (ESPAÑA). p.690-694.
12. STICK, A.J. 2012. Esophagus. En: Auer, A.J.; Stick, A.J. (eds). *Equine Surgery*. Ed. Saunders Elsevier (USA). p.367-388.
13. SOUTHWOOD, L.L. 2014. Digestive system and peritoneal disease. En: Southwood, L.L.; Wilkins, A.P. (eds). *Equine emergency and critical care medicine*. Ed. Manson Publishing (USA). p.27-154.
14. YAMOUT, S.Z.; MAGDESIAN, K.G.; TOKARZ, D.A.; LE JEUNE, S.S. 2012. Intrathoracic pulsión diverticulum in a horse. *Can. Vet. J. (Canada)*. 53:408-411.

Recibido: Agosto 31 de 2015

Aceptado: Octubre 14 de 2015

Cómo citar:

Arenas, O.F.; Villa, G.A.; Martínez A., J.R. 2015. Divertículos esofágicos en una yegua criolla colombiana: reporte de caso. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(23): 569-573.

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 aporte. En reconocimiento publicamos a continuación sus nombres:

Ph.D. Lérida Lazara Acosta de la Luz, U. de la Habana, Cuba
Dr. Manuel Álvarez Gaviria, Hospital Univ. Fund. Santa Fé de Bogotá
Ph.D. Edna Regina Amante, U.F. de Santa Catarina, Brasil
Ph.D. Hernán Jair Andrade Castañeda, U. del Tolima, Ibagué, Tolima
Ph.D. Alfredo Adolfo Ayala Aponte, U. del Valle, Cali, Valle del Cauca
Ph.D. Rolando Tito Bacca Ibarra, U. del Tolima, Ibagué, Tolima
Ph.D. Pablo Benavides Machado, Cenicafe, Chinchiná, Caldas
Ph.D. José Raniere Mazile Vidal Bezerra, U.E. do Centro-Oeste, Brasil
Ph.D. Simone van Boekel, U.F. do Rio de Janeiro, Brasil
M.Sc. Adriana Breda, Pontificia U. Católica do Rio Grande do Sul, Brasil
Ph.D. Alfonso Calderón Rangel, U. de Córdoba, Montería, Colombia
Ph.D. Maria Helene Giovanetti Canteri, U.T.F. do Parana, Brasil
M.Sc. Diana María Cárdenas Caro, U. Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Norte Santander
Ph.D. José Alberto Cardona Álvarez, U. de Córdoba, Montería, Córdoba
Ph.D. Marco Antonio Camillo de Carvalho, U. do Estado de Mato Grosso, Brasil
Ph.D. Andrea Limoeiro Carvalho, U.E. de Feira de Santana, Brasil
Ph.D. Leonardo Chapa Vargas, IPICYT, San Luis Potosi, México
Ph.D. Clemencia Chaves López, U. degli Studi di Teramo, Italia
Ph.D. Hector José Ciro Velásquez, U.N. Medellín
Ph.D. Roger De Hombre Morgado, IIIA, La Habana, Cuba
Ph.D. Diogo Henrique Constantino Coledam, U.E. de Londrina, Brasil
Ph.D. Lina María Echeverri Cañas, Colegio de Estudios Superiores de Administración, Bogotá
Ph.D. Cesar González Torrivilla, U. Centroccidental "Lisandro Alvarado", Barquisimeto, Venezuela
Ph.D. Alberto Grao-Cruces, U. Pablo de Olavide, Sevilla, España
Ph.D. Annia Hernández-Rodríguez, U. de la Habana, Cuba
Ph.D. Higo Hidalgo León, U. de Costa Rica, San José, Costa Rica
M.Sc. Andrea Hurtado Ayala, U. del Valle, Cali, Valle del Cauca
Ph.D. Keila Rêgo Mendes, U.F. de Pernambuco, Brasil
Ph.D. José Paulo Molin, U. de São Paulo, Brasil
Ph.D. Juan Morua Ramírez, U. de Lorraine, Francia
Ph. D. Alberto Muro Reyes, U. Auton. De Zatecas, México
Ph.D. William Mário de Carvalho Nunes, U.E. de Maringa, Brasil
Ph.D. Daniel Osorio Domínguez, U. Javeriana, Cali, Valle del Cauca
Ph.D. Ivan Ernesto Pérez Santos, U. de Concepción, Concepción, Chile
Ph.D. Andrea Pérez Vidal, U. Santiago de Cali, Cali, Valle del Cauca
Ph.D. César Augusto Piedrahita Aguirre, U.F. da Bahia, Brasil
M.Sc. Javier Francisco Rey Rodríguez, U. de la Salle, Bogotá
M.Sc. Cristina Robledo Ardila, U. EAFIT, Medellín, Antioquia
Ph.D. Silvio Carlos Rodrigues, U. F. de Uberlândia, Brasil
M.Sc. Alexander Rodríguez Bustamante, Fundación Univ. Luis Amigó, Medellín, Antioquia
Ph.D. Loreta Rosselli Sanmartin, U.D.C.A, Bogotá
M.Sc. Diana Carolina Sánchez Zapata, U. de Antioquia, Medellín, Antioquia
Ph.D. Carolina Sousa Américo Batista Santos, U.F. de Paraíba, Brasil
Ph.D. Marcos Saquet, U.E. do Oeste do Paraná, Brasil
Ph.D. Marcio Schmiele, U. E. de Campinas, Brasil
Dr. John Jaime Sprockel Díaz, Hospital San José de Bogotá
Ph.D. Caroline Joy Steel, U. E. de Campinas, Brasil

