

CONTENIDO  
Volumen 20 No. 2, Julio - Diciembre, 2017

	pág.
Editorial	
Financiación o desfinanciación – inclusión o exclusión ¿qué existe para la educación superior? <i>Germán Anzola Montero</i> . . . . .	237
<b>CIENCIAS DE LA SALUD</b>	
Presencia de síntomas asociados a enfermedades alérgicas por consumo de alimentos en niños antes y después de los seis meses de edad en Barranquilla – Colombia <i>Karol Cervantes De La Torre, Francisco Guillen Grima, Inés Aguinaga Ontoso</i> . . . . .	241
Predicción del tiempo en la prueba de 300 metros en patinadores juveniles de rendimiento <i>Yennys González, Darío Mendoza</i> . . . . .	247
Condición física, nivel de actividad física y capacidad funcional en el adulto mayor: instrumentos para su cuantificación <i>Cindy L. Benavides R., José A. García G., Jairo A. Fernández O., Diogo, Rodrigues B., John F. Ariza J.</i> . . . . .	255
Tendencia espacial y temporal de eventos climáticos extremos en el Valle Geográfico del río Cauca <i>Daniel Elías Cuartas, Diana María Caicedo, Delia Ortega, Faisury Cardona, Yesid Carvajal, Fabián Méndez</i>	267
<b>CIENCIAS AGRARIAS</b>	
Evaluación agronómica y económica de arveja arbustiva ( <i>Pisum sativum</i> L.) en diferentes épocas de siembra y sistemas de tutorado <i>Óscar Eduardo Checa Coral, Jhuliana Estefany Bastidas Acosta, Olga Cristina Narváez Taimal</i> . . . . .	279
Análisis multivariado de la fertilidad de los suelos en sistemas de café orgánico en Puente Abadía, Villavicencio <i>Amanda Silva-Parra, Carlos Colmenares-Parra, Jorge Álvarez-Alarcón.</i> . . . . .	289
Modelos de regresión para estimar el peso seco de órganos y área del limbo del duraznero, variedad Jarillo <i>Enrique Quevedo García, Giovanni Orlando Cancino Escalante, Anderson Rodrigo Barragán Torres</i> . . . . .	299
Qualidade pós-colheita de araçá-vermelho <i>Janaína Muniz, Tânia Regina Pelizza, Ana Paula Fernandes de Lima, Mayra Juline Gonçalves, Leo Rufato</i> . . . . .	311
Photosystem II fluorescence and growth in cabbage plants ( <i>Brassica oleracea</i> var. capitata) grown under waterlogging stress <i>Fánor Casierra-Posada, Joseph Cutler</i> . . . . .	321
Extractores químicos en la determinación de silicio disponible en suelos ácidos, neutros y alcalinos <i>Enrique Combatt C., Daniel Palacio B., Jaime Mercado L.</i> . . . . .	329
Estimulación de germinación y colonización radicular de <i>Diversispora trimulares</i> por flavonoides de exudados radiculares de <i>Nicotiana glauca</i> <i>David Ramírez, Blanca Naranjo, Jéssica Duchicela</i> . . . . .	341
Cardiac glycosides, phenolic compounds and antioxidant activity from plant cell suspension cultures of <i>Thevetia peruviana</i> <i>Juan Pablo Arias, Karol Zapata, Benjamín Rojano, Mariana Peñuela, Mario Arias</i> . . . . .	353
Manejo integrado de la marchitez vascular del tomate [ <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> (Sacc.) W.C. Snyder & H.N. Hansen]: una revisión <i>Luisa Mayens Vásquez-Ramírez, Jairo Castaño-Zapata</i> . . . . .	363
Coefficientes de digestibilidad aparente de <i>Thitonia diversifolia</i> y <i>Cratylia argentea</i> en cachama blanca y efectos sobre las vellosidades intestinales <i>Luis Fernando Puerta Rico, José Jaime García González, Jaime Eduardo Parra Suescún, Sandra Clemencia Pardo Carrasco</i> . . . . .	375

Determinación de la curva de crecimiento en ovinos criollos de pelo, mediante la utilización del modelo Gompertz, en el trópico bajo colombiano <i>Oscar Vergara Garay, Hernán Medina Ríos, Cesar Robles Sierra, Juan Simanca Sotelo, Moris Bustamante Yanez</i> . . . . .	385
Importancia cultural de vegetación arbórea en sistemas ganaderos del municipio de San Vicente del Caguán, Colombia <i>Yimi Katherine Ángel Sánchez, Maggy Ennid Pimentel Tapia, Juan Carlos Suárez Salazar</i> . . . . .	393
<b>CIENCIAS BIOLÓGICAS</b>	
Recuperación del funcionamiento hidrológico de ecosistemas de páramo en Colombia <i>María Fernanda Cárdenas, Conrado Tobón</i> . . . . .	403
Evaluación de la calidad ecológica de quebradas andinas en la cuenca del río Magdalena, Colombia <i>Esnedy Galeano-Rendón, Lina María Monsalve-Cortes, Néstor Javier Mancera-Rodríguez</i> . . . . .	413
Capacidad de adsorción de plomo con intercambiadores catiónicos de carbón xantado <i>Fredy Colpas Castillo, Arnulfo Tarón Dunoyer, Yelitza Vasquez</i> . . . . .	425
Adsorción de plomo (II) en solución acuosa con tallos y hojas de <i>Eichhornia crassipes</i> <i>Lisette Vizcaino Mendoza, Natalia Fuentes Molina, Harold González Fragozo</i> . . . . .	435
<b>CIENCIAS SOCIALES APLICADAS</b>	
Gestión territorial mediante estrategia de asociatividad para Casanare – Colombia <i>Adriana Posada Arrubla, Antonio Esteban Campuzano, Ana Elena Berrocal Mendoza</i> . . . . .	445
Efecto de los aspectos demográficos en la valoración de la calidad del servicio. una revisión <i>Juan Carlos Vergara Schmalbach, Víctor Manuel Quesada Ibargüen, Francisco Javier Maza Ávila</i> . . . . .	457
Clasificación de perfiles de lectores de un periódico digital <i>Enrique De La Hoz Domínguez, Adel Mendoza Mendoza, Hoolyana Ojeda De La Hoz</i> . . . . .	469
<b>CIENCIAS EXACTAS Y DE LA TIERRA</b>	
<b>REPORTE DE CASO</b>	
Crecimiento de plántulas de pepino Poinsett 76 con remoción de hojas cotiledonales <i>Fernando Barraza A</i> . . . . .	479
Variabilidad genética de <i>Odocoileus virginianus</i> (Zimmerman, 1970) en Boyacá-Colombia: reporte de caso <i>Dalia Suarez P, Leopoldo Arrieta V, Lisette Gaona B</i> . . . . .	485

## EDITORIAL

# FINANCIACIÓN O DESFINANCIACIÓN – INCLUSIÓN O EXCLUSIÓN ¿QUÉ EXISTE PARA LA EDUCACIÓN SUPERIOR?

Germán Anzola Montero  
Rector

Son varios los “Estudiosos” de las Universidades colombianas, que se han puesto en la labor de analizar la actual situación del desarrollo de la Educación Superior en el país y sus posibles efectos.

Con esta premisa, surgen ciertos interrogantes sobre el tema, que dan soporte a ese derecho fundamental, que es el de acceder a la educación. El primero ¿quién habla del financiamiento de la Universidad Privada, cuando tiene obligaciones y deberes frente a la sociedad colombiana? La segunda, ¿quién explica las diferencias tan marcadas o significativas que se advierten entre los valores de las matrículas de Universidades privadas de “mayor desarrollo relativo” frente a Universidades de reciente reconocimiento como tales? Una tercera es ¿quién enuncia lo que se determina como exigencias que tienen que cumplir las Universidades de excelencia o de “menor desarrollo”? Y dos inquietudes más: ¿quién financia la investigación de las Universidades jóvenes? y, ¿quién fomenta y apoya la actividad investigativa en las Universidades privadas “de menor desarrollo”? Para contextualizar la idea, entendemos por Universidades de “menor desarrollo relativo”, aquellas que está en proceso de consolidación académica e institucional, dados sus años de experiencia.

Las Universidades basan su preocupación en la reciente promulgación que hizo el Gobierno Nacional, al proferir que el presupuesto para Colciencias, para el 2018, será de \$339.000 millones, lo que indica, una reducción del 11%, frente al presupuesto que esta entidad tuvo en 2017, situación que suscitó indignación entre la comunidad académica y científica del país. Y no es para menos, pues, desde ya, se visualizan ciertas consecuencias negativas, no solo para ciencia, tecnología e innovación, sino para otros estamentos que complementan el quehacer académico e investigativo de las Universidades: la planta docente con alta formación y aquella en formación, los grupos de investigación, infraestructura académica y científica y más. Si se analiza el panorama, respondería a lo que señaló el Rector de la Universidad del Valle, Édgar Varela Barrios, en el artículo que publicó el

Diario El tiempo, el 24 de agosto de 2017, titulado Univalle critica el recorte de recursos para Ciencia y Tecnología: “*Las medidas de restricción del gasto en ciencia y tecnología son contrarias a la política de Estado de convertir a Colombia en la nación más educada de América Latina al 2025*”.

Las Universidades, en general, se hallan inquietas por esta situación –para ir respondiendo a las interrogantes planteados-. Bien se conoce, que algunas IES reciben aportes directos de la Nación, de entidades territoriales, de recursos provenientes de estampillas pro universidad, apoyo de Colciencias para sus proyectos y aquellos de fomento dirigidos desde el Ministerio de Educación Nacional, de los recursos del Impuesto sobre la Renta para la Equidad (CREE), entre otros; sin embargo, ¿qué le espera a aquellas Universidades privadas, que solamente basan su financiamiento de la dependencia económica de sus matrículas?

A grandes rasgos, las Universidades privadas soportan su estructura financiera así: un 80-90% de los recursos totales son generados por ingresos académicos, donde el 70-80% equivalen a matrículas. De ese porcentaje, un 60% se dirige a gastos de funcionamiento; un 30% a inversiones de dotación, investigación y adecuaciones de planta física; el 3% a bienestar universitario y el 7% restante, a programas de expansión y desarrollo institucional; sin embargo, el índice de costos de educación superior privada y las tasas de incremento, no son favorables para la Universidad Privada, según lo reporta el DANE, en su Boletín Estadístico, referente al Índice de Costos de la Educación Superior – ICES (2016). En resumen, la calidad de la docencia, realizar inversiones en tecnologías de aprendizaje y enseñanza, fortalecer la investigación, estructurar nuevos programas y generar el desarrollo institucional depende, en gran proporción, de los ingresos, exclusivamente, por la matrícula.

También se conocen otros modelos de financiación para las Universidades privadas, como el Fondo de Desarrollo a la Educación Superior –FODESEP–, en busca de crédito de libre inversión, para adquisición de bienes tangibles, para la

realización de obras de infraestructura; el de FINDETER, con recursos de cofinanciación, que promueven programas y proyectos de educación, cultura y deporte; al Fondo de CTel del Sistema General de Regalías (SGR), que facilita el acceso a recursos o, el más sonado, Ser Pilo Paga, donde los aspirantes seleccionados escogen la Universidad –acreditada- “de su elección” para adelantar los estudios superiores. Todos ellos son posibles escenarios viables, pero aquí viene el otro interrogante: ¿cuánto y cuándo una universidad privada –de “menor desarrollo”- y sin Acreditación Institucional puede acceder a estos tipos de financiamiento?

La Universidad –privada o pública- consigue, en el ejercicio de sus actividades de formación, de investigación y de proyección social, su compromiso con la calidad, con la excelencia y con la eficiencia, para responderle a la sociedad, pero requiere de financiación, indispensable para optimizar la calidad de sus programas académicos, para capacitar a sus docentes, para invertir en ciencia y tecnología y para robustecer su infraestructura. Las IES privadas, especialmente aquellas que son jóvenes o de reciente reconocimiento, en la búsqueda de ese mejoramiento continuo, hace buen uso de sus fuentes propias de financiación; no obstante, esto no basta, pues se requiere poseer el título de UNIVERSIDAD CON ACREDITACIÓN DE ALTA CALIDAD, para acceder a otras fuentes de financiación externa, como tampoco es competente poseer programas académicos con ALTOS NIVELES DE CALIDAD, que soportan la excelencia académica. Entonces, ¿quién financia a estas Universidades?

Dos cuestiones específicas: La primera, que se refiere a los ingresos por matrículas que, para el caso de las Universidades de “menor desarrollo”, no son suficientes para su crecimiento, puesto que, una gran mayoría, los valores de sus matrículas son bajos, comparados con los de las Universidades privadas y acreditadas. El Observatorio de la Universidad Colombiana, en el documento “Valores de matrículas de programas profesionales en instituciones privadas 2017”, analiza los costos de las matrículas de los programas profesionales más recurrentes; un ejemplo: 121 instituciones colombianas ofrecen el programa de Administración de Empresas, donde una Universidad privada y Acreditada –con programa acreditado- cobra por la matrícula más de \$15 millones de pesos, es decir, 20,8 salarios mínimos legales vigentes, mientras que en otra, que no es acreditada, pero su programa sí, el valor es \$2.000.000 (2,80 s.m.l.v.), entonces, las posibilidades de inversión son, aproximadamente, 7 a 8 veces más para la Acreditada, sin contar que, además, recibe apoyo económico, por parte de entidades del Estado y la empresa privada.

Y el segundo asunto y que requiere de un serio análisis, es el programa “Ser Pilo Paga”, una iniciativa en la que surgen más puntos diferenciadores y negativos y, a mi modo de ver,

excluyentes. Seguramente, el sueño de los estudiantes beneficiarios del mismo es estudiar en las mejores universidades del país o poder tener una educación o formación de alta calidad, en los programas de su interés. Ser Pilo Paga es un programa que está orientado para que –exclusivamente- puedan acceder las Universidades Acreditadas, lo que nos hace preguntar, ¿qué pasa con las instituciones que tienen muchos de sus programas acreditados de Alta Calidad, pero no cuentan con Acreditación Institucional?, ¿el programa no paga la “pílera” de estas carreras?, ¿es la excelencia académica relativa cuando los programas de formación universitaria son acreditados de alta calidad, pero no así sus instituciones?, ¿qué pasa cuando hay Universidades con mayor cantidad de programas acreditados de alta calidad, que no cuentan con acreditación institucional, pero hay Universidades con acreditación institucional sin tantos programas de alta calidad?

El mejor talento colombiano tiene el derecho de abrigar la posibilidad de formarse LIBREMENTE en los **mejores programas** existentes, sin la exclusión de si la Universidad tiene o no acreditación institucional. Establecer una especie de competencia entre las Universidades Privadas y las Públicas y, a su vez entre las acreditadas institucionalmente y las que no lo son, hacen de “Ser Pilo Paga”, un programa excluyente, que no brinda la libertad suficiente a sus beneficiarios, de escoger entre la amplia gama de programas de calidad, que existen en Colombia.

Si bien la tasa de cobertura en el país, en el 2016, fue del 51,5%, vale la pena inspeccionar en dónde se concentró esa cobertura: ¿Está siendo equitativo el Ministerio con la oferta de calidad que tiene el sistema educativo superior del país?, ¿qué pasa cuando recursos públicos son destinados a pagar matrículas exageradamente costosas para un programa que tiene un par –de alta calidad- a un menor costo? Estamos frente a un innegable escenario: con lo que se podría beneficiar a más de un estudiante, se está financiando solo a uno, justamente, por el alto costo de la matrícula. Preexiste una falsa creencia sobre lo que es más costoso es mejor.

En la actualidad, Colombia cuenta con 44 Instituciones de Educación Superior con Acreditación Institucional, frente a 288 que registra el Sistema Nacional de Información de la Educación Superior –SNIES- (Tabla 1). En ellas, recae un sinnúmero de beneficios, que les permite vanagloriarse y hasta ubicarse en ranking nacionales e internacionales, datos que, sin duda, desconocen la verdadera situación educativa del país. Algunas de estas subvenciones, se detallan a continuación, entre otras:

- Acceso a becas y créditos del Estado.
- La investigación se fortalece, por el establecimiento de convenios y de alianzas estratégicas con entidades y grupos de investigación nacionales e internacionales, de universidades acreditadas.

- Acceso a convenios internacionales.
- Vinculación a programas gubernamentales, como el de 'Ser pilo paga'.
- Financieramente, se captan recursos adicionales por parte del Ministerio de Educación Nacional, ya que las universidades acreditadas son acreedoras a éstos, a diferencia de las No Acreditadas.
- Homologación de títulos internacionales.
- Los profesores tendrán fácil acceso a convocatorias gubernamentales sobre becas, por parte de COLCIENCIAS.
- Propiciar el mejoramiento de la calidad de la educación superior.
- Ser un mecanismo para que las Instituciones de Educación Superior rindan cuentas ante la sociedad y el Estado sobre el servicio educativo que prestan.
- Propiciar la idoneidad y la solidez de las instituciones que prestan el servicio público de educación superior.
- Ser un incentivo para que las instituciones verifiquen el cumplimiento de su misión, sus propósitos y sus objetivos en el marco de la Constitución y la Ley, y de acuerdo con sus propios estatutos.
- Propiciar el auto-examen permanente de las instituciones y programas académicos en el contexto de una cultura de la evaluación.

Entonces, ¿para qué sirve la acreditación? Según el Consejo Nacional de Acreditación –CNA- (2017), sirve para:

Tabla 1. Instituciones de Educación Superior en Colombia.

Carácter	Oficial	No oficial	Régimen especial	Total
Universidad	31	51	1	83
Institución universitaria/ Escuela tecnología	17	94	12	123
Institución tecnológica	5	39	6	50
Institución técnica profesional	9	23	0	32
Total	62	207	19	288

Fuente: SACES – MEN, mayo de 2017.

- Ser un instrumento mediante el cual el Estado da fe pública de la calidad de las instituciones y de los programas de educación superior.
- Brindar información confiable a los usuarios del servicio educativo del nivel superior y alimentar el Sistema Nacional de Información creado por la Ley.
- Ser un incentivo para los académicos, en la medida en que permita objetivar el sentido y la credibilidad de su trabajo y propiciar el reconocimiento de sus realizaciones.

Infortunadamente, ser el “país más educado de Latinoamérica” supone concentrar la formación del talento colombiano en estas 44 IES y no apoyar a las Universidades con programas de alta calidad, en vía de desarrollo superior. ¿Cómo propender por una educación superior inclusiva cuando la

base del mismo sistema es excluyente? La acreditación institucional ha dejado de ser un acto voluntario para convertirse en una acción coercitiva, en donde el acceso a recursos públicos y con mayores oportunidades de crecimiento, se ven supeditados a ésta ya ineludible condición.

Con estas razones, finalmente se vale preguntar ¿todas las Universidades no hacemos este ejercicio de cumplimiento de un proyecto de aseguramiento de la calidad?, ¿no aplicamos mecanismos eficaces de autorregulación y autoevaluación?, ¿no rendimos cuentas a la sociedad colombiana?, ¿no damos fe pública de la excelencia?, ¿será necesario que tengamos entes que midan esta excelencia?, ¿por qué la acreditación institucional ha pasado a convertirse en un imperativo? Las respuestas a estos cuestionamientos las dejo en manos de la Comunidad Universitaria del país.



# PRESENCIA DE SÍNTOMAS ASOCIADOS A ENFERMEDADES ALÉRGICAS POR CONSUMO DE ALIMENTOS EN NIÑOS ANTES Y DESPUÉS DE LOS SEIS MESES DE EDAD EN BARRANQUILLA – COLOMBIA

## PRESENCE OF SYMPTOMS ASSOCIATED WITH ALLERGIC DISEASES BY CONSUMPTION OF FOODS IN CHILDREN'S BEFORE AND AFTER OF SIX MONTHS OLD IN BARRANQUILLA – COLOMBIA

Karol Cervantes De La Torre<sup>1</sup>, Francisco Guillen Grima<sup>2</sup>, Inés Aguinaga Ontoso<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doctor en salud pública, Docente jornada laboral completa. Universidad Libre Barranquilla, Colombia, e-mail: karold.cervantesd@unilibre.edu.co; <sup>2</sup> Doctor en Medicina, Departamento de Ciencias de la Salud. Universidad Pública de Navarra, Pamplona, IDISNA (Instituto de Investigación Sanitaria de Navarra), Pamplona, Medicina Preventiva, Clínica Universidad de Navarra, Pamplona, e-mail: f.guillen.grima@unavarra.es; <sup>3</sup> Doctor en medicina y cirugía, Departamento de Ciencias de la Salud. Universidad Pública de Navarra, e-mail: ines.aguinaga@unavarra.es

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 241-246, Julio-Diciembre, 2017

### RESUMEN

En este trabajo de investigación, se determinó si la presencia de síntomas asociados a enfermedades alérgicas presenta relación con el consumo de alimentos en niños, antes y después de los 6 meses de edad, considerando estudios que indican que la ingesta temprana de alimentos, por parte de los menores, puede ser factor predisponente a padecimiento de enfermedades alérgicas. Se realizó mediante estudio de carácter descriptivo modalidad Cross, seccional en escuelas públicas y privadas del Distrito de Barranquilla, a nivel de básica primaria, aplicando el instrumento cuestionario ISAAC. Se obtuvieron 1.520 encuestas contestadas por los padres de los menores de niños y niñas, entre 6 y 7 años, 47% varones y 53% niñas. De los alimentos objetos del presente estudio, huevos, pescado y leche de vaca, los que presentaron valores significativos en relación a la presencia de síntomas enfermedades alérgicas fue: el pescado, para el asma, con un  $p$  valor  $< 0,05$ , y un OR: 2,40; en los demás alimentos, no se pudo establecer, mediante significancia relación entre el padecimiento de alergias y su consumo. Actualmente, no hay un consenso universal y este estudio tampoco concluye si la ablactación temprana y la ingesta de alimentos, antes de los seis meses de edad, pueda provocar la presencia de síntomas de enfermedades alérgicas. Se recomienda continuar con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud e iniciar ingreso de alimentos a la dieta del menor, después de los seis meses.

Palabras clave: Alergia, Rinitis, Asma, Eccema, Alimentos.

### SUMMARY

In this research, it was determined whether the presence of symptoms associated with allergic diseases is related to food consumption in children before and after 6 months of age, considering studies that indicate that the early intake of food by children Can be a predisposing factor to allergic diseases, was carried out by means of a descriptive cross sectional modality in public and private schools of the District of Barranquilla at primary level through the instrument ISAAC questionnaire. We obtained 1520 surveys answered by the parents of the minors of children between 6 and 7 years old, 47% male and 53% female. Of the food items of the present study, eggs, fish and cow's milk, those presenting significant values in relation to the presence of allergic diseases symptoms were: fish for asthma with a  $p$  value  $< 0.05$ , and an OR: 2.40 in other foods could not be established by a significant relationship between the allergy condition and its consumption. There is currently no universal consensus and this study also does not conclude whether early ablation and food intake before 6 months of age may lead to the presence of allergic disease symptoms, it is recommended to continue the recommendations of the World Health Organization and initiate food intake into the child's diet after six months.

Key words: Allergy, Rhinitis, Asthma, Eczema, Food.

## INTRODUCCIÓN

Los menores que presentan alergias son un tema de suma importancia para investigadores y personal clínico, por ser estas enfermedades incapacitantes de alto costo económico y estar en aumento, a lo largo del tiempo (Kay, 2001; Gupta *et al.* 2007). Se considera que los acelerados ritmos de vida junto a otros cambios medio ambientales, asociados a procesos industrializados, favorecen su aparición (Min Salud Chile, 2010). Los estudios realizados muestran que en países desarrollados, se presentan una mayor prevalencia en lo que concierne a este tipo de enfermedades, considerándose que, en gran medida, se debe a una fuerte preferencia por la dieta Fast Foods o como es conocida en entornos de habla hispana, comida rápida o comida procesada; se considera, que se da también, debido a una mayor contaminación del aire, por las fuertes emisiones de gases industriales y por emisiones del parque automotor (Beasley, 1998).

Una saludable alimentación regularmente entre el primer mes y los primeros años de edad no solo es relevante para el buen desarrollo de los sistemas y de los órganos del cuerpo humano (Amarasekera *et al.* 2013), sino que, además, se puede convertir en un factor protector para prevenirlas, aunque en revisiones sobre este tema, se han obtenido resultados heterogéneos (Tarini *et al.* 2006). Para identificar los factores que favorecen este fenómeno se ha empleado en 56 países el estudio ISAAC (International Study of Asthma and Allergies in Childhood), que ayuda a obtener posibles indicadores causales o desencadenantes de alergias, entre esos, el consumo de alimentos de la madre durante el embarazo y la ingesta de alimentos del menor antes y después de los seis meses de vida. En referencia a los alimentos, la ablactación antes de los cuatro meses y la ingesta de alimentos procesados antes de los seis meses, se encuentran ligados a la manifestación de alergias, como lo son el asma, la rinitis y el eccema (Kull *et al.* 2002). En un afán de hallar por qué se brindan alimentos que difieren de la leche materna a menores de 6 meses, se ha encontrado que depende, en gran medida, a factores geográficos, en lo que corresponde a la facilidad de adquisición de éstos y factores culturales, lo cual, es relevante para que el menor posea una dieta saludable, que contribuya a su buen desarrollo. Entre más tarde sea la ingesta de alimentos procesados a la dieta del menor, éste tendrá una mejor respuesta modular inmune, debido a que contó con el tiempo necesario para permitir la maduración de su sistema digestivo (Fallani *et al.* 2010).

El objetivo en el estudio fue correlacionar la presencia de alergias y el consumo de ciertos alimentos antes y después de los seis meses de edad, mediante preguntas contempladas en el cuestionario ISAAC, orientadas a los cuidadores o padres de los niños y niñas, residentes en Barranquilla, Colombia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo un estudio descriptivo modalidad Cross Sectional, a 1.520 menores, matriculados en los planteles educativos del Distrito de Barranquilla y su área metropolitana, durante el periodo 2014 – 2015, para determinar la presencia de enfermedades alérgicas que ellos pudieran presentar por haber consumido alimentos antes y después de los seis meses de edad, utilizando la metodología ISAAC. Se tomaron, para este estudio, las preguntas relacionadas con el consumo de alimentos, como el huevo, la leche de vaca y el pescado antes y después de los 6 meses y la asociación de éstos con la aparición de enfermedades alérgicas, específicamente, asma, rinitis y eccema. Los datos fueron obtenidos a través de la madre, el padre o el responsable de la custodia, quienes, previamente, firmaron el consentimiento informado. Se realiza la validación de la fiabilidad del cuestionario, mediante el cálculo del Alfa de Cronbach, para las variables que presentan la misma escala.

A cada pregunta, se le aplicó la prueba, la hipótesis se plantea como se muestra a continuación y se utiliza el valor p, como criterio de decisión, para rechazar o no rechazar la hipótesis, de que las variables son independientes entre sí. Nivel de significancia: 0,05.

Para la selección de los colegios oficiales, se tomó la base de datos disponible de la Secretaría de Educación de Barranquilla (2011) y para los colegios privados, el listado de establecimientos educativos no oficiales del Ministerio de Educación Nacional, que presentaron pruebas saber en el periodo 2014. En la selección de los estudiantes, se tuvo en cuenta que los participantes cumplieran con el criterio del cuestionario ISAAC, en cuanto a edad.

**Análisis estadístico:** Para evaluar la significación de las diferencias, se estableció una P significativa por debajo de 0,05. Se empleó un paquete estadístico SPSS V24 y se realizó el cálculo del Odds Ratio.

**Consideraciones éticas:** Se solicitó autorización a la dirección de cada uno de los planteles educativos, garantizándose que el nombre de los mismos no aparecería relacionado en los resultados del estudio; asimismo, se dispone del consentimiento informado, diligenciado por el responsable del menor.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se aplicaron 1.520 encuestas para ser diligenciadas por los padres o por los responsables legales del menor, adscritos a los planteles educativos. El valor de Alfa de Cronbach es obtenido para las preguntas de una misma medida fue 0,78, el cual, se registra en un nivel aceptable, implicando que la



escala utilizada fue apropiada para el estudio, garantizando fiabilidad en la prueba.

A la pregunta si ha tenido alguna enfermedad alérgica, como asma, rinitis o eccema, teniendo en cuenta el consumo de huevo antes y después de los 6 meses de edad del menor, se observa en la tabla 1 que, para el asma, las variables no están relacionadas entre sí, obteniéndose un valor  $P > 0,05$ , un OR: 1,0 lo que significa que la frecuencia del consumo de huevo antes y después de los 6 meses no está relacionado con la presencia de asma. Para la rinitis, el valor obtenido OR fue de: 0.79 y una  $P > 0,05$ , pudiendo concluir que la frecuencia del consumo de huevo antes y después de los 6 meses no está relacionado con la presencia de rinitis; éste podría, incluso, actuar como factor protector. En el eccema, se obtuvo como resultado una  $P > 0,05$ , OR: 1,2, demostrando que, prácticamente, no hay relación entre el consumo de huevo antes y después de los seis meses y la presencia de síntomas de eccema.

Referente al consumo de pescado antes y después de los seis meses de edad, se observa en la tabla 2, que el asma, en la prueba, arrojó un valor  $P < 0,05$  y una OR: 2,40, por lo tanto, se puede concluir, con un 95% de confianza, que las variables están relacionadas entre sí, sí afecta la frecuencia del consumo de pescado antes y después de los 6 meses, en la presencia de asma; para la rinitis, los resultados de  $P$  fueron  $> 0,05$  y OR: 1,06, donde las variables no están relacionadas entre sí, la frecuencia del consumo de pescado, antes y después de los 6 meses, no está relacionado con la presencia de rinitis; en lo concerniente al eccema, se encontró dependencia entre las variables, con una  $P < 0,05$  y un OR: 0,62, indicando que el consumo de pescado puede ser factor protector para el eccema.

Para la pregunta sobre la presencia de síntomas de enfermedades alérgicas ante el consumo de leche de vaca antes y después de 6 meses, los resultados (Tabla 3), en la relación

Tabla 1. Asociación entre alergias y consumo de huevo.

<b>Pruebas teniendo en cuenta el consumo de HUEVO antes y después de los 6 meses</b>			
<b>Alergia</b>	<b>Odds ratio (OR)</b>	<b>IC</b>	<b>P</b>
Asma	1,00	IC 95 % [0,5; 3,8]	0,572
Rinitis	0,79	IC 95 % [0,4; 2,9]	0,616
Eccema	1,20	IC 95 % [0,6; 3,4]	0,678

Tabla 2. Asociación entre alergias y consumo de pescado.

<b>Pruebas teniendo en cuenta el consumo de PESCADO antes y después de los 6 meses</b>			
<b>Alergia</b>	<b>Odds ratio (OR)</b>	<b>IC</b>	<b>P</b>
Asma	2,40	IC 95 % [1,3;5,8]	0,036
Rinitis	1,06	IC 95 % [0,8; 1,2]	0,512
Eccema	0,62	IC 95 % [0,3; 0,8]	0,025

al asma, fueron una  $P > 0,05$  y OR: 1,2, variables son independientes, donde la frecuencia del consumo de leche de vaca, antes y después de los 6 meses, no está relacionado con la presencia de asma. Para la rinitis, el resultado fue una  $P < 0,05$ , aceptando así la hipótesis nula, lo que indica que la rinitis no está relacionada con el consumo de leche de vaca y un OR: 0,69, indicando que puede ser un factor protector a padecer la enfermedad. Para el eccema tampoco se encontró relación entre las variables, con un valor  $P > 0,05$ , con un 95% de confianza y OR: 0,95.

Dentro de los resultados más relevantes a observar en este estudio están el no haber encontrado relación de significancia estadística entre el consumo de huevo antes y después de los seis meses de edad y la presencia de síntomas asociados a alergias; este resultado es similar a un estudio realizado en Australia, donde en una muestra de 2.589 menores, se pudo concluir que, a pesar de ser introducido el alimento antes de los 6 meses, es probable que las alergias no se manifiesten, siendo posible que la manera de preparación influya; el huevo cocinado en agua es el que representa menos

Tabla 3. Asociación entre alergias y el consumo de leche de vaca.

Pruebas teniendo en cuenta el consumo de LECHE DE VACA antes y después de los 6 meses			
Alergia	Odds ratio (OR)	IC	P
Asma	1,20	IC 95 % [0,9; 5,2]	0,692
Rinitis	0,69	IC 95 % [0,4; 0,9]	0,040
Eccema	0,95	IC 95 % [0,7; 10,2]	0,568

riesgo al considerarse que el hervor desnatura las proteínas, debilitando su efecto alérgico (Koplin *et al.* 2010). Es necesario presentar también investigaciones, donde se considera que la introducción temprana es predisponente a alergias (Kaplan *et al.* 2000) y se relaciona este tipo de alimentos, como factores predisponentes a alergias futuras, ya que se considera que se observan con una gran frecuencia en alimentos, como el huevo, los pescados, la leche de vaca y algunos cereales; asimismo, se ha encontrado relación entre el consumo temprano de huevo y el eccema y reducción del síntoma de picor, referido por el paciente, al dejar su consumo (Rojas & Quezada, 2013). No se puede desconocer que otros factores, como los de orden social, entre esos los culturales, influyen en la manifestación de estas enfermedades, tópicos interesantes, que se recomiendan sean objeto de estudio en investigaciones futuras, ya que se consideran pueden influir notablemente en los resultados (Sánchez *et al.* 2014). Para los alimentos base de nuestro estudio y su asocio con enfermedades de base alérgica, la evidencia no es concluyente y existen estudios de revisiones sistemáticas, que han derivado en guías de recomendación sobre alimentación a lactantes, que muestran que, el consumo de ciertos alimentos, entre ellos el huevo, no sensibiliza (Romero *et al.* 2016). Ante la presencia de una posible alergia por alimentos, se debe verificar por pruebas, ya que se debe tener cuidado especial en retirar alimentos de la dieta de los menores,

en etapa de crecimiento, por riesgo a desfavorecer su estado nutricional, aumentando la posibilidad de padecer enfermedades crónicas no transmisibles, a largo plazo (Greenhawt, 2010).

Este estudio presentó relación con la variable ingesta de pescado antes y después de los seis meses y el eccema, que se muestra como factor protector, siendo este hallazgo similar al encontrado en la literatura, que manifiesta que el consumo regular de pescado, después del año de vida e, incluso, posterior hasta los 4 años, disminuyen la manifestación de enfermedades (Morales *et al.* 2015); los pescados son fuente nutricional de ácidos omega 3, los cuales, favorecen el desarrollo de un óptimo sistema inmune, aunque, en este caso, también podemos encontrar evidencias contrarias en la literatura, que no respaldan el hallazgo de la investigación (Cattaneo *et al.* 2011). Resultados similares al del consumo de huevo presentó el consumo de leche de vaca antes y después de los seis meses de edad, no encontrando relación de esta con la presencia de síntomas asociados a asma, a rinitis y a eccema; este resultado es contradictorio a investigaciones realizadas, en donde su consumo temprano (antes de los seis meses de edad) puede ser considerado como factor predisponente a alergias (Prescott, 2003). Consideramos que nuestro hallazgo se puede deber que, al momento de contestar la pregunta y por la manera como está escrita, no

se especifica si la fórmula de la leche contiene sustancias que le disminuyen altamente su potencial, como agente alérgico, como proteínas de soya e hidrolizados de caseína, entre otros.

Bien valdría tener en cuenta, en futuras investigaciones, por los hallazgos encontrados, elementos que aún están siendo estudiados y que, al parecer, juegan un papel importante, en este tipo de enfermedades, como lo es la microbiota, a nivel intestinal (Navarro & Araya, 2016), elemento que no fue abordado en este estudio. En cuanto a la edad adecuada para la introducción de la alimentación complementaria, entendida ésta, según criterio de la Organización Mundial de la Salud, como todo alimento diferente a la leche materna, a pesar que hay una tendencia que son los 6 meses de edad, este rango varía según el país, en Colombia, se recomienda que la introducción de semisólidos sea a partir de los 6 meses, pero se puede observar que, según las regiones, el acceso a los alimentos y la capacidad económica de las familias, se puede dar antes; en zonas costeras, como el caso de Barranquilla, los alimentos que presentan mayor acceso, en cuanto a disponibilidad, están los pescados y los mariscos, los cuales, son consumidos de forma frecuente. Se sugiere en el estudio, que este factor sea determinante para reducción del eccema, como enfermedad alérgica en los menores, que participaron en la investigación.

Estudios de este tipo brindan actualización, en lo que respecta a enfermedades que están en aumento y su relación con factores propios de la zona geográfica, como es el caso de la dieta alimenticia, ampliando así el marco etiológico y favoreciendo un tratamiento certero.

Teniendo en cuenta nuestros resultados y relacionándolos con la literatura consultada, no se puede establecer, de manera certera, una conclusión, que asevere que la introducción de ciertos alimentos antes de los 6 meses de edad no serán potencialmente alérgicos, por lo consiguiente, se recomienda den, de forma complementaria, después de los 6 meses de edad y, antes de esta edad, considerar, de manera exclusiva, la lactancia materna (Toca *et al.* 2015).

**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. AMARASEKERA, M.; PRESCOTT, S.L.; PALMER, D.J. 2013. Nutrition in early life, immune programming and allergies: the role of epigenetics. *Asian Pacific J. Allergy Immunology*. 31(3):175-182.
2. BEASLEY, R. 1998. Worldwide variation in prevalence of symptoms of asthma, allergic rhinoconjunctivitis, and atopic eczema: ISAAC. *Lancet*. 351:1225-1232.
3. CATTANEO, A.; WILLIAMS, C.; PALLÁS, C.R.; HERNÁNDEZ-AGUILAR, M.T.; LASARTE-VELILLAS, J.; LANDA-RIVERA, L.; OUIDESLUYS-MURPHY, A. 2011. ESPGHAN's 2008 recommendation for early introduction of complementary foods: how good is the evidence? *Maternal and Child Nutrition*. 7(4):335-343.
4. FALLANI, M.; YOUNG, D.; SCOTT, J.; NORIN, E.; AMARRI, S.; ADAN, R.; DORE, J. 2010. Intestinal microbiota of 6-week-old infants across Europe: geographic influence beyond delivery mode, breastfeeding, and antibiotics. *Journal of Pediatric Gastroenterology Nutrition*. 51(1):77-84.
5. GREENHAWT, M. 2010. The role of food allergy in atopic dermatitis. *Allergy and Asthma Proceedings*. 31:392-397.
6. GUPTA, R.; SHEIKH, A.; STRACHAN, D.; ANDERSON, H. 2007. Time trends in allergic disorders in the UK. *Thorax*. 62(1):91-6.
7. KAPLAN, A.; BOUSQUET, J.; NASPITZ, C. 2000. Prevention of allergy and asthma. *Allergy Clin. Immunol. Int.* 12(6):288-299.
8. KAY, A.B. 2001. Allergy and Allergic Diseases. *New England J. Medicine*. 344:30-36.
9. KOPLIN, J.J.; OSBORNE, N.J.; WAKE, M.; MARTIN, P.E.; GURRIN, L.C.; ROBINSON, M.N.; TEY, D.; SLAA, M.; THIELE, L.; MILES, L.; ANDERSON, D.; TAN, T.; DANG, T.D.; HILL, D.; LOWE, A.J.; MATHESON, M.C.; PONSONBY, A.L.; TANG, M.L.; DHARMAGE, S.C.; ALLEN, K.J. 2010. Can early introduction of egg prevent egg allergy in infants? A population-based study. *J Allergy Clin Immunol*. 126:807-813.
10. KULL, I.; WICKMAN, M.; LILJA, G.; NORDVALL, S.L.; PERSHAGEN, G. 2002. Breastfeeding and allergic diseases in infants - a prospective birth cohort study. *Archives of Disease Childhood*. 87(6):478-481.
11. MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL. 2014. Listado de Establecimientos educativos No Oficiales en Colombia. Disponible desde Internet en: [http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-354560\\_Establecimientos\\_educativos\\_no\\_oficiales\\_que\\_superan\\_el\\_percentil\\_20\\_.pdf](http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-354560_Establecimientos_educativos_no_oficiales_que_superan_el_percentil_20_.pdf) (con acceso el 10/09/2014).

12. MINISTERIO DE SALUD DE CHILE. 2010. Encuesta Nacional de Salud ENS Chile: 2009-2010. Disponible desde Internet en: <http://web.minsal.cl/portal/url/item/bcb03d7bc28b64dfe040010165012d23.pdf> (con acceso el 14/11/2016).
13. MORALES, C.; BEDOLLA, M.; LÓPEZ, L.; ROMERO, C. 2015. Prevalencia de las enfermedades alérgicas y su asociación con la lactancia materna y el inicio de la alimentación complementaria en niños de edad escolar de Ciudad Guzmán, México. *Archivos Argentinos de Pediatría*. 113(4):324-330.
14. NAVARRO, E.; ARAYA, M. 2016. Inicio de alimentación complementaria y riesgo de enfermedad celíaca y alergia alimentaria: ¿De qué evidencia disponemos? *Rev. Chilena de Nutrición*. 43(3):315-320.
15. PRESCOTT, S.L. 2003. Early origins of allergic disease: a review of processes and influences during early immune development. *Current opinion in allergy and clinical immunology*. 3:125-132.
16. ROJAS, R.; QUEZADA, A. 2013. Relación entre dermatitis atópica y alergia alimentaria. *Rev. Chilena de Pediatría*. 84(4):438-450.
17. ROMERO, E.; VILLALPANDO, S.; PÉREZ, A.B.; IRECHETA, M.; ALONSO, C.G.; LÓPEZ, G.E.; GARCÍA, A.; OCHOA, E.; ZÁRATE, F.; LÓPEZ, G.T.; CHÁVEZ, C.; GÚAJARDO, M.; VÁZQUEZ, S.; PINZÓN, B.A.; TORRES, K.N.; VIDAL, J.D.; MICHEL, P.L.; LÓPEZ, I.N.; ARROYO, L.V.; ALMADA, P.; SALTIGERAL, P.; RÍOS, A.; DOMÍNGUEZ, L.; RODRÍGUEZ, P.; CRABTREE, Ú.; HERNÁNDEZ, V.; PINACHO, J.L. 2016. Consenso para las prácticas de alimentación complementaria en lactantes sanos. *Bol Med Hosp Infant Mex*. 73(5):338-356.
18. SÁNCHEZ, J.; RESTREPO, M.; MOPAN, J.; CHINCHILLA, C.; CARDONA, R. 2014. Alergia a la leche y al huevo: diagnóstico, manejo e implicaciones en América Latina. *Biomédica*. 34(1):143-156.
19. SECRETARÍA DE EDUCACIÓN DE BARRANQUILLA. 2011. Listado de Instituciones Educativas Oficiales. Disponible desde Internet en: [http://www.sedbaranquilla.gov.co/sed/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2310&Itemid=46](http://www.sedbaranquilla.gov.co/sed/index.php?option=com_content&view=article&id=2310&Itemid=46) (con acceso 10/09/2014).
20. TARINI, B.; CARROLL, A.; SOX, C.; CHRISTAKIS, D. 2006. Systematic review of the relationship between early introduction of solid foods to infants and the development of allergic disease. *Archives of Pediatrics Adolescent Medicine*. 160(5):502-507.
21. TOCA, M.; TONIETTI, M.; VECCHIARELLI, C. 2015. Nutrición pre y posnatal: impacto a largo plazo en la salud. *Archivos Argentinos de Pediatría*. 113(3):254-259.

Recibido: Febrero 28 de 2017

Aceptado: Septiembre 4 de 2017

#### Cómo citar:

Cervantes De La Torre, K.; Guillen Grima, F.; Aguinaga Ontoso, I. 2017. Presencia de síntomas asociados a enfermedades alérgicas por consumo de alimentos en niños antes y después de los seis meses de edad en Barranquilla – Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(2): 241-246.

# PREDICCIÓN DEL TIEMPO EN LA PRUEBA DE 300 METROS EN PATINADORES JUVENILES DE RENDIMIENTO

## TIME PREDICTION IN THE 300 METER TEST OF YOUNG PERFORMANCE SKATERS

Yennys González<sup>1</sup>, Darío Mendoza<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Doctora en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad Santo Tomás de Aquino, Campus San Alberto Magno, Autopista Norte Avenida Los Arrayanes km 1,6, Bogotá, Colombia, e-mail: yennysgonzalez@usantotomas.edu.co; <sup>2</sup> Magíster en Epidemiología. Universidad Santo Tomás de Aquino, Campus San Alberto Magno, Autopista Norte Avenida Los Arrayanes km 1,6, Bogotá, Colombia, e-mail: dariomendoza@usantotomas.edu.co

Rev. U..D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 247-253, Julio Diciembre, 2017

### RESUMEN

El patinaje de velocidad es una disciplina competitiva de popularidad creciente; sin embargo, la evidencia científica disponible sobre regímenes de entrenamiento, de evaluación y de control es aún limitada. Por la naturaleza de la disciplina es frecuente el uso de pruebas de fuerza explosiva, para la valoración de los deportistas. El objetivo del presente estudio es predecir el rendimiento en la prueba de 300m, en patinadores de velocidad de categoría juvenil pista, de Bogotá, Colombia. Se evaluaron 50 patinadores (37 mujeres y 13 hombres), de la categoría juvenil. Se realizaron carreras de 300m, en la pista de un patinódromo y el tiempo fue cronometrado mediante un sistema de fotoceldas (Microgate Polifemo). Se determinó la altura de los saltos squat (SJ) y contra-movimiento (CMJ), con un sistema óptico de medición (OptoGait, Microgate). Se realizó una prueba de Wingate de 30s, utilizando un ciclo-ergómetro (Cyclus 2, RBM Elektronik-Automation). Se hicieron análisis bivariados y multivariados, utilizando el tiempo de la prueba de 300m, como variable dependiente. El análisis multivariado arrojó que la potencia media relativa ( $b = -1,163$ ; se  $b = 0,326$ ) y el salto desde sentadilla ( $b = -1,137$ ; se  $b = 0,053$ ) fueron las variables significativas ( $p < 0,01$ ), para predecir el tiempo en la prueba de 300 m ( $r^2 = 0,7$ ). El salto squat y la potencia media relativa han mostrado ser pruebas predictoras del rendimiento en el tiempo de la prueba de 300m, en patinadores juveniles de Bogotá, Colombia.

Palabras clave: Potencia anaerobia, patinadores, juveniles y rendimiento.

### SUMMARY

Skating race is a competitive discipline of growing popularity, however, the available scientific evidence on training, evaluation and control systems is still limited. By the nature of the discipline, using explosive force tests for the evaluation of athletes is frequent. The objective of the present study is to predict performance in the 300m test of junior category speed skaters. 50 skaters (37 women and 13 men) from junior category were evaluated. 300m races were held on the track of a skating rink, and time was measured by a photocells system (Microgate Polyphemus). Height in squat and countermovement jumps were determined using an optical system (OptoGait, Microgate). 30 s Wingate test was performed in a cycle-ergometer (Cyclus 2-RBM Elektronik Automation). Bivariate and multivariate analyzes were performed setting 300m race time as a dependent variable. Multivariate analysis showed that average relative power ( $b = -1.163$ ; se  $b = 0.326$ ) and squat jump height ( $b = -1.137$ ; se  $b = 0.053$ ) were the significant variables ( $p < 0.01$ ) to predict the 300m test ( $r^2 = 0.7$ ). The squat jump height and average relative power tests have shown to be predictive of performance in 300m test in junior skaters.

Key words: Anaerobic power, skaters, juniors and performance.

### INTRODUCCIÓN

El patinaje es un deporte que ha cobrado importancia en materia de investigación, gracias a su práctica en diversos contextos, tales como juegos panamericanos, campeonatos mundiales y también en prácticas recreativas y formativas (Piuccio *et al.* 2014). Dentro de la gama de pruebas que

posee el patinaje de carreras, sobresalen las pruebas de velocidad, que se realizan en pista, sobre una distancia de 300m, considerándose una de las pruebas que genera mayor entusiasmo entre competidores y espectadores.

Los patinadores requieren velocidad que, junto con la fuerza, constituyen la “fuerza explosiva”, la cual, es una de las capacidades determinantes para el rendimiento (Hillis & Holman, 2014). Durante la niñez, se va presentando en los practicantes de patinaje una mejora en la velocidad, aunque es en la adolescencia donde se incrementa la fuerza explosiva, gracias al desarrollo de la fuerza (Hillis & Holman, 2014). Por lo anterior, al ser estas variables relevantes para el desempeño en el deporte, su valoración objetiva, válida y confiable en este deporte es necesaria para optimizar los recursos que dispone el entrenador, para con sus deportistas (Piucco *et al.* 2015).

Gestos técnicos de otras disciplinas, como el ciclismo, combinado con ejercicios específicos para patinadores han sido efectivos, para la mejora de las capacidades aerobias y anaerobias, en patinadores élite (Stangier *et al.* 2016). Ahora, en la evaluación de patinadores, por lo general, se han tomado pruebas ya validadas para ciclistas o corredores, pero algunos patrones de movimiento, especialmente realizados por patinadores de pista, paso cruzado e inclinación en las curvas, postura, entre otros, hacen necesario el estudio sobre la valoración específica en esta disciplina (Stangier *et al.* 2016).

Los patinadores colombianos, se destacan en este tipo de pruebas, tanto de velocidad como de fondo y obtienen registros mundiales, incluyendo, actualmente, el récord en la rama masculina, que se encuentra en 23,41s, en la prueba de 300m pista (Record - FIRS - Fédération Internationale Roller Sports, 2016). Debido a este caso y otros resultados destacados que han obtenido los patinadores de este país, existe interés por estudiar variables relacionadas con el rendimiento, en este tipo de disciplinas.