Ph.D. Márcia Lima Tait, U. E. de Campinas, Brasil
Ph.D. Ariel Marcel Tarazona Morales, U.N. de Colombia, Medellín
Ph.D. Javier Enrique Vélez Sánchez, U.N. de Colombia, Bogotá
Ph.D. Ángela Patricia Santana, U. de Brasilia, Brasil
Ph.D. Nelson Valero Valero, U. de la Guajira, Riohacha, Guajira
Ph.D. Fernando Vargas Salinas, U. del Quindio, Armenia, Quindio
M.Sc. Ana patricia Vázquez Hernández, U.N. de Costa Rica, Heredia, Costa Rica
Ph.D. Rodrigo Pinheiro de Toledo Vianna, U.F. da Paraiba, Brasil
Ph.D. Virginia Coimbra Zuvanov, U.F. do Rio de Janeiro, Brasil

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/, 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: [http://\(con acceso fecha exacta consulta\)](http://(con acceso fecha exacta consulta)).

Los artículos que cumplen estas condiciones, se someten a la evaluación, tanto del Comité Editorial de la Revista como de referís externos, nacionales e internacionales, especialistas en el tópico tratado.

NORMAS PARA A ELABORAÇÃO DE ARTIGOS E INSTRUÇÕES PARA OS AUTORES

MISIÓN: A Revista U.D.C.A Actualidade & 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 problematológico 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 Bibliografía; 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 bibliografía, 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/, 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. Ecología. 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.entomología.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, 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 resumen, 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 resumen, 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/, 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 from Internet at: <http://www.nlc-bnc.ca/iso/tc46sc9/standard/690-2e.htm> [accessed 01/01/1999] or <http://www.entomologia.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, specialist in the treated topic.

La Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, con ISSN 0123-4226, editada por la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, avaló la Declaración de Medición de Calidad de las Revistas, propuesta por la Revista Chilena de Literatura y por editores de algunas revistas latinoamericanas, con el fin analizar y discutir los procedimientos predominantes para la medición de la calidad académica de las publicaciones seriadas.

Esta Declaración, se revisó y se aprobó en el Comité de las Revistas Científicas y Divulgativas, de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, que se llevó a cabo el 7 de julio de 2015, registrando su decisión en el Acta 073.