En otros deportes, como natación, ciclismo, atletismo de carrera y triatlón, se ha estudiado la asociación de diversos componentes antropométricos, de entrenamiento y variables relacionadas con experiencias previas. Otros estudios, se centran más en la relación de componentes antropométricos y biomecánicos con el rendimiento, pero se han aplicado a deportistas de patinaje de velocidad sobre hielo (Konings *et al.* 2015; Haug *et al.* 2015). En el patinaje de carreras, se encuentran pocos estudios que predicen el rendimiento y se centran más en pruebas de larga duración (Knechtle *et al.* 2011; Lozada, 2015). Por tal motivo, el objetivo del presente estudio es el de predecir, a partir de características de valoración de la capacidad anaerobia, por medio de pruebas de saltos SJ y CMJ y variables de ciclismo

anaerobio (Wingate), el tiempo en la prueba de 300m pista, en patinadores juveniles de Bogotá, Colombia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Participantes del estudio.** Un total de 50 patinadores juveniles inscritos a un club de la liga de Bogotá de patinaje, con licencia federativa en vigor departamental, Colombia (2.640msnm) participaron voluntariamente en este estudio. El consentimiento informado fue firmado y autorizado por los padres de familia, a quienes se les informó, por escrito, acerca de las características, los objetivos y los riesgos de este estudio. Los patinadores, en su mayoría, son menores de edad, promedio 15,14 años ( $\pm 1,88$  años), promedio de peso y talla, 52,16kg ( $\pm 8,37$ kg) y 1,5m ( $\pm 0,1$ m), respectivamente. Dichos patinadores entrenaban una media de 20 horas semanales. El estudio fue aprobado por el comité de investigaciones institucional de la Universidad Santo Tomás y se cumplieron los principios éticos, contemplados en la Declaración de Helsinki y la Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia.

**Pruebas físicas.** La toma de pruebas físicas, se llevó a cabo durante el periodo precompetitivo general, en el 2015, los sábados, entre las 8:00 y 10:00 a.m., en las instalaciones de un patinódromo reglamentario, ubicado en un parque recreo deportivo, de Bogotá. La prueba de 300m, se realizó en la pista del patinódromo, previo calentamiento general y especial de 20 minutos, orientado por el entrenador del grupo. Se realizaron tres intentos, con un intervalo de tres minutos entre repeticiones y se registró el mejor tiempo de ellos. Todos los intentos fueron cronometrados, mediante un sistema de fotocélulas de luz infrarroja tipo reflejo, para la medición de tiempos con precisión, de 100 Hz, modelo WL34-R240, Marca Sick®, Potencia de encendido: Relevo, SPDT. Aislado. Max. Frecuencia de encendido: 10/s. Tiempo de demora: tabla, ajustable 0.5 a 10 s. (Alemania).

Con ocho días de diferencia, se llevaron a cabo las pruebas de fuerza explosiva. Inicialmente, y con el fin de potencializar el rendimiento, se realizó calentamiento, consistente en estiramientos activos y saltos previos (Turki *et al.* 2011). A continuación, se ingresaron los datos de cada participante en el software, de un sistema óptico de medición, para la fuerza explosiva (OptoGait, Microgate Italia, Bolzano-Bozen, Italia), con precisión temporal de 1 milisegundo y se procedió a realizar la prueba del SJ y, posteriormente, la prueba de CMJ. Este dispositivo ha demostrado, previamente, una fuerte validez, concurrente con plataformas de fuerza, así como también una excelente confiabilidad test-re test, para la estimación de la altura en saltos verticales (Glatthorn *et al.* 2011). Los patinadores ejecutaban las pruebas en grupos de ocho personas, en un coliseo cubierto, contiguo al patinódromo y acondicionado para que todas las mediciones

se realizaran bajo las mismas condiciones. El tiempo de recuperación entre las repeticiones de los saltos fue de tres minutos, en los que practicaban estiramientos activos. La mejor altura del salto fue tenida en cuenta, para el análisis en las dos pruebas.

La prueba de Wingate, se realizó sobre un ciclo-ergómetro (Cyclus 2, RBM Elektronik-Automation GmbH, Leipzig, Alemania), la potencia con un error de 2% (para valores menores de 100 vatios, máximo 2 vatios), la cadencia con un error maximal  $\pm 1$  RPM y la retroalimentación mecánica de HBM T5 torque, utilizado en otros estudios (Tinwala *et al.* 2017). La mayoría de los participantes, llevó su propia bicicleta y, en el caso de los que no disponían de una, se acondicionó un marco de bicicleta de otro participante, para que se ajustara a las medidas corporales. El calentamiento consistió en 10 minutos a una cadencia de 60 rpm, con una carga de 30 vatios; posteriormente, se empezó la prueba y los participantes fueron animados verbalmente a realizar su mejor esfuerzo, por un tiempo de 30 segundos. Se tuvieron en cuenta las variables de potencia máxima anaerobia y potencia media, en términos absolutos y relativos al peso corporal, para el análisis.

**Análisis estadístico.** La distribución de los datos, se determinó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, encontrándose que todas las variables se ajustan a una curva normal ( $p > 0,05$ ). Los datos son presentados como promedios y

desviaciones estándar para todas las variables analizadas. Se realizó análisis de regresión de "Pearson" con el tiempo de la prueba de 300m, para identificar las variables que serían tenidas en cuenta en un modelo de regresión múltiple (por pasos). Fue empleado un nivel de significancia de 0,05 y se empleó el software IBMSPSS versión 23, para el tratamiento de la información (Licencia, Universidad Santo Tomás).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un total de 50 jóvenes patinadores participaron en el estudio voluntariamente, 37 mujeres (74%) y 13 hombres (26%). La tabla 1 presenta las características de los participantes y los resultados promedio en las pruebas físicas, así como los coeficientes de correlación bivariada de "Pearson" con respecto al tiempo de la prueba de velocidad de 300m. Los resultados en la prueba de 300m fueron: promedio general 29,67s ( $\pm 2,23$ ) de duración; en mujeres, 30,42 s ( $\pm 2,04$  s) y 27,55 s ( $\pm 1,07$  s).

La edad, la talla, los saltos SJ y en CMJ, la potencia máxima y la media a partir de la prueba de Wingate estuvieron significativamente correlacionadas con el tiempo de carrera de la prueba de 300m. Un análisis de regresión múltiple paso a paso mostró que las variables de potencia media relativa (Figura 1) y salto desde sentadilla (Figura 2) fueron las variables que obtuvieron valores de correlación más altos con el tiempo de carrera.

Tabla 1. Características y pruebas físicas de los participantes con respecto al tiempo de carrera de velocidad de 300m (n= 50).

Variable	Promedio	D.E.*	R	Valor p
Edad (años)	15,14	1,885	-0,457	0,001
Peso (kg)	52,1600	8,37910	-0,272	0,056
Talla (m)	1,5910	,10170	-0,319	0,024
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	20,5547	2,25669	-0,009	0,95
Salto en contra movimiento CMJ (cm)	29,8560	6,74471	-0,79	<0,001
Salto squat SJ (cm)	27,6660	6,15552	-0,78	<0,001
Potencia máxima (vatios)	530,3420	168,56026	-0,523	<0,001
Potencia media (vatios)	416,4460	88,17957	-0,652	<0,001
Potencia máxima relativa (vatios/kg)	10,2480	2,29794	-0,487	<0,001
Potencia media relativa (vatios/kg)	8,0480	,90919	-0,801	<0,001

\*D.E.: Desviación Estándar.

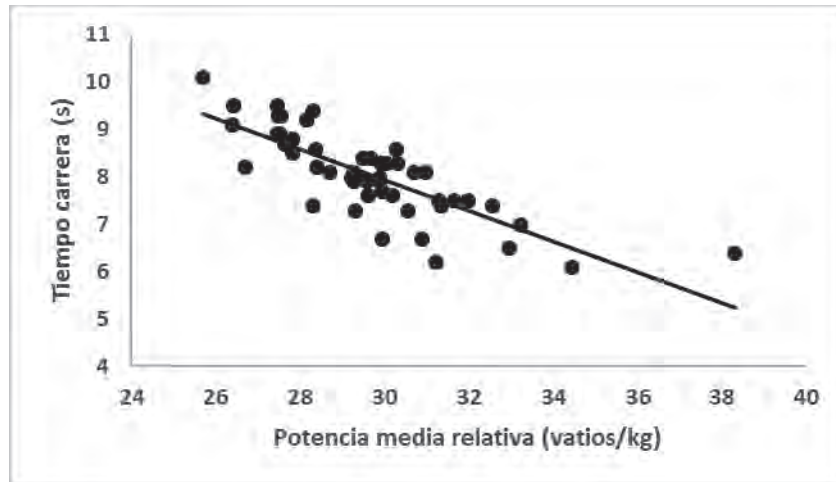


Figura 1. Potencia anaerobia media relativa fue significativamente e inversamente relacionada con el tiempo de carrera de 300m (n=50) (r= -0,8; p<0,001).

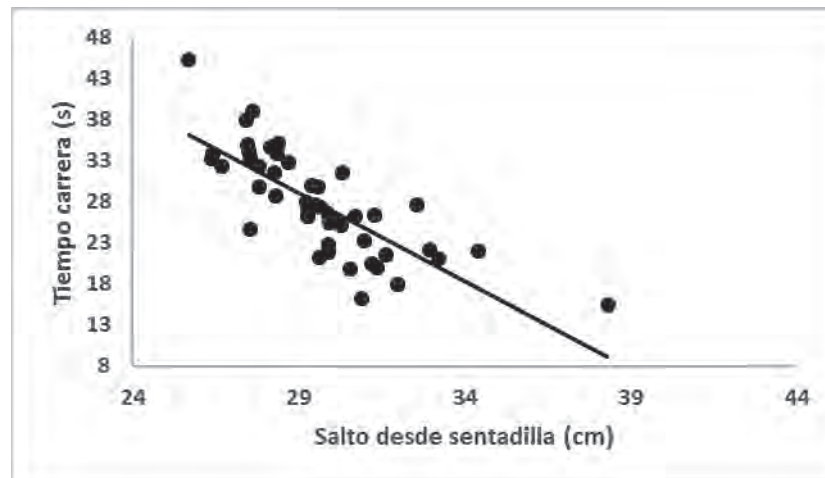


Figura 2. El SJ o Salto desde sentadilla fue significativamente e inversamente relacionado con el tiempo de carrera de 300m (n=50 (r= -0,78; p<0,001).

A partir del análisis multivariado, se pudo determinar la existencia de una relación entre las variables que viene explicada por la ecuación:

$$Y = 43,433 - 1,163 X_1 - 0,137 X_2$$

Donde: Y es el tiempo en la prueba de 300m;  $X_1$ , la potencia anaeróbica media relativa y  $X_2$ , el SJ. En este modelo, el coeficiente de determinación fue de 0,70 y el error cuadrático medio fue 1,44. En la tabla 2, se muestran los coeficientes tipificados y sus valores de probabilidad.

Se evaluó la independencia de los errores por medio del estadístico de Durbin-Watson, siendo de un valor de 2,11, por lo que se presupone este supuesto en el modelo. El factor de inflación de la varianza (FIV) fue cercano a 1 en todas las variables, por lo que se presume la no multicolinealidad entre las variables (Field, 2013).

El patinaje de velocidad es una disciplina competitiva de popularidad creciente (Bohórquez *et al.* 2016); sin embargo, la evidencia científica disponible sobre regímenes de entrenamiento, de evaluación y de control es aún limitada. Adicionalmente, la práctica formativa y recreativa es cada vez más frecuente, llamando la atención sobre la necesidad



Tabla 2. Coeficiente B para tiempo en la prueba de velocidad de 300m como variable dependiente (n= 50).

Variable	B	se b	b estandarizado
Constante	43,433	1,726	
Edad	-0,005	0,119	-0,004
Sexo	-0,272	0,529	-0,054
Potencia media relativa	-1,163	0,326	-0,474*
Salto desde sentadilla	-0,137	0,053	-0,379*

\* El valor de los coeficientes es significativo ( $p < 0,01$ ).

de realizar estudios también en las categorías infantil y juvenil (Piucco *et al.* 2014). Por la naturaleza de la disciplina es frecuente el uso de pruebas de fuerza explosiva para la valoración de los deportistas. Tanto las pruebas de salto como de ciclismo anaerobio son mecanismos de valoración ampliamente utilizados por los entrenadores, para controlar el progreso de los deportistas y este estudio permitió identificar los indicadores que más se relacionaron con el rendimiento en patinadores juveniles de Bogotá, Colombia. Se pudo determinar, que la altura del SJ y la potencia máxima relativa (prueba de Wingate) permiten predecir el tiempo en la prueba de velocidad de 300m, en patinadores juveniles.

Nuestro estudio, realizado con 50 patinadores juveniles, obtuvo tiempos promedio en la prueba de 300m de 30,42s, en mujeres y 27,55s, en hombres. Para propósitos comparativos, 6 patinadores de Canadá y 3 de Holanda, hombres bien entrenados, con una estrategia de paso rápido, registraron tiempos sobre la misma distancia de 26,18s ( $\pm 0,79s$ ); sin embargo, estos participantes son de categoría mayores y han participado en campeonatos regionales y nacionales en sus países, lo que explica el mejor desempeño, con respecto a los juveniles de Bogotá (Stoter *et al.* 2016).

La utilidad de la potencia anaeróbica, para predecir el desempeño en pruebas de velocidad, ha sido previamente documentada, en jugadores de Hockey sobre hielo (Potteiger *et al.* 2010; Peyer *et al.* 2011). En el estudio de Potteiger, se analizó la correlación entre el tiempo registrado en 6 carreras de 89m sobre pista de hielo y se encontró correlación significativa con la potencia pico relativa, medida mediante prueba de Wingate, de 30s. En contraste, nosotros encontramos que, dentro de todas las variables determinadas, mediante esta misma prueba, fue la potencia media relativa (por kilogramo de masa corporal) la que mostró ser predictora del tiempo, en la prueba de 300m. Estos resultados, se pueden explicar, porque en el mencionado estudio, las pruebas de 89m sobre hielo, se caracterizan por una mayor velocidad, por lo que se puede asumir que son esfuerzos predominantemente anaeróbicos alácticos, lo que se refleja mejor en el valor de potencia

máxima, mientras que, en nuestro estudio, por tratarse de una prueba de 300m sobre pista de asfalto, podemos asumir que se trata de un esfuerzo predominantemente anaeróbico láctico, lo que no se refleja, tanto en la potencia pico como sí en la potencia promedio, durante toda la prueba de Wingate, de 30s.

En investigaciones pasadas, se ha demostrado que, patrones de movimiento, como el ciclismo o la carrera, son igualmente efectivas para mejorar el rendimiento de velocidad y de resistencia aerobia, en practicantes de patinaje (Stangier *et al.* 2016). Por estos motivos, no es raro encontrar valoraciones sobre cicloergómetro o banda rodante aplicadas a patinadores de distintos niveles y edades; sin embargo, en casos de duda o necesidad de una mayor precisión, se recomienda la aplicación de pruebas específicas (Stangier *et al.* 2016).

Aunque la altura de salto es un indicador ampliamente aceptado de fuerza explosiva, se ha observado que el desempeño obtenido y la estrategia utilizada para ejecutar los diferentes tipos de salto son específicos, de acuerdo con el tipo de entrenamiento (Arabatzí & Kellis, 2012). Así quedó en evidencia tras observarse mediante análisis cinético y cinemático, que la ejecución del SJ es significativamente diferente entre diversas modalidades de entrenamiento de fuerza explosiva: levantadores de peso, en comparación con patinadores de velocidad; tales diferencias no se observaron en el CMJ (Haug *et al.* 2015). En nuestros resultados, aunque inicialmente en el análisis bivariado se observó correlación de la altura de salto, tanto el ejecutado SJ como el de CMJ, con respecto al tiempo en la prueba de velocidad, al realizar el análisis multivariado solo el primero mostró ser predictor del tiempo en los 300m. Esto se puede explicar porque, a diferencia del CMJ, el SJ se asemeja más al gesto natural de patinaje, que típicamente es con el cuerpo inclinado hacia la pista, con rodillas y codos flexionados, en posición fija.

Por otra parte, las variables evaluadas relacionadas con parámetros antropométricos, como la talla y el peso, no mostraron relación alguna con el rendimiento en la

carrera de 300m, debido, principalmente, a que todos los participantes se encontraban en condiciones normales para estos parámetros, teniendo en cuenta que la muestra evaluada se encuentra en proceso de entrenamiento para altos logros; estos resultados son consistentes con los encontrados en previas investigaciones (Konings *et al.* 2015). Por el contrario, un estudio llevado a cabo con practicantes de patinaje recreativos (Knechtle *et al.* 2011) mostró correlaciones positivas significativas con edad ( $r=0,3$ ), masa corporal ( $r=0,42$ ) e índice de masa corporal ( $0,35$ ), los cuales, son opuestos a los resultados del presente estudio en edad ( $r=-0,45$ ) y el IMC, que no presentó significancia. Las razones de esta diferencia radican en el promedio de edad de los estudios (40,7 versus 15,7 años, en nuestro estudio), el nivel de los participantes, que era recreativo en ese estudio, mientras que fue competitivo en la presente investigación y, finalmente, el tipo de prueba: 111km frente a 300m. Aunque, sin lugar a duda, los estudios son diferentes en su variable dependiente, resulta ilustrativa la comparación entre las variables predictoras de desempeño en pruebas de resistencia aerobia y de velocidad en el mismo deporte. En este sentido, llama la atención que, mientras en ese mismo estudio se encontró correlación positiva con porcentaje de grasa (adipometría), en otro, Potteiger *et al.* (2010) informaron una correlación negativa entre el porcentaje de grasa (pletismografía por desplazamiento de aire) y el tiempo en una carrera de 89m, en jugadores de hockey sobre hielo, con promedio de edad de 20 años. A partir de lo anterior, se puede plantear la necesidad de estudiar la utilidad de variables antropométricas y de composición corporal, tales como perímetros de pierna, porcentaje de grasa y masa muscular, como determinantes o predictores de desempeño en pruebas de velocidad, específicamente.

El patrón de movimiento de los patinadores es caracterizado por una postura de rodillas, de caderas y de codos, flexionados en ángulo fijo, con el tronco inclinado, para favorecer la técnica y la aerodinámica (Stoter *et al.* 2016). Por tanto, es lógico que, a partir de la prueba de fuerza explosiva del SJ pueda predecir el rendimiento en pruebas de velocidad de este deporte. Asimismo, la potencia media relativa, obtenida a partir de la prueba de cicloergómetro, a pesar de no ser un patrón de movimiento específico, sí impone una demanda energética que es similar a la prueba de velocidad de 300m, en cuanto a potencia energética y predominancia en el tiempo. Estas pruebas han sido las variables predictoras del tiempo en la prueba de velocidad en jóvenes patinadores de Bogotá, lo que puede contribuir a los procesos de identificación, de búsqueda y de desarrollo de los talentos deportivos (Vaeyens *et al.* 2008), en esta disciplina.

Conflictos de intereses. El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes

declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. Financiación: Este estudio fue financiado por el Fondo para el desarrollo de proyectos de Investigación de la Universidad Santo Tomás de Aquino, sede Bogotá.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ARABATZI, F.; KELLIS, E. 2012. Olympic Weightlifting Training Causes Different Knee Muscle-Coactivation Adaptations Compared with Traditional Weight Training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(8):2192-2201.
2. BOHÓRQUEZ-PÁEZ, D.A.; ROJAS-RÚÍZ, F.J.; GIMÉNEZ-FUENTES-GUERRA, F.J. 2016. Eficiencia de las salidas frontal y lateral para la prueba de pista 300 metros CRI, patinaje de velocidad sobre ruedas. *Orinoquia*. 20(1):77-83.
3. FIELD, A. 2013. *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. SAGE; 953p.
4. GLATTHORN, J.F.; GOUGE, S.; NUSSBAUMER, S.; STAUFFACHER, S.; IMPELLIZZERI, F.M.; MAFFIULETTI, N.A. 2011. Validity and reliability of Opto-jump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *J. Strength Cond. Res.* 25:556-560.
5. HAUG, W.B.; DRINKWATER, E.J.; MITCHELL, L.J.; CHAPMAN, D.W. 2015. The relationship between start performance and race outcome in elite 500-m short-track speed skating. *Int. J. Sports Physiology and Performance*. 10(7):902-906.
6. HAUG, W.B.; SPRATFORD, W.; WILLIAMS, K.J.; CHAPMAN, D.W.; DRINKWATER, E.J. 2015. Differences in End Range of Motion Vertical Jump Kinetic and Kinematic Strategies Between Trained Weightlifters and Elite Short Track Speed Skaters. *J. Strength and Conditioning Res. / National Strength & Conditioning Association*, 29(9):2488-2496.
7. HILLIS, T.L.; HOLMAN, S. 2014. The Relationship between Speed and Technical Development in Young Speed Skaters. *Int. J. Sports Science & Coaching*. 9(2):393-400.
8. KNECHTLE, B.; KNECHTLE, P.; RÜST, C.A.; SENN, O.; ROSEMANN, T.; LEPERS, R. 2011. Predictor variables of performance in recreational male long-distance inline skaters. *J. Sports Sciences*, 29(9):959-966.

9. KONINGS, M.J.; ELFERINK-GEMSER, M.T.; STOTER, I.K.; VAN DER MEER, D.; OTTEN, E.; HETTINGA, F.J. 2015. Performance characteristics of long-track speed skaters: a literature review. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.). 45(4):505-516.
10. LOZADA, J.L. 2015. Comparación de las características antropométricas entre patinadores de velocidad medallistas y no medallistas. *Actividad Física y Ciencias*. 7(1):1-15.
11. PEYER, K.L.; PIVARNIK, J.M.; EISENMANN, J.C.; VORKAPICH, M. 2011. Physiological characteristics of National Collegiate Athletic Association Division I ice hockey players and their relation to game performance. *The J. Strength & Conditioning Res.* 25(5):1183-1192.
12. PIUCCO, T.; DOS SANTOS, S.; DANTAS DE LUCAS, R.; ACHE-DIAS, J. 2015. Nuevo test incremental para patinadores velocistas sobre una superficie plana deslizante: análisis de fiabilidad y comparación con un test de ciclismo. *Apunts Medicina de l'Esport*. 50(186):57-63.
13. PIUCCO, T.; DOS SANTOS, S.G.; DE LUCAS, R.D. 2014. Patinação de velocidade in-line: uma revisão sistemática. *Rev. Andaluza de Medicina del Deporte*. 7(4):162-169.
14. POTTEIGER, J.A.; SMITH, D.L.; MAIER, M.L.; FOSTER, T.S. 2010. Relationship between body composition, leg strength, anaerobic power, and on-ice skating performance in division I men's hockey athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*. 24(7):1755-1762.
15. Record - FIRS - Fédération Internationale Roller Sports. 2016. Disponible desde Internet en: <http://www.rollersports.org/discipline/speed/record> (con acceso 08/03/17).
16. STANGIER, C.; ABEL, T.; HESSE, C.; CLAEN, S.; MIERAU, J.; HOLLMANN, W.; STRÜDER, H.K. 2016. Effects of Cycling vs. Running Training on Endurance Performance in Preparation for Inline Speed Skating. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*. 30(6):1597-1606.
17. STANGIER, C.; ABEL, T.; MIERAU, J.; GUTMANN, B.; HOLLMANN, W.; STRÜDER, H.K. 2016. Comparison of sport-specific and non-specific exercise testing in inline speed skating. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 56(4):406-414.
18. STANGIER, C.; ABEL, T.; MIERAU, J.; HOLLMANN, W.; STRÜDER, H.K. 2016. Effects of Cycling Versus Running Training on Sprint and Endurance Capacity in Inline Speed Skating. *J. Sports Science & Medicine*. 15(1):41-49.
19. STOTER, I.K.; MACINTOSH, B.R.; FLETCHER, J.R.; POOTZ, S.; ZIJDEWIND, I.; HETTINGA, F.J. 2016. Pacing Strategy, Muscle Fatigue, and Technique in 1500-m Speed-Skating and Cycling Time Trials. *Int. J. Sports Physiology and Performance*. 11(3):337-343.
20. TINWALA, F.; CRONIN, J.; HAEMMERLE, E.; ROSS, A. 2017. Eccentric Strength Training: A Review of the Available Technology. *Strength Cond. J.* 39(1):32-47.
21. TURKI, O.; CHAOUACHI, A.; DRINKWATER, E.J.; CHTARA, M.; CHAMARI, K.; AMRI, M.; BEHM, D.G. 2011. Ten minutes of dynamic stretching is sufficient to potentiate vertical jump performance characteristics. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*. 25(9):2453-2463.
22. VAEYENS, R.; LENOIR, M.; WILLIAMS, A.M.; PHILIPPAERTS, R.M. 2008. Talent identification and development programmes in sport: current models and future directions. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.). 38(9):703-714.

Recibido: Junio 22 de 2017

Aceptado: Octubre 10 de 2017

#### Cómo citar:

González, Y.; Mendoza, D. 2017. Predicción del tiempo en la prueba de 300 metros en patinadores juveniles de rendimiento. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(2): 247-253.



# CONDICIÓN FÍSICA, NIVEL DE ACTIVIDAD FÍSICA Y CAPACIDAD FUNCIONAL EN EL ADULTO MAYOR: INSTRUMENTOS PARA SU CUANTIFICACIÓN

## PHYSICAL FITNESS, PHYSICAL ACTIVITY LEVEL AND FUNCTIONAL CAPACITY IN OLDER ADULTS: INSTRUMENTS FOR THEIR QUANTIFICATION

Cindy L. Benavides R.<sup>1</sup>, Jose A. García G.<sup>2</sup>, Jairo A. Fernández O.<sup>3</sup>,  
Diogo Rodrigues B.<sup>4</sup>, John F. Ariza J.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Lic. Educación Física, Esp. Ejercicio físico para la salud, M.Sc. Actividad física y salud, Docente, Grupo de investigación motricidad y desarrollo humano. Corporación Universitaria CENDA, Av. Caracas No. 35-18, Bogotá, Colombia, e-mail: Cindy.benavides@cenda.edu.co; <sup>2</sup>Lic. Educación Física, M.Sc. Pedagogía de la cultura física. Docente, Grupo de investigación motricidad y desarrollo humano. Corporación Universitaria CENDA. Av. Caracas No. 35-18, Bogotá, Colombia, e-mail: jose.garcía@cenda.edu.co; <sup>3</sup>Profesional en ciencias de la actividad física y el deporte, M.Sc. en Fisiología del Ejercicio, Ph.D. en Ciencias de la Actividad Física, Director Grupo de Investigación Motricidad y Desarrollo Humano. Av. Caracas No. 35-18, Bogotá, Colombia, e-mail: jairofdz@cenda.edu.co; <sup>4</sup>Lic. Educación Física, Esp. Fisiología y prescripción del ejercicio, M.Sc. Actividad física y salud, Grupo de investigación motricidad y desarrollo humano. Av. Caracas No. 35-18, Bogotá, Colombia, e-mail: diogo.rodrigues@cenda.edu.co; <sup>5</sup>Lic. Educación Física, M.Sc. Educación, Grupo de Investigación Motricidad y Desarrollo Humano. Av. Caracas No. 35-18, Bogotá, Colombia, e-mail: John.ariza@cenda.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 255-265, Julio-Diciembre, 2017

### RESUMEN

Las personas pasan por un proceso de envejecimiento, que está manifestado en los cambios biológicos y en la declinación fisiológica, lo cual, tiene un impacto significativo en el desarrollo de las actividades básicas de la vida diaria. En ese sentido, se hace necesario determinar cuáles son los instrumentos de medición más empleados para la evaluación de la condición física, capacidad funcional y niveles de actividad física de esta población. A través de una revisión sistemática de publicaciones científicas, se logró establecer que, para la medición de la condición física, la batería más utilizada es la SPPB (Short Physical Performance Battery); respecto al nivel de actividad física, la acelerometría es uno de los métodos directos más empleados, junto a los cuestionarios de autoreporte y para identificar la capacidad funcional, el índice de katz es el reportado con mayor frecuencia.

Palabras clave: Envejecimiento, valoración, funcionalidad.

### SUMMARY

People go through a process of aging that is manifested in biological changes and physiological decline, which has a significant impact on the development of basic activities of

daily living. In this sense, it is necessary to determine which are the most used measurement instruments for the evaluation of the physical condition, functional capacity and levels of physical activity of this population. Through a systematic review of scientific publications, it was possible to establish that for the measurement of the physical condition the battery most used is the SPPB (Short Physical Performance Battery); Regarding the level of physical activity, accelerometry is one of the direct methods most used together with self-report questionnaires and to identify functional capacity, the katz index is the most frequently reported.

Key words: Aging, assessment, functionality.

### INTRODUCCIÓN

La población mundial está envejeciendo a pasos acelerados. En Colombia, según la Encuesta Nacional de Demografía y Salud, adelantada por Ojeda *et al.* (2011), indica que la proporción de población de 65 años y más aumentó de 5 al 7%, entre 1990 y 2010. El envejecimiento presenta niveles de dependencia y de discapacidad elevados, que oscilan entre el 20 y 53,5% (Yoshida *et al.* 2012).

El proceso de envejecimiento, generalmente, viene seguido de una pérdida global de la salud, debido a un incremen-

to del riesgo de padecer enfermedades de carácter crónico degenerativo: cardiovasculares, diabetes, cáncer, enfermedades respiratorias, trastornos relacionados con el sistema músculo esquelético, como la sarcopenia y la osteoporosis. Lo anterior, se ve reflejado en una pérdida de la movilidad y un aumento en la dependencia, generando un mayor riesgo de caídas, de fracturas y de discapacidad.

La condición física es, entonces, un factor clave en la preservación de la movilidad y la independencia, que permite a los adultos mayores realizar las actividades cotidianas, como subir escaleras, levantar y transportar objetos, entrar y salir de las sillas o de un vehículo y caminar alrededor de las tiendas, edificios o parques (Paterson & Warburton, 2010).

Un mayor nivel de actividad física está relacionado con la participación en las actividades físicas moderadas, que pueden retrasar el declive funcional y reducir el riesgo de padecer enfermedades, por tanto, mantener un estilo de vida activo garantizará una mayor independencia funcional (Landinez *et al.* 2012).

La capacidad funcional también se puede ver afectada por las enfermedades crónicas o a las caídas, que son los accidentes más comunes en esta edad y que están asociados a la pérdida de control corporal, causado por la disminución de la fuerza muscular, que es uno de los efectos más conocidos del envejecimiento (Curcio *et al.* 2009).

Es así, que el propósito de este estudio fue determinar los instrumentos con mayor grado de confiabilidad y de validez, para la evaluación de la condición física, capacidad funcional y niveles de actividad física, en el adulto mayor.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Estrategia de búsqueda.** La revisión sistemática, se centró en recopilar la evidencia científica acerca de los instrumentos más utilizados para evaluar la condición física y los niveles de actividad física en el adulto mayor, para lo cual, se establecieron, como estrategia inicial de búsqueda, los descriptores, según los términos DeCS (Descriptores en ciencias de la salud) y Mesh (Pubmed), obteniendo como resultado, las siguientes palabras clave: adulto mayor, condición física, actividad física y rendimiento físico. Se combinaron las palabras clave aplicando los descriptores booleanos AND/OR.

Se utilizaron varias estrategias de indagación, se realizaron búsquedas en revistas especializadas, en el registro especializado de ensayos controlados del grupo Cochrane, en las bases de datos electrónicas de Medline, PubMed, Proquest, Hinari, SportDiscus, EMBASE, CINAHL, PsychINFO, PEDro y Ovid.

La estrategia de búsqueda en las bases electrónicas, se realizó acorde a la metodología de búsqueda sensible para ensayos controlados y aleatorios.

Las listas obtenidas fueron combinadas usando el software bibliográfico EndNote y los duplicados fueron suprimidos. Se estableció, como espectro de búsqueda, año 2005 al 2015, sin restricción de idioma.

**Criterios de inclusión y proceso de selección.** Para la selección primaria de los artículos, se establecieron los siguientes criterios de inclusión: Estudios que describieran los instrumentos de evaluación para la medición de la condición física funcional y los niveles de actividad física; artículos publicados en revistas, que se encuentren dentro del Q1, que establece SCIMAGO (International Scientific Journal & Country Ranking) y aprobación por pares de evaluación independientes.

Los artículos, se revisaron y se evaluaron, a través de una matriz de análisis, para ponderar su calidad científica, según el protocolo de Cochrane Review, quedando incluidos los estudios que tuvieron una ponderación superior a 7,0 puntos.

**Extracción de datos.** La información que se extrajo de cada uno de los estudios estaba dividida en tres tópicos principales:

Datos generales del artículo: Base de datos a la cual pertenece, título, autores, revista, año de publicación, país del estudio y palabras clave.

Población de referencia: Rangos de edad, método de selección de la muestra, tamaño de la muestra, tipo de estudio y criterios de inclusión.

Variables e instrumentos utilizados: Condición física, capacidad funcional, nivel de actividad física.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respecto a los instrumentos más utilizados para la cuantificación de la condición física, capacidad funcional y niveles de actividad física del adulto mayor, se identificaron un total de 1.916 documentos, posiblemente, pertinentes según el título y el resumen; de éstos, se excluyeron 1.320, recuperándose 548 para evaluación en profundidad y se seleccionaron 56, como adecuados para su inclusión en el estudio. El flujo de los estudios seleccionados, se puede ver en la figura 1.

En el proceso de extracción de datos, 30 estudios corresponden a la medición del nivel de actividad física, 20 sobre la condición física y 1 valoró la capacidad funcional del adulto mayor; en este mismo proceso, cinco estudios relacionaron dos variables: uno nivel de actividad física y

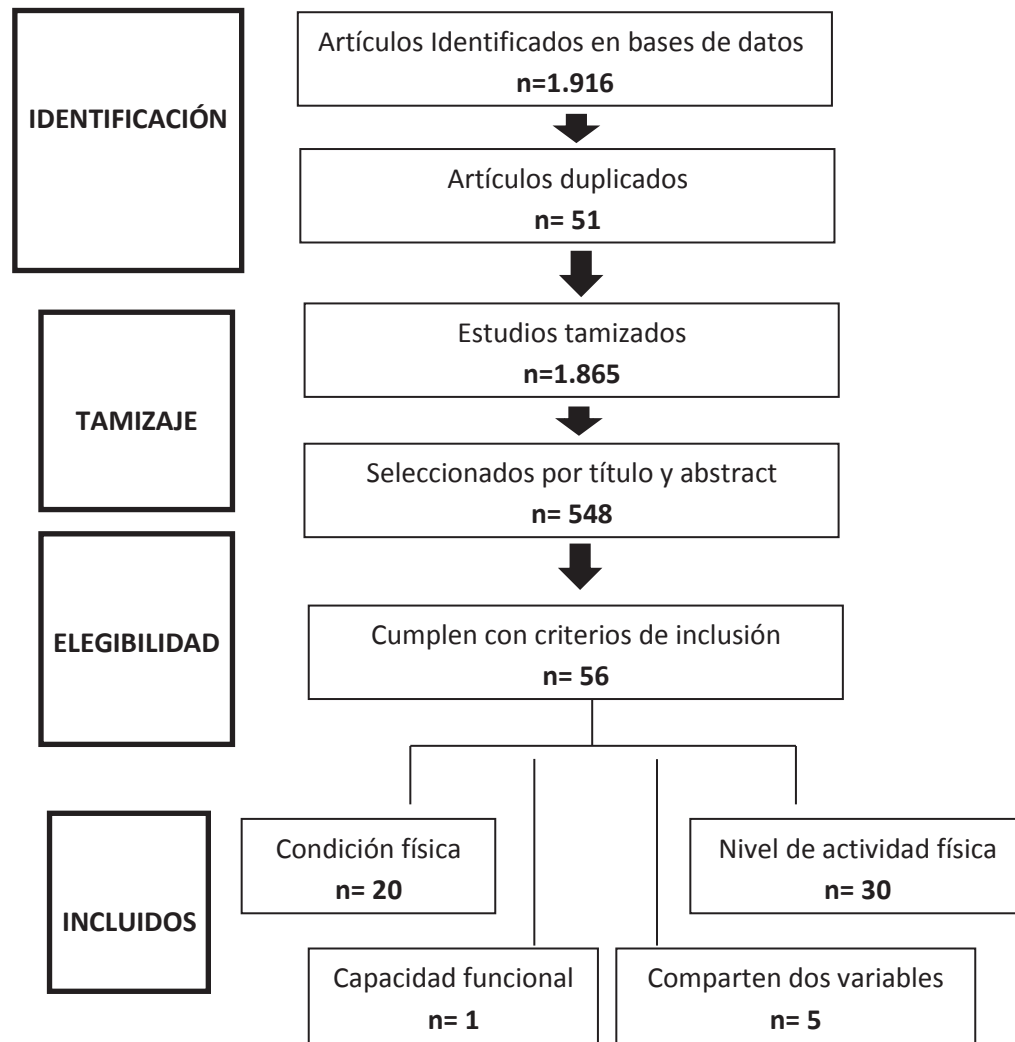


Figura 1. Flujo de la Revisión.

capacidad funcional y los cuatro restantes, condición física y nivel de actividad física.

El cuadro 1 evidencia los estudios seleccionados y evaluados en cuanto a las variables, los métodos o instrumentos, el tipo de estudio y la población, con referencia a la edad. En la caracterización, se evidencian estudios de tipo descriptivo, 76,8%; experimental, 16,1% y, de cohorte, 7,1%. De acuerdo con las variables capacidad funcional, condición física y nivel de actividad física, se establecieron los instrumentos de medición, empleados en los 56 artículos analizados. El cuadro 2 recopila la frecuencia en que son utilizados los instrumentos o las pruebas, para la medición de las variables estudiadas.

Los resultados de este estudio indican la short physical performance battery (SPPB), como la batería de test más utilizada (48%), para la valoración de la condición física en adultos mayores. Esta batería consta de tres test: equilibrio, velocidad de la marcha y levantarse y sentarse en una silla cinco veces. Esta batería fue creada por Guralnik *et al.* (1994) y validada con cinco mil adultos mayores de 71 años; cada prueba y el puntaje total presentaron una fuerte correlación con un autoreporte de discapacidad. Tanto los índices de incapacidad autoinformados como los puntajes de SPPB fueron predictores de mortalidad a corto plazo y de admisión en un hogar geriátrico.

Desde el desarrollo de la SPPB, tanto su fiabilidad y se sensibilidad, han sido confirmados, para valorar la condición

Cuadro 1. Caracterización de los estudios.

VARIABLES DE ESTUDIO	Autor y año	Tipo de estudio	Edad	n=	Métodos e instrumentos
CAPACIDAD FUNCIONAL	(Serra <i>et al.</i> 2014), (Volpato <i>et al.</i> 2008), (Popa <i>et al.</i> 2008), (Berryman <i>et al.</i> 2013)	Descriptivo	75,6±7, 77,7±6,4, 60-84, 70,5 ± 5,3	93, 92, 92, 243, 48	Escala de Barthel; Índice Katz; Escala de Lawton y Brody; Índice de Katz; Escala de Barthel
	(Jerome <i>et al.</i> 2006)	Prospectivo Observacional	70-79	710	Índice Katz
CONDICIÓN FÍSICA	(Hardy <i>et al.</i> 2013), (Aribisala <i>et al.</i> 2013)	Cohorte	71,9±3,9; 70-73	6555; 1936	Fuerza prensil, Velocidad de la marcha, Levantarse y sentarse de una silla; Fuerza prensil por dinamometría. Test de velocidad de la marcha, Prueba de marcha en 30 metros
	(Puthoff <i>et al.</i> 2007), (Vestergaard <i>et al.</i> 2009), (Aiello <i>et al.</i> 2008), (Montero-Odasso <i>et al.</i> 2005), (Brinkley <i>et al.</i> 2009), (Delmonico <i>et al.</i> 2008), (Kortebein <i>et al.</i> 2008), (Mosallanezhad <i>et al.</i> 2012), (Birnir <i>et al.</i> 2012)	Descriptivo	77,3±7,0, 74,5±7,0, 60-100, 78,9±3, 55, 70-78, 67±6,5, 75, 63-86	30, 1055, 4212, 102, 542, 802, 11, 698, 2,512	SPPB short physical performance battery, Cuestionario AVD, Escala de Tinetti, Test of Fitness, The get-up and go test, the flamingo test
	(Gudlaugsson <i>et al.</i> 2012), (Brovold <i>et al.</i> 2013)	Experimental	80,8±4,7, 78,3±4,1, 77,7±5,4	56, 61, 59	SPPB short physical performance battery
NIVEL DE ACTIVIDAD FÍSICA	(Park <i>et al.</i> 2010), (Aoyagi <i>et al.</i> 2010), (Park <i>et al.</i> 2008), (Davis & Fox, 2007), (Fox <i>et al.</i> 2007), (Granger <i>et al.</i> 2014), (Andersson <i>et al.</i> 2013), (Hansen <i>et al.</i> 2013), (Hamrik <i>et al.</i> 2014), (Dyrstad <i>et al.</i> 2014), (Pardo <i>et al.</i> 2014), (Hansen <i>et al.</i> 2013), (Fjeldsoe <i>et al.</i> 2013), (Teychenn <i>et al.</i> 2012), (Higashibata <i>et al.</i> 2012), (Hall <i>et al.</i> 2013), (Craft <i>et al.</i> 2012), (Cerin <i>et al.</i> 2013), (Tsunoda <i>et al.</i> 2012), (Amin <i>et al.</i> 2012), (Strath <i>et al.</i> 2012), (Ku <i>et al.</i> 2012), (Cerin <i>et al.</i> 2011), (Baptista <i>et al.</i> 2012), (Guedes <i>et al.</i> 2012), (Valentine <i>et al.</i> 2011)	Descriptivo	72,5±4,6, 66,2±10,7, 61,5 ± 9,8, 76,1±3,9, 75,8±3,8, 68,5±9,3, 62,6±8,9, 65±7, 51,9±13,8, ≥65, ≤84, ≤84, 41,1±15,1, 49,1±14,9, ≥65, ≥65, 50, 35-69, 60-90, 53±9,0, 65-77, 65-85, 18-65, 64,3, ≥67, (65+70), ≥67, ≥ 60, 69,2 ± 6,7	175, 107, 220, 637, 176, 50, 35, 44, 16,539, 1753, 1751, 1751, 1595, 3867, 63, 63, 37, 2226, 75, 91, 484, 481, 2176, 148, 1160, 146, 4696, 1204, 182	Acelerometría, Podómetro / Acelerómetro, Cuestionario perteneciente al Aweb, Cuestionario GPAQ, Cuestionario IPAQ, Acelerometría y cuestionario active Australia, Survey (AAS), Neighborhood walking questionnaire - Chinese version
	(Brovold <i>et al.</i> 2013)	Experimental	78,3±4,9	56	Physical activity scale for the elderly
	(Jerome <i>et al.</i> 2006)	Prospectivo Observacional	70-79	710	Versión modificada de los minnesota leisure Time physical activity questionnaire
	(Chan <i>et al.</i> 2007)	Cohorte Prospectivo	73,7±5,9	5.995	Physical activity scale for the elderly (PASE)
	(Aribisala <i>et al.</i> 2013), (Moore <i>et al.</i> 2012)	Cohorte	70-73, 61 (21-98)	1936, 654,83	Acelerometría, IPAQ



Cuadro 2. Instrumentos de medición.

VARIABLE	PRUEBAS O INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	AUTORES Y AÑO	TOTAL	%
CAPACIDAD FUNCIONAL	Escala de Bathel	(Caspersen <i>et al.</i> 1985), (Manty <i>et al.</i> 2009)	2	25
	Indice de Katz	(Jerome <i>et al.</i> 2006), (Volpato <i>et al.</i> 2008), (Popa <i>et al.</i> 2008)	3	38
	Cuestionario AVD	(Aiello <i>et al.</i> 2008), (Regazzoni <i>et al.</i> 2008)	2	25
	Escala de lawton y brody	(Volpato <i>et al.</i> 2008)	1	13
CONDICIÓN FÍSICA	Test fuerza prensil	(Hardy <i>et al.</i> 2013), (Aribisala <i>et al.</i> 2013)	2	8,7
	Test velocidad de la marcha	(Hardy <i>et al.</i> 2013), (Aribisala <i>et al.</i> 2013)	2	8,7
	Levantarse y sentarse de una silla (The get-up and go test)	(Hardy <i>et al.</i> 2013), (Birnie <i>et al.</i> 2012), (Gudlaugsson <i>et al.</i> 2012)	2	8,7
	SPPB short physical performance battery	(Brovold <i>et al.</i> 2013), (Vestergaard <i>et al.</i> 2009), (Hicks <i>et al.</i> 2005), (Ávila <i>et al.</i> 2010), (Rejeski <i>et al.</i> 2009), (Dyer <i>et al.</i> 2007), (Brinkley <i>et al.</i> 2009), (Delmonico <i>et al.</i> 2008), (Kortebein <i>et al.</i> 2008)	11	48
	Escala de Tinetti	(Montero-Odasso <i>et al.</i> 2005)	1	4,3
	Escala NHATS	(Freedman <i>et al.</i> 2014)	1	4,3
	Timed up & go and berg balance scaletimed up & go (TUG)	(Mueller <i>et al.</i> 2009)	1	4,3
	Test prueba de marcha de 30 metros	(Hall <i>et al.</i> 2013)	1	4,3
	Tests of functional capacity (Walking speed, rise from a chair, climb onto boxes of varying heights, Balance, Grip strength)	(Mosallanezhad <i>et al.</i> 2012)	1	4,3
	Flamingo test	(Birnie <i>et al.</i> 2012)	1	4,3
NIVEL DE ACTIVIDAD FÍSICA	Physical activity scale for the elderly. (PASE)	(Brovold <i>et al.</i> 2013), (Chan <i>et al.</i> 2007)	2	5,3
	Minnesota leisure time physical activity questionnaire	(Jerome <i>et al.</i> 2006)	1	2,6
	Cuestionario EPIC adaptado	(Abbatecola <i>et al.</i> 2005)	1	2,6
	Baecke questionnaire for older adults	(Wellman <i>et al.</i> 2007)	1	2,6
	Acelerometría	(Park <i>et al.</i> 2010), (Park <i>et al.</i> 2008), (Dyrstad <i>et al.</i> 2014), (Fjeldsoe <i>et al.</i> 2013), (Aoyagi <i>et al.</i> 2010), (Davis & Fox 2007), (Fox <i>et al.</i> 2007), (Granger <i>et al.</i> 2014), (Aribisala <i>et al.</i> 2013), (Andersson <i>et al.</i> 2013), (Hansen <i>et al.</i> 2013), (Craft <i>et al.</i> 2012), (Strath <i>et al.</i> 2012), (Ku <i>et al.</i> 2012), (Baptista <i>et al.</i> 2012), (Guedes <i>et al.</i> 2012), (Valentine <i>et al.</i> 2011), (Hall <i>et al.</i> 2013)	18	47
	Podómetro	(Park <i>et al.</i> 2008)	1	2,6
	Prueba de esfuerzo	(Berryman <i>et al.</i> 2013)	1	2,6
	Cuestionario global physical activity questionnaire (GPAQ)	(Hamrik <i>et al.</i> 2014), (Amin <i>et al.</i> 2012)	2	5,3
	Cuestionario IPAQ	(Dyrstad <i>et al.</i> 2014), (Teychenne <i>et al.</i> 2012), (Moore <i>et al.</i> 2012), (Higashibata <i>et al.</i> 2012), (Cerin <i>et al.</i> 2013), (Tsunoda <i>et al.</i> 2012)	6	16
	Cuestionario IPAQ versión corta	(Pardo <i>et al.</i> 2014)	1	2,6
	Cuestionario active Australia	(Fjeldsoe <i>et al.</i> 2013)	1	2,6
	Survey (AAS)	(Fjeldsoe <i>et al.</i> 2013)	1	2,6
	Neighborhood walking questionnaire - Chinese version	(Cerin <i>et al.</i> 2011)	1	2,6
	Escala de seis Items	(Manty <i>et al.</i> 2009)	1	2,6
Cuestionario perteneciente al Aweb	(Hansen <i>et al.</i> 2013)	1	2,6	

física en adultos mayores. Varios estudios epidemiológicos internacionales y nacionales demostraron su validez y confiabilidad (Soler *et al.* 2012). También posee valores de referencia para la población estadounidense y española.

El 52% de los estudios reflejan el uso de pruebas aisladas, que combinan ciertas capacidades físicas, como fuerza, resistencia aeróbica, resistencia muscular, flexibilidad y habilidades motrices, equilibrio, coordinación, velocidad y agilidad, que son seleccionadas por el investigador en función de las necesidades del estudio; sin embargo, es importante resaltar que la gran mayoría de estas pruebas corresponden a la batería, senior fitness test (SFT) diseñada por Rikli & Jones, en 2001, para evaluar la condición física en el adulto mayor. Los parámetros de condición física que incluye esta batería son: fuerza muscular, miembros superiores e inferiores, resistencia aeróbica, flexibilidad y agilidad y cuenta con valores de referencia por sexo y edad para la población norteamericana, establecidos a través de un estudio realizado a 7.000 adultos mayores. Su validez y su confiabilidad han sido ampliamente probadas, no solo en población norteamericana sino también en adultos mayores en Colombia (Gomez *et al.* 2013).

Por su parte, Rikli & Jones (2001) plantean que existe poca información disponible que determine el nivel de condición física necesario para que el adulto mayor pueda mantener su independencia. Los pocos estudios publicados al respecto han involucrado valoraciones en laboratorio, tales como consumo máximo de oxígeno, consumo pico máximo de oxígeno o fuerza muscular, medidas que proporcionan información importante para la comunidad científica, pero que no son bien entendidas o fácilmente interpretadas por la mayoría de los profesionales de la salud, por los líderes de programas o por los propios adultos mayores. Uno de los argumentos que podrían explicar el amplio uso de esta batería es que los estándares que se evalúan con esta batería: fuerza, resistencia, agilidad y balance dinámico, variables fisiológicas claves, están íntimamente ligadas con el mantenimiento de la independencia física en la edad adulta.

La diferencia entre aplicar la SFT o SPPB y pruebas aisladas es que estas definieron estándares de relación entre la condición física y la independencia física o predictor de riesgo de discapacidad en el adulto mayor, que permiten ubicar al adulto mayor, de acuerdo a la edad y al género, en rangos de eficiencia.

En términos generales, se podría decir que los estudios que no aplican estas baterías de forma completa, sí utilizan algunas de sus pruebas. Por otra parte, es importante resaltar que no todas las pruebas que contienen estas baterías fueron diseñadas por los autores; por ejemplo, las pruebas Timed Up-and-Go test utilizada en la SPPB y la 8 Foot up and go de

la SFT son derivadas de la Get-Up-and-Go test, creada por Mathias *et al.* (1986).