A continuación, se publica el listado de las revistas que se adhirieron a la Declaración:

- Aletria, Revista de Estudos Literários* (Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil)
- ALPHA* (Universidad de Los Lagos, Chile)
- alter/nativas: revistas de estudios culturales latinoamericanos* (Ohio State University, Estados Unidos)
- Ámbito de Encuentros* (Universidad del Este, Puerto Rico)
- América, cahiers du Criccal* (Université de Sorbonne-Nouvelle, Paris 3, Francia)
- Anclajes* (Universidad Nacional de La Pampa, Argentina)
- Antares: Letras e Humanidades* (Universidade de Caxias do Sul, Brasil)
- Babedec. Revista de Centro de Estudios de Teoría y Crítica Literaria* (Universidad Nacional de Rosario, Argentina)
- Belas Infiéis* (Universidade de Brasilia, Brasil)
- Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial* (Universidad del Cauca, Colombia)
- Bitácora urbano/territorial* (Universidad Nacional de Colombia)
- Boletín científico* (Universidad de Caldas, Colombia)
- Boletín de arqueología* (Pontificia Universidad Católica del Perú)
- Boletín de filología* (Universidad de Chile)
- Boletín del Centro de Estudios de Teoría y Crítica Literaria* (Universidad Nacional de Rosario, Argentina)
- Brumal. Revista de Investigación sobre lo fantástico* (Universidad Autónoma de Barcelona)
- CAFE. Cahiers des Amériques, Figures de l'Entre* (Université de La Rochelle, Francia)
- Caracteres. Estudios culturales y críticos de la esfera digital* (Universidad de Salamanca, España)
- Caribe: revista de cultura y literatura* (Marquette University, Estados Unidos)
- CELEHIS* (Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina)
- Centroamericana* (Università Cattolica del Sacro Cuore, Milano, Italia)
- Colindancias* (Universidad de Oeste de Timisoara, Rumania)
- Cuadernos de historia* (Universidad de Chile)
- Cuadernos del CILHA* (Universidad Nacional de Cuyo, Argentina)
- Cultura del cuidado enfermería* (Universidad Libre, Colombia)
- Decimonónica: revista de producción cultural hispánica decimonónica* (Estados Unidos)
- Desafíos* (Universidad del Rosario, Colombia)
- Desde el jardín de Freud. Revista de psicoanálisis* (Universidad Nacional de Colombia)
- Diálogos de Saberes. Investigaciones en Derecho y Ciencias Sociales* (Universidad Libre, Colombia)
- Dirāsāt Hispánicas. Revista Tunecina de Estudios Hispánicos* (Universidad el Manar, Túnez)
- Editorial Jorge Millas* (Fundación Jorge Millas, Chile)
- El Ágora USB* (Universidad San Buenaventura, Medellín, Colombia)
- El taco en la brea* (Universidad Nacional del Litoral, Argentina)
- Encuentros* (Universidad Autónoma del Caribe, Colombia)
- Episteme. Revista de Ciencias Sociales y Humanas* (Universidad Santo Tomás, Sede Villavicencio, Colombia)
- e-scrita* (UNIABEU, Brasil)
- Estudios Avanzados. Instituto de Estudios Avanzados* (Universidad de Santiago de Chile)
- Estudios de Literatura Colombiana* (Universidad de Antioquia, Colombia)
- Estudios. Revista de Investigaciones Literarias y Culturales* (Universidad Simón Bolívar, Venezuela)
- Estudos de Literatura Brasileira Contemporânea* (Universidade de Brasilia, Brasil)
- Folia Histórica del Nordeste* (Universidad Nacional del Nordeste, Argentina)
- Fronteras de la historia* (Instituto Colombiano de Antropología e Historia, Colombia)
- Gamma* (Universidad del Salvador, Argentina) *Tejuelo. Didáctica de la Lengua y la Literatura* (Universidad de Extremadura, España)
- Hispamérica* (University of Maryland, Estados Unidos) *Telar* (Universidad Nacional de Tucumán, Argentina)
- Historia Caribe* (Universidad del Atlántico, Colombia)

- Humanidades* (Universidad de Montevideo, Uruguay)
- Hypnos* (Pontificia Universidade Católica de São Paulo, Brasil)
- Ideas y Valores. Revista Colombiana de Filosofía* (Universidad Nacional de Colombia)
- Izquierdas* (Instituto de Estudios Avanzados, Universidad de Santiago de Chile)
- Katatay. Revista crítica de literatura latinoamericana* (Red Interuniversitaria Katatay, Argentina)
- Kavilando. Revista de ciencias sociales y humanas* (Grupo de Investigación para la Transformación Social Kavilando, Colombia)
- Kaypunku, revista de Estudios Interdisciplinarios de Arte y Cultura* (Grupo de Investigación Kaypunku, Perú)
- Kípus: Revista andina de letras* (Universidad Andina Simón Bolívar, Ecuador)
- Letras* (Universidad de San Marcos, Perú)
- Lexis. Revista de lingüística y literatura* (Universidad Católica del Perú) *Artologie* (École des Hautes Études en Sciences Sociales, Francia)
- Línguas & Letras* (Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil)
- Lingüística y Literatura* (Universidad de Antioquia, Colombia)
- Literatura: teoría, historia, crítica* (Universidad Nacional de Colombia)
- Luciérnaga* (Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Colombia)
- Lúmina* (Universidad de Manizales, Colombia)
- Memoria y sociedad* (Pontificia Universidad Javeriana, Colombia)
- Milenio. Revista de Artes y Ciencias* (Universidad de Puerto Rico, sede Bayamón)
- Mora* (Universidad de Buenos Aires, Argentina)
- Mundo amazónico* (Instituto Imani, Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia)
- Olho d'água* (Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil)
- Olivar: revista de literatura y cultura españolas* (Universidad Nacional de La Plata, Argentina)
- Orbis Tertius* (Universidad Nacional de La Plata, Argentina)
- Perífrasis. Revista de Literatura, Teoría y Crítica* (Universidad de los Andes, Colombia)
- Perspectiva geográfica* (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Colombia)
- Pilquen. Sección Ciencias Sociales* (Universidad Nacional del Comahue, Centro Universitario Zona Atlántica, Argentina)
- Pilquen. Sección Psicopedagogía* (Universidad Nacional del Comahue, Centro Universitario Zona Atlántica, Argentina)
- Polifonía. Revista de Estudios Hispánicos* (University of San Francisco, Estados Unidos)
- Praesentia, revista venezolana de estudios clásicos* (Universidad de Los Andes, Venezuela)
- Prismas. Revista de historia intelectual* (Universidad Nacional de Quilmes, Argentina)
- Psicoespacios* (Institución Universitaria de Envigado, Colombia)
- Rastros Rostros* (Universidad Cooperativa de Colombia)
- Recial* (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina)
- Revista Archivos de medicina* (Universidad de Manizales, Colombia)
- Revista chilena de literatura* (Universidad de Chile)
- Revista colombiana de gastroenterología* (Asociación Colombiana de Gastroenterología, Colombia)
- Revista de Filosofía* (Universidad de Chile)
- Revista de Literaturas Modernas* (Universidad Nacional de Cuyo, Argentina)
- Revista Iberoamericana* (Instituto Internacional de Literatura Iberoamericana, Universidad de Pittsburgh, Estados Unidos)
- Revista Instituto Colombiano de Derecho Tributario* (Instituto Colombiano de Derecho Tributario, Colombia)
- Revista Laboratorio* (Universidad Diego Portales, Chile)
- Revista Le Bret* (Universidad Santo Tomás, Colombia)
- Revista Miradas* (Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia)
- Revista Nomadías* (Universidad de Chile)
- Revista Poiésis* (Fundación Universitaria Luis Amigó, Colombia)
- Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* (Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Colombia)
- RIVAR, Revista Iberoamericana de Viticultura, Agroindustria y Ruralidad.* (Instituto de Estudios Avanzados, Universidad de Santiago de Chile)
- Tendencias & Retos* (Universidad de La Salle, Colombia)
- Verba Hispánica* (Universidad de Ljubljana, Eslovenia)
- Zama* (Instituto de Literatura Hispanoamericana de la Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires, Argentina)

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
2	2014	\$25.000
1	2015	\$30.000
2	2015	\$30.000

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.

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.

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



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