En cuanto a los estándares el SPPB, por ejemplo, utiliza un sistema ordinal de clasificación en lugar de puntuación a escala continua, que limita su capacidad para detectar cambios graduales en el rendimiento individual. Adicionalmente, se ha identificado que la prueba de equilibrio es demasiado fácil y la 5-times chair stand muy difícil, para ser discriminadores efectivos del rendimiento (Rikli & Jones, 2001). La SFT emplea siete pruebas, que abarcan variables fisiológicas fundamentales de la condición física, mientras que la SPPB, tres.

La valoración de los niveles de actividad física que realiza una persona durante el día ha sido abordada desde diferentes perspectivas técnicas y metodológicas. En los estudios revisados, la acelerometría fue uno de los métodos directos más utilizados; 47,4% de los trabajos emplearon este método, que tiene una gran fiabilidad para valorar el nivel de actividad física en personas de edad avanzada, como lo demostró el estudio de Bueno *et al.* (2016), quien identificó una estrecha correlación ( $r=0.83$ ) con el Gold estándar, que es el agua doblemente; sin embargo, esta gran correlación se pudo ver afectada por el tipo de acelerómetro que se utilice.

En cuanto a los métodos indirectos, se encuentran los cuestionarios, de los cuales se han reportado 16 para la población adulta. A través de ellos, se puede medir el tipo de actividad en los dominios de tiempo de ocio o de trabajo, frecuencia media de sesiones por unidad de tiempo, duración por minutos e intensidad, gasto metabólico de la actividad; son utilizados en grandes poblaciones, debido a su bajo costo y fácil aplicabilidad. Dentro de estos cuestionarios el más empleado fue el IPAQ, 18,6%.

Para identificar la confiabilidad y la validez de los cuestionarios, se desarrolló un estudio en el 2009, cuyo objetivo fue evaluar las propiedades psicométricas de los cuestionarios que miden la actividad física, a partir de tres criterios: la consistencia interna, la estabilidad del test-retest y la fiabilidad interobservadores e identificaron diversidad en la valoración de los tipos de actividad (Guirao-Goris *et al.* 2009). En cuanto a las propiedades psicométricas, para el IPAQ largo, se ha demostrado una fiabilidad alrededor de 0,8 ( $r = 0,81$ ; IC 95 %: 0,79-0,82) y para la versión corta, de 0,65 ( $r = 0,76$ ; IC 95 %: 0,73-0,77). Los coeficientes de validez observados entre las formas IPAQ sugieren que ambas versiones, larga y corta, tienen una concordancia razonable ( $r = 0,67$ ; IC 95 %: 0,64-0,70) (Tolosa & Gómez-Conesa, 2007); sin embargo, presenta una limitación para el trabajo con adulto mayor, ya que fue diseñado para la población de 18 a 65 años y acude a preguntas de las actividades realizadas en los últimos 7 días, que pueden aumentar el

sesgo de memoria por parte de esta población, es decir, que se puede maximizar el error de medición.

Por ello, en Suecia, Hurtig-Wennlöf *et al.* (2010) validaron el cuestionario en población mayor de 65 años y demostraron que el IPAQ-E tiene una adecuada validez y fiabilidad, pero la versión solo está en sueco e inglés. Finalmente, en un reciente estudio realizado por Rubio *et al.* (2017), cuyo propósito era validar en términos psicométricos el IPAQ en población mayor de 65 años, se observó que, en una población de 139 adultos, con edades entre 65-93 años, el cuestionario presentó buenas características de validez, de fiabilidad y de consistencia.

En lo relacionado con la validez de los cuestionarios para determinar con precisión el nivel de actividad física desarrollada, el método más apropiado es la acelerometría; para el caso del IPAQs, presentó buenos resultados de fiabilidad y de validez, con diversos tipos de acelerómetros Actigraph, Actireg, Acti-trainer, Actical y Caltrac (Helmerhorst *et al.* 2012).

En la presente revisión, se identifican diversas escalas para medir la capacidad funcional en adultos mayores; sin embargo, el índice de katz fue el instrumento más utilizado, creado en 1958, por un equipo multidisciplinar dirigido por S. Katz y formado por enfermeras, médicos, asistentes sociales, terapeutas ocupacionales y fisioterapeutas, del The Benjamín Rose Hospital (un hospital geriátrico y de enfermos crónicos de Cleveland, Ohio), para delimitar la dependencia en fracturas de cadera. Este instrumento permite determinar la independencia del adulto mayor en cuanto al desarrollo de las actividades de la vida diaria: bañarse, vestirse, usar el baño, movilidad, continencia y alimentación. Como ventaja, el índice de katz logra, a través de su valoración, identificar en qué actividades específicas el adulto mayor presenta independencia y dependencia (Trigás-Ferrín *et al.* 2011). La escala en mención puede ser empleada en estudios epidemiológicos, al ser un método de bajo costo y gran reproductibilidad. Su fiabilidad y su validez ha sido valorada en múltiples estudios, presentando coeficientes de correlación altos  $>0.70$  y test-retest  $>0.90$  (Trigás-Ferrín *et al.* 2011). El segundo instrumento más empleado fue la Escala de Barthel, cuya valoración arroja el grado de dependencia general, clasificada en: dependencia total, grave, moderada o leve.

No se pudo afirmar que exista una escala dominante, se puede afirmar que las principales escalas se caracterizan por su brevedad y sencillez a la hora de ser utilizadas, además presentan una alta fiabilidad y reproducibilidad. La mayoría de estos autores hacen referencia a estas 3 escalas: Índice de Katz, escala de Barthel y Cuestionario AVD (Montero Mendoza & Pelegrín Molina, 2010).

## CONCLUSIONES

Existen diversos instrumentos para evaluar la condición física, la capacidad funcional y los niveles de actividad física para la población de edad avanzada, que demuestran tener un apoyo empírico y racional, suficientemente fuerte, para justificar su uso, tanto por investigadores como por profesionales, con estimaciones razonables. Todas ellas fueron creadas antes del 2000 y validadas a través del tiempo y hasta la fecha, por estudios experimentales, epidemiológicos y meta análisis. El uso en diversos casos depende de si ha sido traducida y validada al Español de Colombia. En el caso de los acelerómetros, su utilización es un poco más limitada por los costos y su nivel de fiabilidad depende del tipo de acelerómetros que se utilice.

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. ABBATECOLA, A.; FERRUCCI, L.; CEDA, G.; RUSSO, C.; LAURETANI, F.; BANDINELLI, S.; PAOLISSO, G. 2005. Insulin resistance and muscle strength in older persons. *J. Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*. 60(10):1278-1282.
2. AIELLO, A.; HAAN, M.; PIERCE, C.; SIMANEK, A.; LIANG, J. 2008. Persistent infection, inflammation, and functional impairment in older Latinos. *J. Gerontology Series A Biological Sciences and Medicine Sciences*. 63(6):610-618.
3. AMIN, T.; AL KHOUDAIR, A.; AL HARBI, M.; AL ALI, A. 2012. Leisure time physical activity in Saudi Arabia: prevalence, pattern and determining factors. *Asian Pacific J. Cancer Prevention*. 13(1):351-360.
4. ANDERSSON, M.; SLINDE, F.; GRONBERG, A.; SVANTESSON, U.; JANSON, C.; EMTNER, M. 2013. Physical activity level and its clinical correlates in chronic obstructive pulmonary disease: a cross-sectional study. *J. Respiratory Research*. 14 (3):128-139.
5. AOYAGI, Y.; PARK, H.; KAKIYAMA, T.; PARK, S.; YOSHIOUCHI, K.; SHEPHARD, R. 2010. Yearlong physical activity and regional stiffness of arteries in older adults: the Nakanojo Study. *European J. Applied Physiology*. 109(3):455-464.
6. ARIBISALA, B.; GOW, A.; BASTIN, M.; DEL CARMEN VALDES HERNANDEZ, M.; MURRAY, C.; ROYLE,

- N.A.; WARDLAW, J. 2013. Associations between level and change in physical function and brain volumes. *Plos One*. 8(11):1-9.
7. ÁVILA, J.; GUTIERRES, J.; SHEEHY, M.; LOFGREN, I.; DELMONICO, M. 2010. Effect of moderate intensity resistance training during weight loss on body composition and physical performance in overweight older adults. *European J. Applied Physiology*. 109(3):517-525.
  8. BAPTISTA, F.; SANTOS, D.; SILVA, A.; MOTA, J.; SANTOS, R.; VALE, S.; SARDINHA, L. 2012. Prevalence of the portuguese population attaining sufficient physical activity. *Medicine Science Sports Exercise*. 44(3):466-473.
  9. BERRYMAN, N.; BHERER, L.; NADEAU, S.; LAUZIÈRE, S.; LEHR, L.; BOBEUF, F.; BOSQUET, L. 2013. Executive functions, physical fitness and mobility in well-functioning older adults. *Experimental Gerontology*. 48(12):1402-1409.
  10. BIRNIE, K.; BEN-SHLOMO, Y.; HOLLY, J.; GUNNELL, D.; EBRAHIM, S.; BAYER, A.; MARTIN, R. 2012. Associations of insulin and insulin-like growth factors with physical performance in old age in the boyd orr and caerphilly studies. *Plos one*. 7(1):1-9.
  11. BRINKLEY, T.E.; LENG, X.; MILLER, M.E.; KITZMAN, D.W.; PAHOR, M.; BERRY, M.J.; MARSH, A.P.; KRITCHEVSKY, S.B.; NICKLAS, B.J. 2009. Chronic inflammation is associated with low physical function in older adults across multiple comorbidities. *J. Gerontology Series A Biological Sciences and Medicine Sciences*. 64(4):455-461.
  12. BROVOLD, T.; SKELTON, D.; BERGLAND, A. 2013. Older adults recently discharged from the hospital: effect of aerobic interval exercise on health-related quality of life, physical fitness, and physical activity. *J. Am. Geriatrics Society*. 61(9):1580-1585.
  13. BUENO, D.; MARUCCI, M.; ROEDIGER, M.; GOMES, I.; DUARTE, Y.; LEBRÃO, M. 2016. Nível de atividade física, por acelerometria, em idosos do município de são paulo: estudo sabe. *Rev. Brasileira Medicina do Esporte*. 22(2):108-112.
  14. CASPERSEN, C.; POWELL, K.; CHRISTENSON, G. 1985. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Reports*. 100(2):126-131.
  15. CERIN, E.; BARNETT, A.; SIT, C.; CHEUNG, M.; LEE, L.; HO, S.; CHAN, W. 2011. Measuring walking within and outside the neighborhood in Chinese elders: reliability and validity. *Biomed Central Public Health*. 11(851):1-10.
  16. CERIN, E.; SIT, C.; BARNETT, A.; CHEUNG, M.; CHAN, W. 2013. Walking for recreation and perceptions of the neighborhood environment in older chinese urban dwellers. *J. Urban Health*. 90(1):56-66.
  17. CHAN, B.; MARSHALL, L.; WINTERS, K.; FAULKNER, K.; SCHWARTZ, A.; ORWOLL, E. 2007. Incident fall risk and physical activity and physical performance among older men: the osteoporotic fractures in men study. *Am. J. Epidemiology*. 165(6):696-703.
  18. CRAFT, L.; ZDERIC, T.; GAPSTUR, S.; VANITERSON, E.; THOMAS, D.; SIDDIQUE, J.; HAMILTON, M. 2012. Evidence that women meeting physical activity guidelines do not sit less: an observational inclinometry study. *Int. J. Behav. Nutrition Physical Activity*. 9(1):1-9.
  19. CURCIO, C.; GÓMEZ, F.; OSORIO, J.; ROSSO, V. 2009. Caídas recurrentes en ancianos. *Acta Médica Colombiana*. 34(3):103-110.
  20. DAVIS, M.; FOX, K. 2007. Physical activity patterns assessed by accelerometry in older people. *European J. Applied Physiology*. 100(5):581-589.
  21. DELMONICO, M.J.; ZMUDA, J.M.; TAYLOR, B.C.; CAULEY, J.A.; HARRIS, T.B.; MANINI, T.M.; SCHWARTZ, A.; LI, R.; ROTH, S.M.; HURLEY, B.F.; BAUER, D.C.; FERRELL, R.E.; NEWMAN, A.B. 2008. Association of the ACTN3 genotype and physical functioning with age in older adults. *J. Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*. 63(11):1227-1234.
  22. DYER, C.; GOODWIN, J.; PICKENS-PACE, S.; BURNETT, J.; KELLY, P. 2007. Self-neglect among the elderly: a model based on more than 500 patients seen by a geriatric medicine team. *Am. J. Public Health*. 97(9):1671-1676.
  23. DYRSTAD, S.; HANSEN, B.; HOLME, I.; ANDERSSON, S. 2014. Comparison of self-reported versus accelerometer-measured physical activity. *Medicine Science Sports Exercise*. 46(1):99-106.
  24. FJELDSOE, B.; WINKLER, E.; MARSHALL, A.; EAKIN, E.; REEVES, M. 2013. Active adults recall their

- physical activity differently to less active adults: test-retest reliability and validity of a physical activity survey. *Health Promotion J. Australia*. 24(1):26-31.
25. FOX, K.; STATHI, A.; MCKENNA, J.; DAVIS, M. 2007. Physical activity and mental well-being in older people participating in the better ageing project. *European J. Applied Physiology*. 100(5):591-602.
  26. FREEDMAN, V.; KASPER, J.; SPILLMAN, B.; AGREE, E.; MOR, V.; WALLACE, R.; WOLF, D. 2014. Behavioral adaptation and late-life disability: a new spectrum for assessing public health impacts. *Am. J. Public Health*. 104(2):88-94.
  27. GOMEZ, J.; CURCIO, C.; ALVARADO, B.; ZUNZUNEGUI, M.; GURALNIK, J. 2013. Validity and reliability of the short physical performance battery (SPPB): a pilot study on mobility in the Colombian Andes. *Colombia Medica*. 44(3):165-171.
  28. GRANGER, C.; MCDONALD, C.; IRVING, L.; CLARK, R.; GOUGH, K.; MURNANE, A.; DENEHY, L. 2014. Low physical activity levels and functional decline in individuals with lung cancer. *Lung Cancer J*. 83(2):292-299.
  29. GUDLAUGSSON, J.; GUDNASON, V.; ASPELUND, T.; SIGGEIRSDOTTIR, K.; OLAFSDOTTIR, A.S.; JONSSON, P.V.; JOHANNSSON, E. 2012. Effects of a 6-month multimodal training intervention on retention of functional fitness in older adults: a randomized-controlled cross-over design. *Int. J. Behavioral Nutrition Physical Activity*. 10(9):1-11.
  30. GUEDES, D.P.; HATMANN, A.; MARTINI, F.; BORGES, M.; BERNARDELLI, R. 2012. Quality of life and physical activity in a sample of brazilian older adults. *J. Aging and Health*. 24(2):212-226.
  31. GUIRAO-GORIS, J.; CABRERO-GARCÍA, J.; PINA, J.; MUÑOZ-MENDOZA, C. 2009. Revisión estructurada de los cuestionarios y escalas que miden la actividad física en los adultos mayores y ancianos. *Rev. Gaceta Sanitaria*. 23(4):51-67.
  32. GURALNIK, J.; SIMONSICK, E.; FERRUCCI, L.; GLYNN, R.; BERKMAN, L.; BLAZER, D.; SCHERR, P.; WALLACE, R. 1994. A short physical performance battery assessing lower extremity function: association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission. *J. Gerontology*. 49(2):85-94.
  33. HALL, K.; HOWE, C.; RANA, S.; MARTIN, C.; MOREY, M. 2013. METs and accelerometry of walking in older adults: standard versus measured energy cost. *Medicine Science Sports and Exercise*, 45(3):574-582.
  34. HAMRIK, Z.; SIGMUNDOVA, D.; KALMAN, M.; PAVELKA, J.; SIGMUND, E. 2014. Physical activity and sedentary behaviour in Czech adults: results from the GPAQ study. *European J. Sport Science*. 14(2):193-198.
  35. HANSEN, A.W.; BEYER, N.A.M.; FLENSBORG-MADSEN, T.; GRØNBÆK, M.; HELGE, J.W. 2013. Muscle strength and physical activity are associated with self-rated health in an adult Danish population. *J. Preventive Medicine*. 57(6):792-798.
  36. HARDY, R.; COOPER, R.; AIHIE SAYER, A.; BENSLOMO, Y.; COOPER, C.; DEARY, I.; KUH, D. 2013. Body mass index, muscle strength and physical performance in older adults from eight cohort studies: the HALCyon programme. *Plos one*. 8(2):1-13.
  37. HELMERHORST, H.; BRAGE, S.; WARREN, J.; BESSON, H.; EKELUND, U. 2012. A systematic review of reliability and objective criterion-related validity of physical activity questionnaires. *Int. J. Behavioral Nutrition and Physical Activity* 9(1):103-158.
  38. HICKS, G.; SIMONSICK, E.; HARRIS, T.; NEWMAN, A.; WEINER, D.; NEVITT, M.; TYLAVSKY, F. 2005. Cross-sectional associations between trunk muscle composition, back pain, and physical function in the health, aging and body composition study. *J. Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*. 60(7):882-887.
  39. HIGASHIBATA, T.; HAMAJIMA, N.; NAITO, M.; KAWAI, S.; YIN, G.; SUZUKI, S.; KITA, Y.; NIIMURA, H.; IMAIZUMI, T.; OHNAKA, K.; ARISAWA, K.; SHIGETA, M.; ITO, H.; MIKAMI, H.; KUBO, M.; TANAKA, H.; WAKAI, K. 2012. eNOS genotype modifies the effect of leisure-time physical activity on serum triglyceride levels in a japanese population. *J. Lipids Health and Disease*. 11:150-158.
  40. HURTIQ-WENNLÖF, A.; HAGSTRÖMER, M.; OLSSON, L. 2010. The International Physical Activity Questionnaire modified for the elderly: aspects of validity and feasibility. *Public Health Nutrition*, 13(11):1847-1854.

41. JEROME, G.; GLASS, T.; MIELKE, M.; XUE, Q.; ANDERSEN, R.; FRIED, L. 2006. Physical activity participation by presence and type of functional deficits in older women: The Women's Health and aging studies. *J. Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*. 61(11):1171-1176.
42. KORTEBEIN, P.; SYMONS, T.; FERRANDO, A.; PADDON-JONES, D.; RONSEN, O.; PROTAS, E.; EVANS, W. 2008. Functional impact of 10 days of bed rest in healthy older adults. *J. Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*. 63(10):1076-1081.
43. KU, P.; FOX, K.; CHEN, L.; CHOU, P. 2012. Physical activity and depressive symptoms in older adults: 11-year follow-up. *Am. J. Preventive Medicine*. 42(4):355-362.
44. LANDINEZ PARRA, N.; CONTRERAS VALENCIA, K.; CASTRO VILLAMIL, Á. 2012. Proceso de envejecimiento, ejercicio y fisioterapia. *Rev. Cubana de Salud Pública*. 38(4):562-580.
45. MANTY, M.; HEINONEN, A.; LEINONEN, R.; TORMAKANGAS, T.; HIRVENSALO, M.; KALLINEN, M.; RANTANEN, T. 2009. Long-term effect of physical activity counseling on mobility limitation among older people: a randomized controlled study. *J. Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*. 64(1):83-89.
46. MATHIAS, S.; NAYAK, U.; ISAACS, B. 1986. Balance in elderly patients: the "get-up and go" test. *Archives Physical Medicine and Rehabilitation*. 67(6):387-389.
47. MONTERO MENDOZA, S., PELEGRÍN MOLINA, M.A. 2010. Revisión de las escalas de valoración de las capacidades funcionales en la enfermedad de Alzheimer. *Fisioterapia*. 32(3):131-138.
48. MONTERO-ODASSO, M.; SCHAPIRA, M.; SORIANO, E.; VARELA, M.; KAPLAN, R.; CAMERA, L.; MAYORGA, L. 2005. Gait velocity as a single predictor of adverse events in healthy seniors aged 75 years and older. *J. Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*. 60(10):1304-1309.
49. MOORE, S.; PATEL, A.; MATTHEWS, C.; BERRINGTON DE GONZALEZ, A.; PARK, Y.; KATKI, H.; LEE, I. 2012. Leisure time physical activity of moderate to vigorous intensity and mortality: a large pooled cohort analysis. *Journal plos medicine*. 9(11):1-14.
50. MOSALLANEZHAD, Z.; HÖRDER, H.; SALAVATI, M.; NILSSON-WIKMAR, L.; FRÄNDIN, K. 2012. Physical activity and physical functioning in Swedish and Iranian 75-year-olds—A comparison. *Archives Gerontology and Geriatrics*. 55(2):422-430
51. MUELLER, M.; BREIL, F.; VOGT, M.; STEINER, R.; LIPPUNER, K.; POPP, A.; DAPP, C. 2009. Different response to eccentric and concentric training in older men and women. *European J. Applied Physiology*, 107(2):145-153.
52. OJEDA, G.; ORDÓÑEZ, M.; OCHOA, L. 2011. Encuesta nacional de demografía y salud: Profamilia, Ministerio de la Protección Social. Disponible desde Internet en: <http://profamilia.org.co/docs/ENDS%202010.pdf> (con acceso 27/11/2016).
53. PARDO, A.; ROMAN-VINAS, B.; RIBAS-BARBA, L.; ROURE, E.; VALLBONA, C.; SERRA-MAJEM, L. 2014. Health-enhancing physical activity and associated factors in a Spanish population. *J. Sciences Medical Sport*. 17(2):188-194.
54. PARK, H.; PARK, S.; SHEPHARD, R.; AOYAGI, Y. 2010. Yearlong physical activity and sarcopenia in older adults: the nakanajo study. *European J. Applied Physiology*. 109(5):953-961.
55. PARK, S.; PARK, H.; TOGO, F.; WATANABE, E.; YASUNAGA, A.; YOSHIOUCHI, K.; AOYAGI, Y. 2008. Year-long physical activity and metabolic syndrome in older japanese adults: cross-sectional data from the Nakanajo Study. *J. Behavioral Nutrition and Physical Activity*. 63(10):1119-1123.
56. PATERSON, D.; WARBURTON, D. 2010. Physical activity and functional limitations in older adults: a systematic review related to Canada's physical activity guidelines. *Int. J. Behavioral Nutrition and Physical Activity*. 7(1):38.
57. POPA, M.; BRANCH, L.; ANDEL, R. 2008. The white-black disability gap revisited: does an incident heart attack change this gap? *J. Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*. 63(4):420-425.
58. PUTHOFF, M.; NIELSEN, D. 2007. Relationships among impairments in lower-extremity strength and power, functional limitations, and disability in older adults. *Physical Therapy J*. 87(10):1334-1347.
59. REGAZZONI, C.; ZAMORA, R.; PETRUCCI, E.; PISAREVSKY, A.; SAAD, A.; DE MOLLEIN, D.;

- PODEROSO, J. 2008. Hospital and 1-year outcomes of septic syndromes in older people: a cohort study. *J. Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*. 63(2): 210-212.
60. REJESKI, W.; MARSH, A.; CHMELO, E.; PRESCOTT, A.; DOBROSIELSKI, M.; WALKUP, M.; KRITCHEVSKY, S. 2009. The lifestyle interventions and independence for elders pilot (LIFE-P): 2-year follow-up. *J. Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*. 64(4):462-467.
61. RIKLI, R.; JONES, C. 2001. Senior fitness test manual: Human kinetics. . Disponible desde Internet en: <https://books.google.com.co/books?id=NXfXxOFFOVwC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false> (con acceso 30/11/2016).
62. RÚBIO, C.; TOMÁS, A.; MURO, B. 2017. Validity, Reliability and Associated Factors of the International Physical Activity Questionnaire Adapted to Elderly (IPAQ-E). *Rev. Española Salud Pública*. 91:1-12.
63. SERRA, A.; SANTOS, L.; GOMES, S. 2014. Nível de dependência e qualidade de vida da população idosa. *Rev. Brasileira de Enfermagem*. 67(6):913-918.
64. SOLER, P.; HIDALGO, J.; RIZOS, L.; JURADO, P.; NOGUERAS, I.; REQUENA, J. 2012. Valores normativos de instrumentos de valoración funcional en ancianos españoles: estudio FRADEA. *Rev. Atención Primaria*. 44(3):162-171.
65. STRATH, S.; GREENWALD, M.; ISAACS, R.; HART, T.; LENZ, E.; DONDZILA, C.; SWARTZ, A. 2012. Measured and perceived environmental characteristics are related to accelerometer defined physical activity in older adults. *Int. J. Behavioral Nutrition and Physical Activity*. 9(40):1-9.
66. TEYCHENNE, M.; BALL, K.; SALMON, J. 2012. Promoting physical activity and reducing sedentary behavior in disadvantaged neighborhoods: a qualitative study of what women want. *Plos one*, 7(11):1-8
67. TOLOZA, S.; GÓMEZ-CONESA, A. 2007. El Cuestionario Internacional de Actividad Física. Un instrumento adecuado en el seguimiento de la actividad física poblacional. *Rev. Iberoamericana de Fisioterapia y Kinesiología*. 10(1):48-52.
68. TRIGÁS-FERRÍN, M., FERREIRA-GONZÁLEZ, L., MEIJIDE-MÍGUEZ, H. 2011. Escalas de valoración funcional en el anciano. *Galicia Clínica*. 72(1):11-16.
69. TSUNODA, K.; TSUJI, T.; KITANO, N.; MITSUISHI, Y.; YOON, J.; YOON, J.; OKURA, T. 2012. Associations of physical activity with neighborhood environments and transportation modes in older Japanese adults. *J. Preventive Medicine*. 55(2):113-118.
70. VALENTINE, R.; WOODS, J.; MCAULEY, E.; DANTZER, R.; EVANS, E. 2011. The associations of adiposity, physical activity and inflammation with fatigue in older adults. *J. Brain, Behavior, and Immunity*. 25(7):1482-1490.
71. VESTERGAARD, S.; NAYFIELD, S.; PATEL, K.; ELDADAH, B.; CESARI, M.; FERRUCCI, L.; GURALNIK, J. 2009. Fatigue in a representative population of older persons and its association with functional impairment, functional limitation, and disability. *J. Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*. 64(1):76-82.
72. VOLPATO, S.; CAVALIERI, M.; GUERRA, G.; SIOULIS, F.; RANZINI, M.; MARALDI, C.; GURALNIK, J. 2008. Performance-based functional assessment in older hospitalized patients: feasibility and clinical correlates. *J. Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*. 63(12):1393-1398.
73. WELLMAN, N.; KAMP, B.; KIRK-SANCHEZ, N.; JOHNSON, P. 2007. Eat better & move more: a community-based program designed to improve diets and increase physical activity among older Americans. *Am. J. Public Health*. 97(4):710-717.
74. YOSHIDA, D.; NINOMIYA, T.; DOI, Y.; HATA, J.; FUKUHARA, M.; IKEDA, F.; KIYOHARA, Y. 2012. Prevalence and causes of functional disability in an elderly general population of Japanese: the Hisayama study. *J. Epidemiology*. 22(3):222-229.

Recibido: Marzo 21 de 2017

Aceptado: Noviembre 20 de 2017

#### Cómo citar:

Benavides R., C.L.; García G., J.A.; Fernández O. J.A.; Rodrigues B., D.; Ariza J., J.F. 2017. Condición física, nivel de actividad física y capacidad funcional en el adulto mayor: instrumentos para su cuantificación. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(2): 255-265





# TENDENCIA ESPACIAL Y TEMPORAL DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EN EL VALLE GEOGRÁFICO DEL RÍO CAUCA

## SPATIAL AND TEMPORAL TRENDS OF EXTREME CLIMATE EVENTS IN GEOGRAPHICAL VALLEY OF CAUCA RIVER

Daniel Elías Cuartas<sup>1</sup>, Diana María Caicedo<sup>2</sup>, Delia Ortega<sup>3</sup>, Faisury Cardona<sup>4</sup>,  
Yesid Carvajal<sup>5</sup>, Fabián Méndez<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Geógrafo. Universidad del Valle, Calle 4B No. 36-140, Edificio 118, espacio 215, Cali - Valle, Colombia, e-mail: daniel.cuartas@correounivalle.edu.co; <sup>2</sup>Médico, Magister en epidemiología. Universidad del Valle, Calle 4B No. 36-140, Edificio 118, espacio 215, Cali - Valle, Colombia, e-mail: dmcaicedo@grupogesp.org; <sup>3</sup>Estadístico, Magister en epidemiología. Universidad del Valle, Calle 4B No. 36-140, Edificio 118, espacio 215. Universidad Santiago de Cali, Calle 5 No. 62-00, Cali - Valle, Colombia, e-mail: dortega@grupogesp.org; <sup>4</sup>Ingeniera Agrícola. Universidad del Valle, Calle 13 No. 100-00, Edificio 344, espacio 2007, Cali - Valle, Colombia, e-mail: faisury.cardona@correounivalle.edu.co; <sup>5</sup>Ingeniero Agrícola, Maestría en suelos y aguas, Maestría en hidrología aplicada, Ph.D. en hidrología y medio. Universidad del Valle, Calle 13 No. 100-00, Edificio 344, espacio 2007, Cali - Valle, Colombia, e-mail: yesid.carvajal@correounivalle.edu.co; <sup>6</sup>Médico, Magister en epidemiología, Ph.D. Public Health. Universidad del Valle, Calle 4B No. 36-140, Edificio 118, espacio 215, Cali - Valle, Colombia, e-mail: fmendez@grupogesp.org

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 267-278, Julio-Diciembre, 2017

### RESUMEN

Los eventos climáticos extremos pueden incrementar la ocurrencia del dengue y de enfermedades diarreicas agudas, en áreas altamente sensibles, con poco nivel de adaptación a condiciones cambiantes, bajo el escenario del cambio climático. El objetivo de este estudio fue describir la tendencia espacial y temporal de los eventos extremos de temperatura y de precipitación en el valle geográfico del río Cauca. Se controló la calidad y la homogenización de los datos climáticos. Se desarrolló un análisis robusto no paramétrico de tendencia de eventos climáticos extremos para precipitación y temperatura. Se analizaron 24 estaciones climatológicas en el Valle geográfico del río Cauca. El análisis regional para precipitación y temperatura mostró una tendencia al incremento de los índices de eventos extremos y el análisis local identificó una distribución no homogénea, en el área de estudio. Los resultados se discutieron en virtud de los posibles impactos en salud, específicamente, para dengue y enfermedad diarreica aguda. El aumento de los días lluviosos y de la cantidad de precipitación podrían generar un aumento en la densidad vectorial y la longevidad larval de *Aedes aegypti*, además causar el desbordamiento de ríos y canales, con combinación de aguas servidas y resuspensión de sólidos, produciendo el aumento de microorganismos patógenos en el agua de consumo. Adicionalmente, la tendencia al incremento de la temperatura podría acortar el ciclo de vida del *Aedes* y

la replicación interna del virus con mayor probabilidad de transmisión del dengue, al mismo tiempo, que aumentaría la sobrevida de bacterias y de protozoos en aguas negras, superficiales y suelo, aumentando la ocurrencia de las EDA.

Palabras clave: Efectos del clima, temperatura, lluvia, descriptores en ciencias de la salud.

### SUMMARY

Extreme climate events can impact the occurrence of dengue and diarrheal diseases. The objective of this paper was to describe the spatial and temporal trend of extreme temperature and precipitation events in the geographical Valley of Cauca River. Quality and homogenization of climate data was monitored. Robust nonparametric trend analysis of extreme weather events for precipitation and temperature was developed. 24 weather stations were analyzed in the geographical Valle del Cauca River. The regional trend analysis showed a trend of increasing rates of extreme events for precipitation and temperature. Meanwhile, local analysis identified that this trend is not homogeneous in the study area. The rise in volume of precipitation and in the number of rainy days can increase *Aedes aegypti*, density and larval longevity and also cause overflowing of rivers and canals, with combination of sewage and resuspension of solids and pathogenic microorganisms in water. In addition, the rise in

temperature shortens *Aedes* life cycle and viral replication in mosquitoes with higher probability of dengue transmission and meanwhile increases the survival of bacteria and protozoa in surface sewage and soil causing more occurrence of EDA.

Key words: Climate effects, temperature, rain, dengue, diarrhea.

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático (CC) es una amenaza para la salud humana y afecta, de manera diferencial, a países de bajos ingresos y a poblaciones vulnerables. Los cambios en la temperatura, la precipitación y la ocurrencia de eventos extremos impactan en diferentes eventos en la salud humana, incluyendo un aumento en la carga de morbilidad y de mortalidad por enfermedades infecciosas (Patz *et al.* 2008).

En la actualidad, se presentan cambios en la tendencia de ocurrencia de eventos climáticos extremos, caracterizados por el incremento en la frecuencia e intensidad de los mismos. El análisis de estos eventos, se encuentra limitado por la calidad de datos disponibles y por las escalas de medición. Adicionalmente, dado que son eventos no esperados tienen el potencial de impactar negativamente la sociedad, por lo que se requiere conocer su ocurrencia y tendencia para evaluar la vulnerabilidad a escala local y desarrollar estrategias de adaptación (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, 2012).

En algunas regiones, sobre todo en países ecuatoriales, como Colombia, se están presentando cambios; en Cundinamarca, se identificó una tendencia creciente en índices de eventos extremos de temperatura y de precipitación a escala trimestral (Montealegre, 2012). Los efectos se sentirán en diferentes dimensiones, como agricultura, ecosistemas, abastecimiento de agua potable, infraestructura y salud, entre otros. En la tercera comunicación nacional de Colombia a la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático, la salud es una de las seis dimensiones empleadas para el análisis de vulnerabilidad y riesgo e identificaron que la salud, a nivel nacional, tiene una amenaza alta (IDEAM *et al.* 2017).

Los nexos entre el clima y los mecanismos de transmisión de las enfermedades infecciosas son múltiples, están especialmente documentados para enfermedades transmitidas por vectores (ETV) (Brunkard *et al.* 2008); no obstante, existen brechas de conocimiento sobre cómo los cambios globales y locales en el clima podrán afectar la incidencia, en las enfermedades infecciosas relacionadas con el agua, como ETV y enfermedades diarreicas agudas (EDA) (Kovats *et al.* 2005; McMichael & Woodruff, 2005).

Al ser eventos en salud complejos en los que intervienen diferentes dimensiones (políticas, económicas, sociales, comportamentales, entre otras), también podrían abarcar cambios en el comportamiento de las personas que aumenten la exposición a la infección (Forero *et al.* 2014); por ejemplo, precipitaciones extremas pueden producir cortes en el suministro de agua, lo que lleva a las personas a almacenar agua y aumentar la posibilidad de existencia de criaderos de *Aedes aegypti* o la contaminación por microorganismos en el agua de consumo. Cai *et al.* (2015) estiman que en los próximos años ocurrirán eventos extremos más intensos y complejos asociados, tanto a La Niña como a El Niño, situación que se convierte en un reto para diversos sectores, entre ellos, la salud.

Para el dengue, una enfermedad causada por un arbovirus y transmitida por mosquitos del género *Aedes* (especies *Ae. aegypti* y *Ae. albopictus*) (Velandia & Castellanos, 2011), la temperatura influencia la tasa de reproducción vectorial y la replicación viral dentro de los mosquitos. Adicionalmente, la precipitación influye en la disponibilidad de criaderos para los mosquitos y en la distribución geográfica (Morin *et al.* 2013). Investigaciones en países tropicales y subtropicales han encontrado asociaciones positivas significativas de los casos de dengue con las variables climáticas y con el fenómeno El Niño Oscilación del Sur – ENOS (Colón-González *et al.* 2013; Chen *et al.* 2012; Naish *et al.* 2014). Adicionalmente, Morin *et al.* (2013) concluyen que dichos resultados dependen de los contextos locales.

Por su parte, para las EDA, aumentos de la precipitación influencia la cantidad de microorganismos patógenos en aguas superficiales y subterráneas, mientras que su disminución puede llevar a una mayor concentración de los patógenos en el agua. Además, incrementos de la temperatura influye en la sobrevida de los microorganismos bacterianos y una menor humedad relativa se ha relacionado con una mayor sobrevida de patógenos virales (Bandyopadhyay *et al.* 2012; Chen *et al.* 2012; Moors *et al.* 2013); lo anterior se presenta, tanto en temporadas lluviosas como secas (Friedrich, 2013).

En este sentido, bajo un proyecto marco que evaluó la vulnerabilidad en salud al cambio climático, el objetivo de este estudio fue describir la tendencia espacial y temporal de eventos extremos de temperatura y de precipitación en el valle geográfico del río Cauca (VGRC) y los resultados se discutieron en términos de los posibles impactos en la ocurrencia de dengue y diarrea.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio. El VGRC está ubicado en el suroccidente colombiano y discurre entre las cordilleras Occidental y

Central; tiene un área aproximada de 18.000km<sup>2</sup>, hasta La Virginia, en Risaralda. Presenta elevaciones que varían entre 900msnm y 4.000msnm. El clima de la región, se rige por diferentes factores que controlan el clima en Colombia y presenta dos temporadas de aumento de lluvias (marzo-mayo y septiembre-noviembre) y dos temporadas donde la lluvia disminuye (diciembre-enero y junio-agosto) (Poveda *et al.* 2011). Estos factores generan una alta variabilidad espacial y temporal del clima en el VGRC y una gran vulnerabilidad a eventos climáticos extremos (Hoyos *et al.* 2012; Reboita *et al.* 2012).

#### Control de calidad y homogenización de datos climáticos.

Los registros históricos diarios de precipitación y de temperatura máxima y mínima, se recopilaban de las bases de datos de entidades públicas y privadas. Se realizó una preselección de estaciones que contenían más del 80% de los datos en sus registros históricos, en diferentes periodos de tiempo (1 estación con datos de temperatura, entre 01/01/1973 – 31/12/2013; 1 estación con datos de precipitación, entre 01/01/1965 – 31/12/2009 y 24 estaciones con datos de temperatura y precipitación, entre 01/01/1998 y 31/12/2013).

Se aplicaron filtros para detectar valores erróneos, como precipitaciones o temperaturas negativas. Las pruebas de tolerancia, se hicieron para valores que resultaron atípicos para 3,5 desviaciones estándar (National Climatic Data Center - NCDC, 1997) y los valores atípicos de cada estación, se compararon con las estaciones vecinas. El análisis de consistencia interna inspeccionó la coherencia entre elementos asociados, como el caso de la temperatura máxima, que no puede ser inferior a la temperatura mínima. La coherencia temporal consistió en la observación de la consistencia de

los datos con cambios esperados, como la ocurrencia del fenómeno ENOS. Finalmente, la coherencia espacial permitió comparar los valores atípicos con estaciones próximas (Aguilar *et al.* 2003). En consecuencia, 25 estaciones fueron descartadas, por tener más del 20% de datos perdidos.

Se realizaron pruebas de homogeneidad en las 24 estaciones y 8 requirieron homogenización. Este procedimiento, se desarrolló con Rclimindex y se empleó una técnica indirecta, por ser datos diarios, que no requirió la creación de una serie de referencia, la detección de puntos de corte y ajustar los datos (Peterson *et al.* 1998), por medio de los módulos RHtest\_dlyPrp y Rclimtool.

Selección de índices de eventos extremos. La selección de índices de eventos climáticos extremos, se realizó a partir de los 27 indicadores descriptivos, propuestos por el Equipo en Detección de Cambio Climático e Índices (ETCCDI, por sus siglas en idioma inglés) y otros 27 índices propuestos para Latinoamérica, por parte por sus siglas en idioma inglés). Los indicadores hacen referencia a la frecuencia, la amplitud y la persistencia (M.G. *et al.* 2009) de los eventos climáticos y están clasificados en 8 categorías: nubosidad, frío, sequía, calor, humedad, lluvia, temperatura y compuestos.

Se realizó una revisión de los índices que pudieran estar relacionados con las condiciones ambientales, que favorecen la ocurrencia de dengue y EDA. Se seleccionaron tres tipos de índices, según su ocurrencia en el tiempo, conteo de días, agregación en días consecutivos y agregación mensual y se calcularon, de acuerdo a la definición en escala mensual TX>TX90P (Tabla 1).

Tabla 1. Indicadores de eventos extremos seleccionados.

Nombre	Definición	Unidades	Indica
CWD	Número máximo mensual de días húmedos consecutivos RR>=1mm	Días	Frecuencia
TWD	Total mensual de días húmedos RR> 1mm	Días	Frecuencia
PRCPTOT	Precipitación mensual total en días húmedos	mm	Magnitud
RX5day	Precipitación máxima mensual en 5 días consecutivos	mm	Magnitud
TDD	Total mensual de días secos RR<1mm	Días	Frecuencia
CDD	Número máximo de días secos consecutivos: RR<1mm	Días	Frecuencia
TN90P	Noches calientes, porcentaje mensual de días en los que la temperatura mínima supera el percentil 90 TN>TN90P	Días	Frecuencia
TX90P	Días calientes, porcentaje mensual de días en los que la temperatura máxima supera el percentil 90 TX>TX90P	Días	Frecuencia
DTR	Media Mensual del rango de temperatura diario	°C	Magnitud
TN	Media mensual de la temperatura mínima diaria	°C	Magnitud
TX	Media mensual de la temperatura máxima diaria	°C	Magnitud

**Estimación de la tendencia.** El análisis de tendencia, se realizó a dos niveles, regional y local. En el análisis regional, observó las tendencias por década, se empleó una estación para temperatura con datos entre 1976 – 2013 y otra estación para precipitación, con datos entre 1965 – 2009; estas son las únicas estaciones con datos de largo plazo, en el área de estudio. El análisis local observó la variación espacial de las tendencias en el área de estudio y empleó 22 estaciones, con datos de precipitación y de temperatura, entre 1998 – 2013.

Para el análisis de tendencia de cada uno de los índices de eventos extremos, se realizó la descomposición de la serie en tendencia y en estacionalidad, a través de la función *stl* en el software R. Este proceso asume que los datos se fraccionan en las diferentes tendencias temporales, empleando procesos de suavización y de regresión local ponderada (Cleveland *et al.* 1990).

Por otro lado, se utilizó un método robusto no paramétrico, dado que el supuesto de normalidad, en este tipo de datos autocorrelacionados temporalmente, no se cumple. Se estimó la pendiente propuesta por Sen (1968), que es un estimador insesgado de la pendiente en una regresión lineal,

cuenta con una alta eficiencia asintótica y es menos sensible a valores extremos; se llevó a cabo en el software R, utilizando el paquete *mbm*. En el análisis, en el nivel local, para cada índice, se elaboró mediante ArcGis, un mapa temático en el que se representaron las estaciones con tendencia positiva o negativa y sin tendencia, así como la significancia un nivel de 0,1.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Tendencias regionales.** En el valle geográfico del río Cauca, los índices de eventos extremos de precipitación muestran una tendencia creciente de la lluvia, tanto en el número de días lluviosos como en la cantidad de precipitación. Los días lluviosos (CWD) y sin lluvias (CDD) consecutivos no presentaron tendencia; el índice del total de días húmedos en el mes (TWD) presentó una tendencia por década positiva (0,492) y significativa, lo que se confirma con la tendencia negativa (-0,456), del total de días secos en el mes (TDD); los índices que brindan información sobre la magnitud de la precipitación parecen estar aumentando para la precipitación mensual máxima, en 5 días consecutivos (RX5DAY-0,612 mm), como para la precipitación mensual total (PRCTOT-1,068 mm), a pesar que dicha tendencia no es significativa (Tabla 2).

Tabla 2. Tendencia mensual en (días/década) de indicadores de eventos extremos de temperatura entre 1975 - 2013 y precipitación entre 1975 – 2009 y número de estaciones en las que la tendencia entre 1998 y 2013 es positiva y significativa, negativa y significativa y no significativa.

Índices de extremos climáticos		Nivel Regional	Nivel Local		
Nombre	Unidades	Tendencia década	# estaciones con tendencia negativa (# estaciones Sig. Al 0.1)	# estaciones con tendencia positiva (# estaciones Sig. Al 0.1)	# estaciones sin tendencia
Precipitación					
CWD	Días	-	0	1 (1)	21
TWD	Días	0,492*	0	6(0)	16
CDD	Días	-	1(0)	0	21
TDD	Días	-0,456*	12(0)	0	10
RX5DAY	mm	0,612	0	20(2)	2
PRCTOT	mm	1,068	0	22(2)	0
Temperatura					
TX90P	%	0,780*	0	15(15)	7
TN90P	%	-	0	22(13)	0
TX	°C	0,132*	10(0)	0	12
TN	°C	0,012*	0	22(13)	0
DTR	°C	0,007*	0	22(16)	0

\* Significancia : 0,05.

Los índices de eventos extremos, basados en la temperatura máxima diaria (TX90P—días calientes, TX—temperatura máxima promedio mensual), presentan tendencia al aumento (0,780 y 0,132, respectivamente), mientras que los basados en la temperatura mínima diaria, como noches cálidas (TN90P), no presenta tendencia y temperatura mínima promedio mensual (TN), muestra una tendencia de 0,012. Por su parte, el rango de la temperatura diurna mensual (DTR) presenta una tendencia significativa de 0,007 (Tabla 2).

Análisis local de índices de extremos de temperatura y precipitación. Todos los índices de precipitación mostraron tendencias positivas o negativas para la precipitación; sin embargo, solo presentaron estaciones significativas los días lluviosos (CWD), la precipitación mensual máxima en 5 días consecutivos (RX5DAY) y la precipitación total (PRCTOT) (Tabla 2).

Los índices de temperatura que representan tendencias al aumento, como el porcentaje mensual de días en los que la temperatura máxima diaria (TX90P) supera el percentil 90, presentan 15 estaciones con tendencia positiva y todas son significativas; las 22 estaciones muestran tendencias positivas para la temperatura máxima y mínima mensual promedio (TX y TN, respectivamente), pero tan solo 13 son significativas. Para la temperatura mínima que supera el percentil 90 (TN90P) fueron 10 estaciones, con tendencia negativa, pero ninguna significativa y el rango (DTR), las 22 estaciones tienen tendencia positiva, con 16 significativas (Tabla 2).

En la figura 1, se presentan las tendencias locales para el CWD, que solo indicó tendencia positiva y significativa al norte del área del estudio; por su parte el TWD presentó algunas estaciones con tendencias positivas, pero no significativas, especialmente, al sur occidente del VGRC. Similarmente, sucede con el CDD y TDD, los cuales, presentaron estaciones con tendencias negativas, pero no significativas. Para el RX5DAY y el PRCTOT, la mayoría de las estaciones muestran tendencia positiva, ubicadas al sur del área de estudio. La dificultad en la identificación de tendencias debe ser abordada en estudios futuros con series, que incluyan un mayor número de años.

Similarmente, en la figura 2, se muestran las tendencias locales para el TX90P, en los que la mayoría de las estaciones ubicadas en el sur y centro del VGRC presentaron tendencias positivas y significativas, lo que sucedió de igual manera con el TX. Por su parte, el TN y el DTR reflejaron tendencia positiva y significativa en más del 50% de las estaciones. De forma contraria, el TN90P mostró tendencias negativas en algunas de las estaciones, pero no significativas. Cabe destacar, que la ausencia de significancia estadística alta no sugiere que la tendencia no es válida; la significancia es una manera de dar respaldo de manera estadística a los resultados; sin em-

bargo, esta dependerá de la longitud de los registros y del porcentaje de datos faltantes.

En Colombia y en Suramérica, se han realizado pocos estudios sobre índices de extremos climáticos, a escala mensual; tradicionalmente, se realizan a escala anual o trimestral, utilizando diferentes métodos, como el RCLimDex, Stardex y Mann-Kendall, para encontrar tendencias que contribuyan a la detección de la variabilidad climática (VC) y el cambio climático.

Los índices de eventos climáticos extremos estimados, a escala mensual, pueden brindar una mayor precisión al momento de estimar correlaciones entre clima, dengue y EDAs, debido a que los ciclos de transmisión de estos eventos en salud ocurren en periodos cortos, según la cadena epidemiológica (Organización Panamericana de la Salud, 2002).

Skansi *et al.* (2013), IDEAM *et al.* (2017) y Rusticucci (2012) analizaron índices de eventos extremos de temperatura, a escala trimestral, en Cundinamarca, Colombia y anual, en toda Suramérica y en Argentina, respectivamente, y encontraron tendencias al incremento para TX, TN y los días calientes (Tx90p), lo que se presenta, de la misma manera en el presente estudio; sin embargo, se presentan diferencias para las noches calientes (TN90p), pues los resultados obtenidos muestran tendencias negativas, mientras que en Skansi *et al.* (2013) y Rusticucci (2012), estas son positivas.

Con respecto a los índices asociados a la precipitación, para la precipitación total anual (PRCPTOT), los resultados muestran tendencias al incremento, lo que coincide con resultados obtenidos por Martín-Puertas *et al.* (2011); sin embargo, estudios realizados, a nivel anual, por Mayorga *et al.* (2011) encontraron una disminución en las tendencias en el sur occidente colombiano para la precipitación total anual, lo que podría indicar que en algunos meses del año las lluvias son más intensas sin ser tan frecuentes, es decir, hay ocurrencia de eventos extremos máximos de precipitación.

En el caso de los días lluviosos consecutivos, muestra tendencias al incremento; estos resultados coinciden con IDEAM *et al.* (2017), aunque las tendencias se calcularon a escala trimestral. Para la cantidad de lluvia acumulada en 5 días consecutivos (Rx5day), las tendencias son positivas y coinciden con estudios realizados para Suramérica, por Skansi *et al.* (2013).

Los eventos climáticos extremos son un factor de riesgo para las enfermedades infecciosas, debido a que los cambios en la temperatura, en la humedad y en el patrón de precipitación, pueden afectar la reproducción, la maduración y la supervivencia de diferentes patógenos (protozoos, bacterias, hongos virus) y vectores, incluido los mosquitos, así como

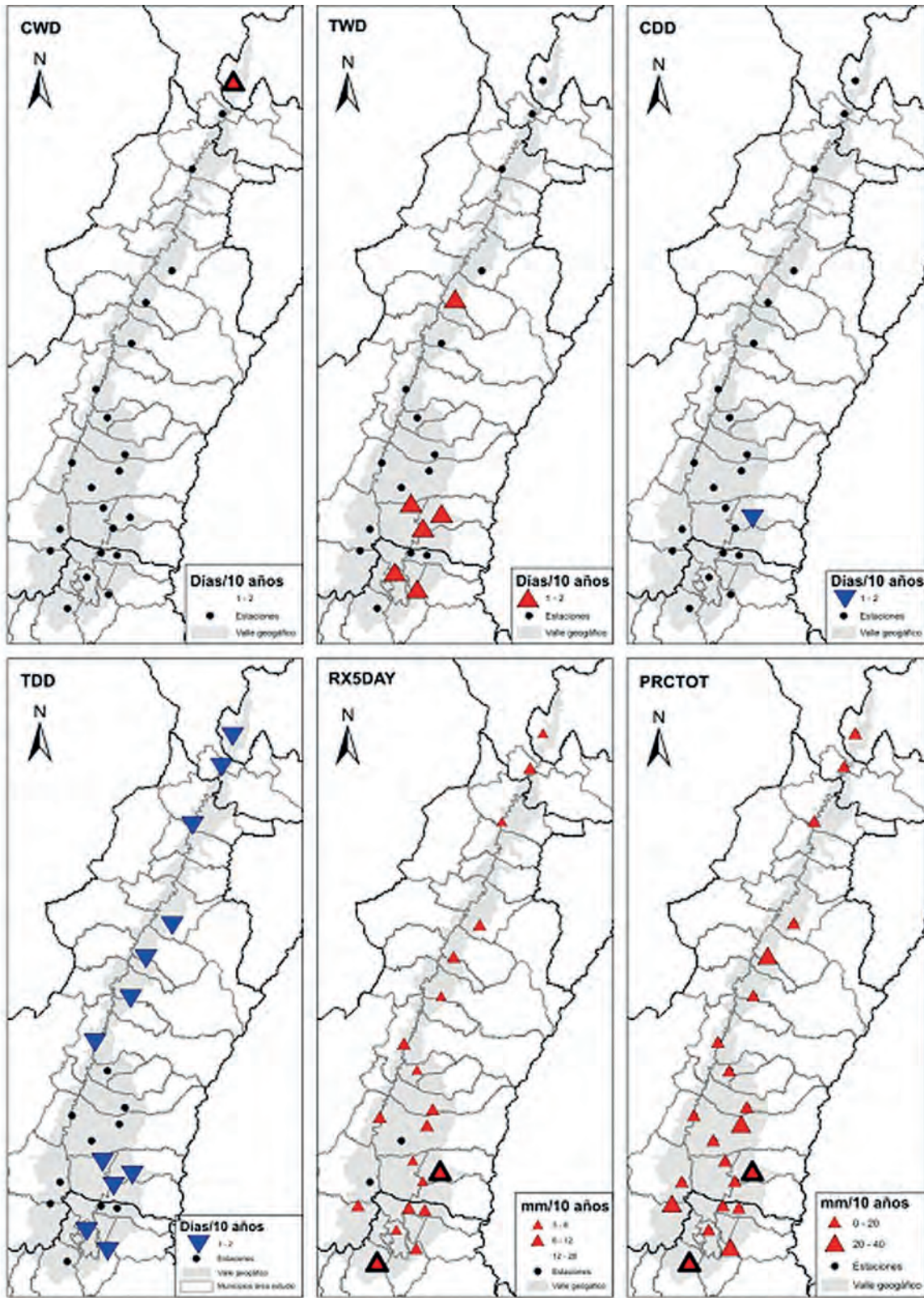


Figura 1. Tendencia local estimada mensualmente para el periodo de 1998 – 2013, para los indicadores de eventos climáticos extremos de precipitación. Los triángulos remarcados son estaciones con tendencias significativas al 0,1.

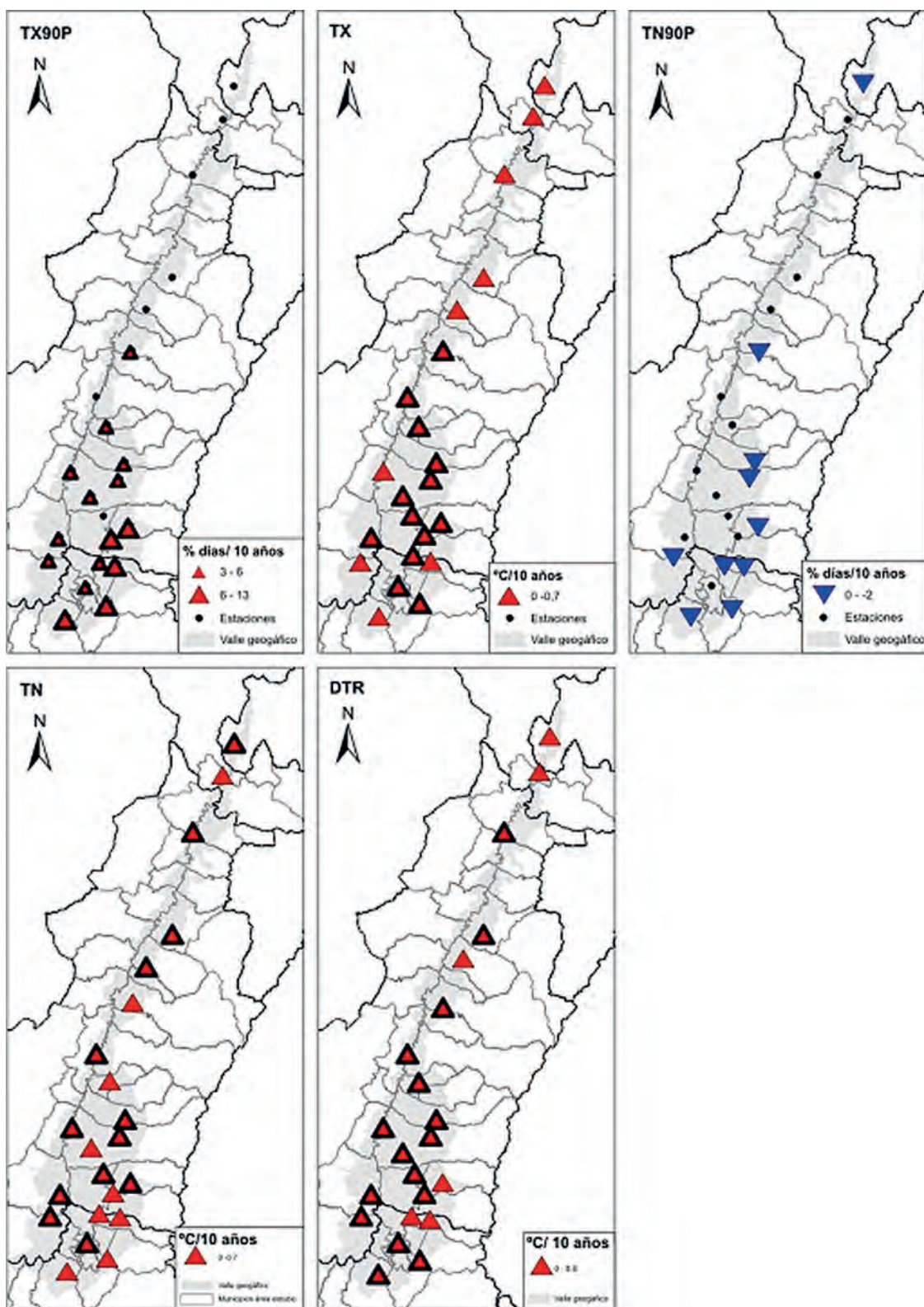


Figura 2. Tendencia local estimada mensualmente para el periodo de 1998 – 2013, para los índices de eventos climáticos extremos de temperatura. Los triángulos remarcados son estaciones con tendencias significativas al 0,1.

la capacidad para infectar a los humanos, resultando en un incremento de enfermedades infecciosas, como el dengue y las EDA (Patz *et al.* 2008) (Tabla 3).

El dengue es una de las prioridades en salud pública mundial, pues se estima que para el 2050, 2.800 millones de habitantes estarán en riesgo de sufrirla (Astrom *et al.* 2012), la cual,

Tabla 3. Efectos posibles en dengue y EDAs, según la tendencia de los eventos climáticos extremos, en el valle geográfico del río Cauca.

Índice	Tendencia	Eventos en Salud	
		Posibles efectos en Dengue	Posibles efectos en EDA´s
Máximo número mensual de días húmedos consecutivos - CWD	Sin tendencia por década.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor densidad vectorial.</li> <li>• Mayor longevidad del vector, incremento de la supervivencia de las larvas.</li> <li>• Cambios en el hábitat, lo que podría generar desplazamientos de la población y por lo tanto del vector.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desbordamiento de aguas residuales.</li> <li>• Escorrentía de excrementos humanos o de animales.</li> <li>• Re-suspensión de sedimentos en el agua, aumento de la concentración y transporte de microorganismos patógenos.</li> </ul>
Total mensual de días húmedos - TWD	Incremento. Espacialmente concentrada al sur del área de estudio		
Precipitación mensual total - PRCP TOT	Incremento. Variación en el VGRC		
Precipitación mensual máxima en 5 días - RX5day	Incremento. Con variación en todo el VGRC		
Máximo número de días secos consecutivos por mes - CDD	Sin tendencia	Disminución en la precipitación podría propiciar la presencia de criaderos, por prácticas de almacenamiento de agua.	Tendencias positivas podrían incidir en el incremento de la concentración de microorganismos patógenos en el agua.
Total mensual de días secos - TDD	Disminución. variación en VGRC		
Porcentaje mensual de noches calientes - TN90P	Sin tendencia por década. Disminución variable en el VGRC	Los aumentos en temperatura en el caso del dengue influencia la tasa de desarrollo de las formas inmaduras del vector, la replicación viral dentro del mosquito, tasa rápida de replicación en un periodo más corto de incubación.	Mayor temperatura podría tener influencia positivamente la sobrevivencia de bacterias en aguas residuales y suelo. Además, por bacterias y protozoos en aguas superficiales. Mientras que disminuye la sobrevivencia de los patógenos virales.
Porcentaje mensual de días calientes - TX90P	Incremento. Concentrada entre el centro y el sur del VGRC		
Promedio del rango mensual de la temperatura - DTR	Leve incremento. Con variación en todo el VGRC		
Promedio mensual de la temperatura mínima - TN	Leve incremento. Con variación en todo el VGRC		
Promedio mensual de la temperatura máxima - TX	Leve incremento. Con variación en todo el VGRC		



se puede incrementar, dado a que las áreas que climáticamente favorecen la ocurrencia de dengue están en aumento (IPCC, 2014). Adicionalmente, en países como México, se proyecta que la incidencia aumentará un 40%, en el 2080, a consecuencia del cambio climático (Colón-González *et al.* 2013). Por su parte, la EDA es la segunda causa de muerte de menores de 5 años y se estimó para el siglo XX que el cambio climático fue la causa de un aumento de 2,4%, en los casos de diarrea, pero además en el 2011, se proyectó un incremento entre 8-11%, en el riesgo de diarrea en áreas tropicales y subtropicales, en el 2039, a consecuencia del cambio climático, usando un escenario A1B (IPCC, 2014).

En cuanto a eventos extremos de precipitación, Chen *et al.* (2012), en Taiwan, encontraron que la incidencia de dengue se ve afectada por niveles de lluvia, hasta de 350mm/día; sin embargo, esta es más alta en eventos de lluvia <130mm/día, mientras que Colón-González *et al.* (2013), en México, encontraron un aumento de la incidencia de la enfermedad, con precipitaciones promedio mensuales, que oscilan entre 500-600mm. En relación a la temperatura, Wu *et al.* (2009) detectaron en Taiwan, como asociaciones más importantes: máxima temperatura mensual ( $R=0,24$ ,  $p<0,05$ ), temperatura mínima mensual ( $R=0,23$ ,  $p<0,5$ ), humedad relativa ( $R=0,2$ ,  $p<0,05$ ), con rezagos de dos meses. Además, hallaron correlaciones significativas entre la precipitación y la incidencia de dengue ( $R=0,37$ ,  $p<0,05$ ).

Los hallazgos del presente estudio muestran una tendencia hacia el aumento del número de días lluviosos y de la cantidad de precipitación. La precipitación tiene el potencial de incrementar la densidad del vector adulto y tendría efecto en la longevidad, al aumentar la supervivencia de las larvas. La humedad generaría un hábitat favorable para el desarrollo del mosquito y aumentaría su sobrevivencia. Por otro lado, las inundaciones ocasionarían cambios en el hábitat, lo que podría generar desplazamientos de la población y, por lo tanto, del vector. Estos fenómenos también ocasionarían la implementación de mayores prácticas de almacenamiento de agua en la población, por disminución de disponibilidad (Halstead, 2008; Morin *et al.* 2013; Naish *et al.* 2014).

Los índices de eventos extremos de temperatura (TX90P-días calientes, TX-Temperatura máxima promedio mensual) presentan tendencia al aumento y pueden generar oleadas de calor, escasez de agua, alta evapotranspiración, entre otras. Por otro lado, favorecen las condiciones para el ciclo de vida de vectores, como el del dengue, además de su presencia en zonas donde históricamente no existían; además, acortan la duración del ciclo de vida del mosquito, que es el tiempo en que ocurre la propagación sistémica del virus, dentro del mosquito. A 32°C, los mosquitos pueden tener 2,6 veces la oportunidad de completar un periodo extrínse-

co, en comparación con temperaturas de 24°C (Halstead, 2008; Morin *et al.* 2013; Naish *et al.* 2014).

Con respecto a las EDA, Moors *et al.* (2013) evaluaron el efecto de cambio climático sobre la incidencia de diarrea en la India, encontrando que el incremento en la temperatura aumentaba la ocurrencia de EDA en 10% y la humedad relativa lo hacía entre el 2 y 4% y al disminuir la precipitación, la incidencia aumenta entre 2 y 8%. De igual forma, Bandyopadhyay *et al.* (2012) muestran que los aumentos en la temperatura máxima aumentan también la prevalencia de EDA, en África Sub-sahariana. En Taiwan, se encontró que un incremento en la precipitación superior a 350mm/día aumentaba la incidencia de diarrea, por disentería bacilar y por virus (Chen *et al.* 2012).

En este sentido, la tendencia de precipitación encontrada podría aumentar el riesgo de desbordamientos de aguas residuales, de escorrentías, de excrementos humanos o de animales, de re-suspensión de sedimentos, lo que aumentaría la concentración y el transporte de microorganismos patógenos y contaminación de las aguas superficiales y subterráneas (Moors *et al.* 2013), lo que lleva al aumento de los niveles de indicadores bacterianos y patógenos, en potenciales aguas de consumo humano. Asimismo, las inundaciones podrían contaminar las aguas subterráneas, por infiltración y por flujo entre las tuberías de alcantarillado y de agua potable.

Las áreas que podrían tener una mayor afectación, se encuentran ubicadas al sur del valle geográfico del río Cauca, que presentan, al mismo tiempo, tendencias crecientes para eventos climáticos extremos de precipitación y de temperatura. Los municipios localizados en esta área deben desarrollar estrategias orientadas a valorar la vulnerabilidad, para desarrollar estrategias de adaptación en salud (Organización Panamericana de la Salud, 2011).

La principal fortaleza de contar con datos de eventos climáticos extremos calculados a nivel mensual es el potencial que estos tienen por encima de los calculados, a nivel anual, para evaluar la relación con eventos en salud, debido a que el proceso de la evolución del dengue y las EDA se presenta a escalas cortas, como las mensuales; sin embargo, aunque los índices calculados, a escala anual, no brindan una relación directa con los eventos de salud, si son una buena base para el estudio de los efectos sobre la salud humana. Es el caso de la variabilidad interanual del fenómeno ENOS, en donde se siguen tendencias en las series históricas, para detectar cambios entre la ocurrencia de eventos en salud y su relación con el clima y el cambio climático.

Futuros estudios deberían analizar correlaciones de series de tiempo de los eventos extremos y de las series de casos de

las enfermedades asociadas a los mismos, así como estudios que relacionan el ENOS con brotes epidémicos (Brunkard *et al.* 2008; Siraj *et al.* 2014). De igual manera, se requieren estudios interdisciplinarios de la relación clima - salud, que aborden las amenazas emergentes relacionadas con la VC y el cambio climático, así como la relación con nuevos virus, como el Zika y el Chikunguña y los impactos de los mismos.

**Agradecimientos:** Al International Development Research Centre – IDRC, a los grupos GESP e IREHISA de la Universidad del Valle, al Programa de Jóvenes Investigadores e Innovadores y programa de generación bicentenario de formación doctoral de COLCIENCIAS; Corporación Regional del Valle del Cauca (CVC), IDEAM y CENICAÑA, por el suministro de la información. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto. **Financiación:** Este estudio fue financiado por International Development Research Centre – IDRC.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, E.; AUER, I.; BRUNET, M.; PETERSON, T.C.; WIERINGA, J. 2003. Guidance on metadata and homogenization. Switzerland: World Meteorological Organization. 1186:53.
- ASTROM, C.; ROCKLOV, J.; HALES, S.; BEGUIN, A.; LOUIS, V.; SAUERBORN, R. 2012. Potential distribution of dengue fever under scenarios of climate change and economic development. *Ecohealth*. (EEUU). 9(4):448-454.
- BANDYOPADHYAY, S.; KANJI, S.; WANG, L. 2012. The impact of rainfall and temperature variation on diarrheal prevalence in Sub-Saharan Africa. *Applied Geography*. (EEUU). 33:63-72.
- BRUNKARD, J.M.; CIFUENTES, E.; ROTHENBERG, S.J. 2008. Assessing the roles of temperature, precipitation, and ENSO in dengue re-emergence on the Texas-Mexico border region. *Salud Pública Mex*. 50(3):227-234.
- CAI, W.; WANG, G.; SANTOSO, A.; MCPHADEN, M.J.; WU, L.; JIN, F.; TIMMERMANN, A.; COLLINS, M.; VECCHI, G.; LENGAINNE, M.; ENGLAND, M.H.; DOMMENGET, D.; TAKAHASHI, K.; GUILYARDI, E. 2015. Increased frequency of extreme La Nina events under greenhouse warming. *Nature Clim. Change*. (EEUU). 5(2):132-137.
- CLEVELAND, R.B.; CLEVELAND, W.S.; MCRAE, J.E.; TERPENING, I. 1990. STL: A seasonal-trend decomposition procedure based on loess. *Official Statistics*. (Poland). 6(1):3-33.
- COLÓN-GONZÁLEZ, F.J.; FEZZI, C.; LAKE, I.R.; HUNTER, P.R. 2013. The effects of weather and climate change on dengue. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. (EEUU). 7(11):e2503.
- CHEN, M.-J.; LIN, C.-Y.; WU, Y.-T.; WU, P.-C.; LUNG, S.-C.; SU, H.-J.; 2012. Effects of extreme precipitation on the distribution of infectious diseases in Taiwan, 1994–2008. *PLoS ONE*. (EEUU). 7(6):e34651.
- FORERO, E.L.; HERNÁNDEZ, Y.T.; ZAFRA, C.A. 2014. Percepción latinoamericana de cambio climático: metodologías, herramientas y estrategias de adaptación en comunidades locales. (Una revisión). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* (Colombia). 17:73-85.
- FRIEDRICH, M.J. 2013. Climate change linked with increase in diarrheal disease. *JAMA*. (EEUU). 309(19):1985-1985.
- HALSTEAD, S.B. 2008. Dengue virus-mosquito interactions. *Ann. Rev Entomol.* (EEUU). 53:273-291.
- HOYOS, I.; BAQUERO, A.; JACOB, D.; RODRIGUEZ, B. 2012. Variability of extreme events in the Colombian pacific and Caribbean catchment basins. *Clim Dyn*. DOI 10.1007/s00382-012-1487-9.
- IDEAM; PNÜD; MADS; DNP; CANCELLERÍA. 2017. Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNÜCC). Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, PNÜD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE –IPCC-. 2012. Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático. p.1-32.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE –IPCC-. 2014. Human Health: impacts, adaptation and Co-benefits. In contribution Wgl, editor. *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability Part A: Global and sectoral aspects*. (EEUU). p.709-754.
- KOVATS, R.S.; CAMPBELL-LENDRUM, A.; MATTHIES, F. 2005. Climate change and human health: estimating avoidable deaths and disease. *Risk analysis*. (EEUU). 25(6):1409-1418.

17. MARTÍN-PUERTAS, C.; DORADO-LINAN, I.; BRAUER, A.; ZORITA E.; VALERO-GARCÉS, B.L.; GUTIÉRREZ, E. 2011. Hydrological evidence for a North Atlantic oscillation during the Little Ice Age outside its range observed since 1850. *Clim. Past Discuss.* 7:4149–4171.
18. M.G., A.; TANK, K; ZWIERS, F.W.; ZHANG. X. 2009. Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. World Meteorological Organization. (Switzerland).
19. MAYORGA, R.; HURTADO, G.; BENAVIDES, H. 2011. Evidencias de cambio climático en Colombia con base en información estadística. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. (Colombia).
20. MCMICHAEL, A.J.; WOODRUFF, R.E. 2005. Climate change and human health. *Encyclopedia of World Climatology.* Springer Netherlands.
21. MONTEALEGRE, E. 2012. Análisis de la variabilidad climática inter-anual (El Niño y La Niña) en la Región Capital, Bogotá Cundinamarca Plan Regional Integral de Cambio Climático Región Capital Bogotá – Cundinamarca (PRICC). p.1-73.
22. MOORS, E.; SINGH, T.; SIDERUS, C.; BALAKRISHNAN, S.; MISHRA, A.; 2013. Climate change and waterborne diarrhoea in northern India: Impacts and adaptation strategies. *Science of the Total Environment.* (Netherlands). 468:S139-S51.
23. MORIN, C.W.; COMRIE, A.C.; ERNST, K. 2013. Climate and dengue transmission: evidence and implications. *Environ. Health Perspect.* (EEUU). 121(11-12):1264-1272.
24. NAISH, S.; DALE, P; MACKENZIE, J.S.; MCBRIDE, J.; Mengersen, K.; TONG, S. 2014. Climate change and dengue: a critical and systematic review of quantitative modelling approaches. *BMC infectious diseases.* (United Kingdom). 14(1):167-181.
25. NATIONAL CLIMATIC DATA CENTER –NCDC-. 1997. 1961 - 1990 WMO global standar Climatic Normals. Disponible desde internet en: <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/normals/wmo/wmo-normals.html> (con acceso 21/07/2014).
26. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. 2002. Módulos de Principios de Epidemiología para el Control de Enfermedades, segunda edición. Washington D.C.: OPS. p.1-46.
27. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. 2011. Lineamientos para evaluar la vulnerabilidad de la salud frente al cambio climático en Colombia: Documento de apoyo para las autoridades de salud en Colombia. Bogotá. p.1-56.
28. PATZ, J.A.; VAVRUS, S.J.; UJIO, C.K.; MCLELLAN, S.L. 2008. Climate change and waterborne disease risk in the Great Lakes Region of the U.S. *Am. J. Preventive Medicine.* (EEUU). 35(5):451-458.
29. PETERSON, T.C.; EASTERLING, D.R.; KARL, T.R.; GROISMAN, P; NICHOLLS, N.; PLUMMER, N.; VINCENT, L. 1998. Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review. *Int. J. Climatology.* (EEUU). 18(13):1493-1517.
30. POVEDA, G.; ÁLVAREZ, D.; RUEDA, Ó. 2011. Hydroclimatic 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. *Clim. Dyn.* (EEUU). 36(11-12):2233-2249.
31. REBOITA, M.S; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; DA ROCHA, R.P. 2012. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. *Terræ didática* 8(1):34-50.
32. RUSTICUCCI, M. 2012. Observed and simulated variability of extreme temperature events over South America. *Atmospheric Res.* (EEUU). 106:1-17.
33. SEN, PK. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. *J. Am. Statistical Assoc.* (EEUU). 63(324):1379-1389.
34. SIRAJ, A.S.; SANTOS-VEGA, M.; BOUMA, M.J.; YADETA, D.; CARRASCAL, D.R.; PASCUAL, M. 2014. Altitudinal changes in malaria incidence in highlands of Ethiopia and Colombia. *Science.* (EEUU).343(6175):1154-1158.
35. SKANSI, M.M.; BRUNET, M.; SIGRÓ, J.; AGUILAR, E.; AREVALO-GROENING, J.A.; BENTANCUR, O.J.; CASTELLÓN, Y.R.; CORREA, R.L.; JÁCOME, H.; MALHEIROS, A.; ORIA, C.; MAX, A.; SALLONS, S.; VILLAROEEL, C.; MARTINEZ, R.; ALEXANDER, L. 2013. Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. *Global and Planetary Change.* (EEUU). 100:295-307.

36. VELANDIA, M.L.; CASTELLANOS, J.E. 2011 Virus del dengue: estructura y ciclo viral. Infectio. (Colombia). 15:33-43. Recibido: Agosto 24 de 2016  
Aceptado: Octubre 26 de 2017
37. WU, P.C.; LAY, J.G.; GUO, H.R.; LIN, C.Y.; LING, S.C.; SU, H.J. 2009. Higher temperature and urbanization affect the spatial patterns of dengue fever transmission in subtropical Taiwan. Science of the Total Environment. 407(7):2224-2233.

Cómo citar:

Cuartas, D.E.; Caicedo, D.M.; Ortega, D.; Cardona, F.; Carvajal, Y.; Méndez, F. 2017. Tendencia espacial y temporal de eventos climáticos extremos en el valle geográfico del Río Cauca. Rev. U.D.C.A Act.& Div. Cient. 20(2): 267-278.

# EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y ECONÓMICA DE ARVEJA ARBUSTIVA (*Pisum sativum* L.) EN DIFERENTES ÉPOCAS DE SIEMBRA Y SISTEMAS DE TUTORADO

## AGRONOMIC AND ECONOMIC EVALUATION OF PEA (*Pisum sativum* L.) TYPE ARBUSTIVE IN DIFFERENT SEASONS OF SOWING AND TRAINING SYSTEMS

Óscar Eduardo Checa Coral<sup>1</sup>, Jhuliana Estefany Bastidas Acosta<sup>2</sup>, Olga Cristina Narváez Taimal<sup>3</sup>

<sup>1</sup>I.A. Ph.D. Grupo de Investigación en Cultivos Andinos GRICAND, Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño –sede Vipri-, Cra. 36 No. 5-121, bloque 5, oficina 408, San Juan de Pasto - Nariño, Colombia, e-mail: cicagrarias@hotmail.com; <sup>2</sup>I.A. Grupo de Investigación en Cultivos Andinos GRICAND, Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño –sede Vipri-, Cra. 36 No. 5-121, bloque 5, oficina 408, San Juan de Pasto - Nariño, Colombia, e-mail: jhuly0609@gmail.com; <sup>3</sup>I.A. Grupo de investigación en Cultivos Andinos GRICAND, Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño –sede Vipri-, Cra. 36 No. 5-121, bloque 5, oficina 408, San Juan de Pasto - Nariño, Colombia, e-mail: crisnata.91@hotmail.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 279- 288, Julio-Diciembre, 2017

### RESUMEN

En Nariño, la zona cerealista, no cuenta con alternativas de rotación, que permita al agricultor mejorar sus ingresos, romper ciclos de patógenos y diversificar sus sistemas productivos; una posible opción podría ser la arveja arbustiva. En la granja Lope del Sena, seccional Nariño, se evaluó el efecto de época de siembra y sistemas de tutorado, sobre cinco genotipos de arveja arbustiva. Las épocas de siembra correspondieron a marzo (época I), abril (época II) y mayo (época III). En cada periodo, se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con arreglo en parcelas divididas. La parcela principal correspondió a los sistemas de tutorado vertical (TV), horizontal (TH) y al testigo sin tutor (ST) y las subparcelas a cinco genotipos de arveja arbustiva. Las variables evaluadas fueron: días a floración, días a cosecha en verde, peso de vainas, número de vainas por planta, rendimiento y porcentaje de vainas sanas. Se determinó la viabilidad económica de los tratamientos utilizando el análisis de presupuesto parcial. Los resultados indicaron mayores rendimientos en las épocas II y III. Los sistemas TV y TH superaron al sistema ST en porcentaje de vainas sanas (%VS). Las líneas UN6651 y UN5174 sobresalieron en peso de vaina y rendimiento. UN6651 obtuvo la mejor respuesta para %VS. La mayor viabilidad económica en las épocas I y III fue para el sistema sin tutor y en la época II, para los sistemas de tutorado vertical y tutorado horizontal.

Palabras clave: Genotipo, ambiente, rendimiento, sanidad, rentabilidad.

### SUMMARY

In the department of Nariño, the area cultivated in cereals has no rotation alternatives that allow farmers to improve their incomes, in addition to breaking pathogen cycles and diversifying their production systems. A possible option could be shrub pea. In SENA's Lope Farm sectional Nariño, the effect of sowing season and training systems on five genotypes of shrub pea was evaluated. The sowing season corresponded to march (season I), april (season II) and may (season III). A randomized complete block design was used in each period in divided plots. The main plot corresponded to vertical training system (TV), horizontal training system (TH) and any training system (ST), and the subplots to five genotypes of shrub pea. The variables evaluated were: days at flowering, days at harvest in green, pod weight, number of pods per plant, yield and percentage of healthy pods. The viability of the treatments was determined using the partial budget analysis. The results indicated higher yields in seasons II and III. The TV and TH systems exceeded the ST in percentage of healthy pods (%VS). Lines UN6651 and UN5174 stood out in pod green weight and yield. UN6651 got the best response for % VS. The greatest economic viability at seasons I and III was for the any training system and at season II for the systems vertical training and horizontal training.

Key words: Genotype, environment, yield, plant health, profitability.

## INTRODUCCIÓN

Nariño es el principal productor de arveja del país, con un promedio de 48.264t anuales, que representan el 55,2% de la producción nacional (DANE, 2016) y se estima que de este cultivo dependen más de 26.000 productores (Pantoja *et al.* 2014). Las variedades de mayor uso en Nariño son: Obonuco Andina, San Isidro, Sureña y Sindamanoy, las cuales, requieren sistemas de tutorado, que representan cerca del 52% de los costos de producción (Checa & Rodríguez, 2015).

La zona cerealista de Nariño, ubicada entre los 2.000 y 2.800msnm, no cuenta con alternativas de rotación, que le permita mejorar sus ingresos y una posible opción es la producción de arvejas arbustivas, que presenta, como ventajas: menores costos de producción, al no requerir tutorados (Casanova *et al.* 2012); genotipos precoces, con periodos vegetativos mínimos de hasta 90 días y uniformidad en la maduración del producto, que facilita los procesos de recolección y de cosecha en verde. Estas características permiten que las arvejas arbustivas sean incluidas en objetivos de evaluación y de adaptación para ser entregadas al agricultor, siendo una alternativa para las zonas trigueras o de reconversión, donde el productor no cuenta con suficientes recursos económicos.

A la fecha, no se han obtenido variedades mejoradas de arveja arbustiva para el consumo en fresco, en grano seco o para agroindustria en Colombia, siendo un campo de investigación que puede fortalecer los sistemas productivos de los agricultores de la zona fría, del departamento de Nariño. En evaluaciones de cultivares de arveja arbustiva, se estableció que la precocidad es una de las características varietales más sensibles a las condiciones climáticas de un sitio. De igual manera, la temperatura y la precipitación son factores determinantes en la producción y el desarrollo de la arveja, considerándose de gran efecto sobre el rendimiento y sus componentes (González & Ligarreto, 2006). La temperatura óptima para el cultivo de arveja, se encuentra entre 13 y 18°C, mientras que su requerimiento hídrico oscila entre 250 y 380mm de agua bien distribuidos durante el ciclo de cultivo, con mayor demanda durante la etapa de crecimiento y de floración (FENALCE, 2006).

En la búsqueda de arvejas arbustivas, como alternativa productiva, es necesario identificar genotipos de alto rendimiento, determinar la época de siembra más adecuada para su cultivo y establecer la viabilidad del uso de algún tipo de tutorado sencillo, que evite el deterioro de las vainas por enfermedades, como el complejo ascoquita, producido por *Ascochyta* spp. y oidio, producido por *Erysiphe polygoni*. Lo anterior motivó la realización de la presente investigación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** La investigación, se llevó a cabo en las instalaciones de la Granja Lope del Sena, ubicada en el municipio de San Juan de Pasto, departamento de Nariño, a una altitud de 2.612msnm, 01°12'28"N, 77°15'06"W, precipitación promedio anual de 814mm, temperatura promedio anual de 13°C y humedad relativa de 73% (IDEAM, 2016).

**Diseño experimental.** La evaluación incluyó tres épocas de siembra, dos sistemas de tutorado junto al testigo sin tutor y cinco genotipos de arveja arbustiva. Las épocas de siembra correspondieron a la primera semana de marzo, abril y mayo de 2016. En cada época de siembra, se estableció un diseño de bloques completos al azar, con arreglo en parcelas divididas, asignándose –en la parcela principal- los sistemas de tutorado y, en las sub-parcelas, los genotipos de arveja.

En los sistemas de tutorado, se incluyeron los tratamientos de tutorado vertical (TV), tutorado horizontal (TH) o encañastillado y sin tutorado (ST), como testigo. Para establecer los sistemas de tutorado horizontal y vertical, en las unidades experimentales se colocaron estacas con altura, a partir del nivel del suelo, de 1,2m y enterradas a una profundidad de 0,2m. Para el tutorado vertical, en la parte superior de las estacas, se templó fibra plástica gruesa (diámetro 2,5mm) en forma horizontal y las plantas se amarraron con fibra de polipropileno delgada (diámetro 0,5mm), desde la base de la planta hasta el hilo horizontal, que se encontraba templado en la parte superior. Para el tutorado horizontal, una vez ubicadas las estacas en el inicio y final de cada surco, se templaron hilos de polipropileno delgado (diámetro 1,5mm), de forma horizontal, a lado y lado de las plantas, realizándose hasta cuatro hiladas en función al crecimiento de las plantas. Los genotipos de arveja arbustiva evaluados fueron: ILS3566, ILS3572, UN5173, UN5174 y UN665, pertenecientes a la colección de trabajo del programa de mejoramiento genético del Grupo de Investigación en Cultivos Andinos GRICAND, de la Facultad de Ciencias Agrícolas, de la Universidad de Nariño, sede Pasto.

La unidad experimental estuvo constituida por cuatro surcos de 3m de largo, a una distancia de 0,5m entre surco y 0,10m entre sitio, colocando una semilla por sitio y dejando calle de 1m, cada cuatro surcos, para facilitar el manejo agronómico, obteniendo una densidad de 160.000 plantas.ha<sup>-1</sup>. La parcela útil correspondió a los dos surcos centrales de la unidad experimental, descartando los surcos borde y las plantas extremas de cada uno. La respuesta de los sistemas de tutorado y los genotipos en cada época, se contrastaron con variables climáticas de precipitación y de temperatura registradas por la estación meteorológica del Sena, en San Juan de Pasto, en donde se desarrolló la presente investigación.

**Manejo agronómico.** Las labores de cultivo, se realizaron siguiendo las recomendaciones de Buitrago *et al.* (2006). La fertilización, se efectuó a los 15 días después de la siembra, aplicando 7g por planta de 10-30-10, más un fertilizante compuesto de micronutrientes y de nutrientes secundarios, en proporción 5:1. Para el control de malezas, se aplicó un herbicida de ingrediente activo: metribuzina, en dosis de 400 mm.ha<sup>-1</sup>. Por último, se realizó una deshierba manual.

**Variables evaluadas.** Días a floración (DF): desde la fecha de siembra hasta cuando el 50% de las plantas presentó la primera flor abierta; días a cosecha en verde (DC): desde la fecha de siembra hasta cuando el 75% de las plantas presentó las vainas con madurez de cosecha en fresco; altura de la planta (AP): tomada en cinco plantas del área útil y obteniendo su promedio en cm; número de vainas por planta (NVP): resultante del conteo de vainas realizado en todas las plantas de la parcela útil y sacando el promedio; peso de vaina verde (PV): tomado en 10 vainas de cada unidad experimental y sacando su promedio en gramos; rendimiento en vaina verde (RTO): tomando la producción obtenida en la parcela útil y llevándola a t.ha<sup>-1</sup>; porcentaje de vainas sanas (%VS): se obtuvo después de separar las vainas sanas de las vainas afectadas por ascoquita (*Ascochyta pisi*), antracnosis (*Colletotrichum pisi*) y oidio (*Erysiphe polygoni*), llevando luego los datos a porcentaje. Las labores de cosecha para la toma de datos, se realizaron en tres pases.

**Análisis estadístico.** Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza combinado, considerando efectos fijos para todos los factores estudiados (época, tutorado y genotipo). Se tuvo en cuenta la significancia de los factores antes mencionados y sus interacciones. Además, se realizaron pruebas de comparación de medias de Tukey  $P < 0,05$ , para las variables que mostraron diferencias estadísticas en el Anava.

**Análisis económico.** Para determinar los tratamientos de mayor viabilidad económica, se utilizó la metodología de presupuesto parcial (Hernández, 2002). Para tal fin, se calcularon los costos de producción de los sistemas de tutorado en cada época de siembra, de acuerdo a lo observado en la investigación. De igual manera, se llevó a cabo la determinación de ingreso total (IT), a partir del rendimiento ajustado al porcentaje de vainas sanas, asignando el valor comercial del mercado, según su nivel de sanidad. Se realizó el análisis de dominancia de los tratamientos, a partir de sus costos variables de producción y su ingreso neto parcial (IN= IT-CV, donde IN= ingreso neto; IT= ingreso total; CV= costos variables). Los tratamientos no dominados fueron seleccionados y analizados desde el punto de vista económico, teniendo en cuenta la tasa de retorno marginal, que resulta de dividir el incremento en ingreso neto sobre el incremento en

el costo variable, utilizando la siguiente fórmula:  $TRM = 100 \times (\Delta IN / \Delta CV)$  (Hernández, 2002).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Análisis de varianza.** Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,001$  y  $p < 0,05$ ) para los efectos simples de época, en las variables DC, AP, NVP, PV y RTO; tutorado en la variable %VS y línea en DC, AP, NVP, RTO y %VS. También, se registraron diferencias significativas para la interacción doble de época por línea, en los caracteres DC, AP, NVP, PV, RTO y %VS; no se presentó significancia para la interacción triple época por tutorado por línea (Tabla 1). Para el análisis y la discusión de resultados, los efectos simples significativos, solo se tuvieron en cuenta en las variables que no mostraron significancia estadística en las distintas interacciones. La variable días a floración (DF) no se vio afectada por los factores época, tutorado, línea y sus interacciones, lo cual, sugiere que esta variable fue poco afectada por las variaciones bióticas y abióticas presentes en el periodo de evaluación.

**Días a cosecha en verde (DC).** En la interacción época por línea, se observó que, en la época I, el genotipo UN5173 mostró diferencias estadísticas con UN5174. En la época II, UN5173 superó a las demás líneas; ILS3566, por su parte, fue más tardía que ILS3572 y UN5174. En la época III, no se presentaron diferencias significativas (Tabla 2).

Casanova *et al.* (2012) afirman que el período vegetativo en las especies cultivadas está altamente influenciado por la constitución genética de las plantas, existiendo genotipos precoces y tardíos, característica importante para la selección de un material; en este caso, el material con mayor precocidad fue UN5174. En general, en la época I, los genotipos mostraron mayor precocidad que en las épocas II y III, lo cual, se asocia a la menor precipitación observada en el primer mes de cultivo de la época I y su mayor temperatura durante todo su ciclo respecto a las otras dos épocas de siembra (Figura 1). Lo anterior, se puede explicar si se tiene en cuenta que la disminución del ciclo de cultivo se puede dar por acumulación de grados día. De igual manera, en la época III, los genotipos evaluados fueron más precoces que en la época II, debido a la menor precipitación presentada en el último mes de cultivo de la época III.

**Altura de planta (AP).** La interacción época por línea mostró que en la época I, el genotipo UN5173 presentó diferencias significativas frente a UN6651. En la época II, UN5173 mostró mayor altura con respecto a los demás genotipos. En la época III, nuevamente UN5173 registró diferencias estadísticas frente a las demás líneas; UN5174 con 81,62cm, obtuvo un mayor promedio de altura que ILS3572 (Tabla 2).

Tabla 1. Cuadrados medios del Anava para características y componentes de rendimiento en la evaluación agronómica, de cinco líneas de arveja arbustiva, bajo tres sistemas de tutorado, en tres épocas de siembra. San Juan de Pasto, 2016.

Fuente de Variación	gl	DF	DC	AP	NVP	PV	RTO	%VS
Modelo	79	195,56	187,46	1290,55	322,21	2,34	33,69	500,97
Épocas (E)	2	1738,14	3062,96**	24019,96**	4437,01**	15,3**	408,81**	132,83
Bloques	2	604,05	100,84	230,22	471,89	0,64	94,6	55,97
Error A	4	348,9	23,93	51,5	80,74	0,56	15,2	250,29
Tutorados (T)	2	100,31	2,16	221,61	18,52	1,09	19,18	6668,76**
Error B	4	131,27	90,46	120,74	52,61	0,19	3,35	132,72
Líneas (L)	4	263,31	515,04**	1240,35**	733,82**	18,34	18,01*	2222,47**
LxT	8	134,03	62,53	45,69	25,94	0,97	10,15	234,16
Error C	24	109,08	53,27	37,19	26,11	0,56	5,15	235,83
ExT	4	100,1	57,51	95,67	58,59	0,52	8,44	56,07
ExL	8	112,17	145,69**	130,83**	347,28**	2,17**	24,32**	264,06*
ExTxL	16	110	36,24	52,7	35,23	0,71	4,76	124,54
Número de plantas	1	654,9	59,21	5,29	1133,73	0,1	55,86	3,49
Error D	55	87,52	31,11	42,73	51,44	0,51	6,58	179,76
R <sup>2</sup>		0,76	0,90	0,98	0,90	0,87	0,88	0,80
CV (%)		15,14	5,43	10,91	26,41	11,99	26,35	19,01
V <sub>xv</sub>		-0,51	-0,15	-0,05	-0,67	0,01	0,15	0,04

\* = diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ); \*\* = diferencias altamente significativas ( $p \leq 0,01$ ).

DF: días a floración; DC: días a cosecha en vaina verde; AP: altura de planta (cm); NVP: número de vainas por planta; PV: peso de vaina verde (g); RTO: rendimiento ( $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ ); %VS: porcentaje de vainas sanas; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación; CV: coeficiente de variación; V<sub>xv</sub>: covarianza.

En las tres épocas de siembra evaluadas, el genotipo UN5173 presentó mayor altura, mientras que UN6651 siempre estuvo entre los de porte más bajo; lo anterior está relacionado con la constitución genética de los materiales mencionados. Las líneas evaluadas tuvieron menor altura de planta en la época I, debido a la baja humedad a la que se vio enfrentado el cultivo en el primer mes después de la siembra, lo cual, pudo afectar la capacidad de absorción y de translocación de nutrientes en las plantas, reduciendo su desarrollo. Al respecto, Moreno (2009) y Bénézit *et al.* (2017) indican que las plantas con estrés hídrico presentan alteraciones en procesos fisiológicos y metabólicos, como reducción en las tasas de fotosíntesis, disminución de la síntesis de proteínas totales y de las tasas de crecimiento. Los resultados confirman las observaciones realizadas por Georgieva *et al.* (2015), quienes encontraron diferencias significativas para altura de planta en sus estudios de adaptación y de estabilidad en el cultivo de arveja, obteniendo una reacción altamente influenciada por el ambiente, para este carácter.

**Número de vainas por planta (NVP).** En la época I, las líneas UN5173, ILS3572 e ILS3566 fueron significativamente diferentes a UN5174 y UN6651, para número de vainas por planta. En la época II, los genotipos UN6651 y UN5173 mostraron diferencias significativas frente a ILS3566, ILS3572 y UN5174. En la época III, UN5173 fue superior a UN5174 (Tabla 2).

La mejor respuesta de las líneas UN5173, ILS3572 e ILS3566, bajo las condiciones presentadas en la época I (Tabla 2) (Figura 1) sugiere que, en condiciones de baja precipitación en el primer mes del cultivo, estas líneas tuvieron una mejor expresión genética para este carácter respecto a los otros genotipos evaluados. De igual manera, UN5173 y UN6651 obtuvieron promedios de NVP superiores en las épocas II y III, donde las condiciones ambientales fueron de alta precipitación, lo cual, permitió la mejor expresión de su potencial productivo.



Tabla 2. Promedios para la interacción época por línea para las variables días a cosecha en verde (DC), altura de planta (AP) y número de vainas por planta (NVP).

LÍNEA	DC			AP (cm)			NVP		
	Época I	Época II	Época III	Época I	Época II	Época III	Época I	Época II	Época III
UN5173	96,09 A	124,28 A	107,88 A	27,94 A	88,99 A	96,73 A	20,57 A	43,28 A	37,5 A
ILS3566	92,02 AB	113,87 B	107,34 A	22,31 AB	72,19 B	75,05 BC	15,77 A	33,03 B	35,96 AB
ILS3572	90,71 AB	106,16 C	106,47 A	20,88 AB	74,19 B	70,28 C	15,99 A	29,82 B	32,41 AB
UN6651	90,06 AB	108,31 BC	105,39 A	18,37 B	71,36 B	74,51 BC	2,15 B	46,93 A	35,98 AB
UN5174	87,57 B	101,60 C	102,7 A	24,83 AB	79,54 B	81,62 B	5,27 B	25,32 B	27,36 B
<b>Medias época</b>	91,29 C	110,84 A	105,96 B	22,86 B	77,25 A	79,64 A	11,95 B	35,67 A	33,84 A

Medias con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Diferencia honesta significativa de Tukey para días a cosecha (DC) = 7,45; altura de planta (AP) = 8,74 y número de vainas por planta (NVP) = 9,57.

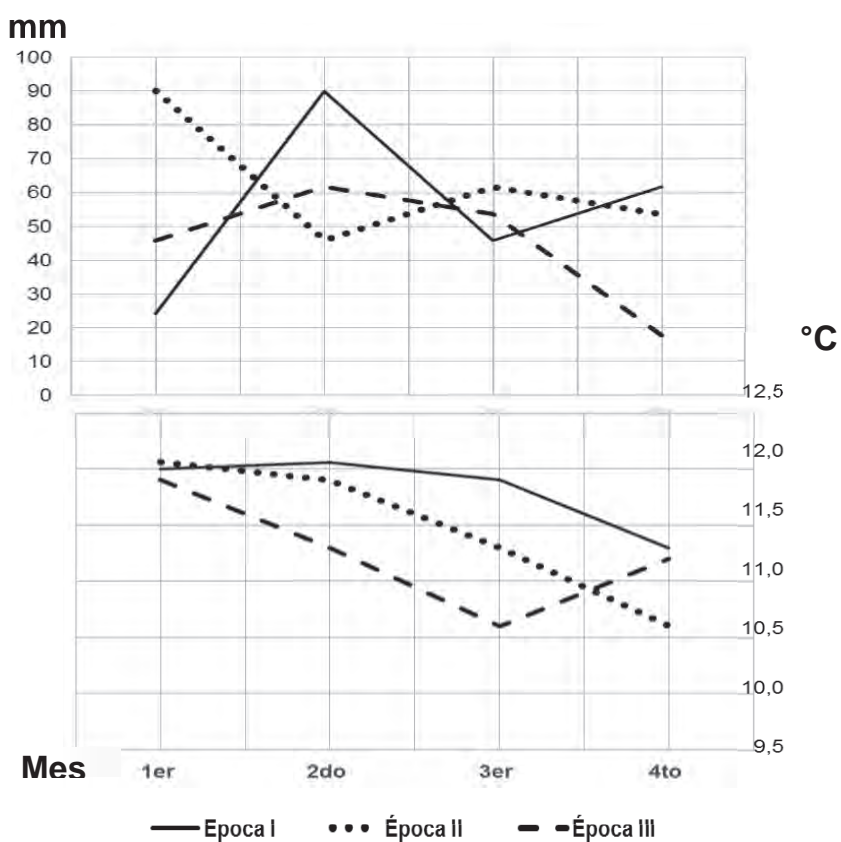


Figura 1. Precipitación y temperatura promedio para el ciclo de cultivo en la época de siembra I (marzo); época II (abril) y época III (mayo).

Es importante resaltar que la línea UN5173 obtuvo el mayor promedio de altura y alta prolificidad en la producción de vainas por planta en las tres épocas, sugiriendo una asociación entre estas variables. Esto es posible, si se tiene en cuenta que, a mayor altura de planta, se puede aumentar la presencia de nudos reproductivos y, en consecuencia, el número de vainas por planta. Lo anterior confirma los resultados obtenidos por Kumar & Roopa (2014) y Esmail *et al.* (2015), quienes encontraron que la altura de la planta esta positivamente correlacionada con el número de vainas por planta.

**Peso de vaina verde (PV).** La interacción época por línea mostró que, en la época I, la línea UN5174 presentó diferencias significativas frente a los demás genotipos; de igual manera, UN6651 superó a ILS3572 e ILS3566. En la época II sobresalieron UN5174 y UN6651, superando a ILS3572, UN5173 e ILS3566. En la época III, UN5174 obtuvo diferencias estadísticas frente a UN5173 e ILS3566; sobresalió también UN6651, que superó a ILS3566 (Tabla 3).

En las tres épocas, las líneas UN5174 y UN6651 se destacaron para peso de vaina con grano, característica que es de especial interés para los productores de esta leguminosa. Según Hallauer *et al.* (2010), el genotipo ideal debe tener el mayor rendimiento u otros rasgos de interés en un amplio rango de ambientes mostrando adaptabilidad general; sin embargo, también es posible seleccionar genotipos con adaptación específica, para determinadas localidades.

Por otra parte, aunque UN5174 mostró un alto promedio de PV, presentó también los menores promedios en NVP. Lo anterior es explicable, si se tiene en cuenta que en los componentes de rendimiento se presentan compensaciones y, con frecuencia, el mejoramiento de una característica conduce a la reducción de otra. Se han encontrado compensaciones entre los componentes de rendimiento (Egli, 2017), por lo tanto, no es inesperado que la selección basada en componentes individuales falle al intentar incrementar el rendimiento total. En este mismo sentido, Pacheco *et al.* (2009)

Tabla 3. Promedios para la interacción época por línea para las variables peso de vaina verde (PV), rendimiento (RTO) y porcentaje de vainas sanas (%VS).

LÍNEA	PV (g)			RTO (ton.ha <sup>-1</sup> )			%VS		
	Época I	Época II	Época III	Época I	Época II	Época III	Época I	Época II	Época III
UN5174	7,95 A	7,83 A	6,19 A	5,90 AB	14,70 AB	10,56 AB	78,21 A	66,79 B	62,08 B
UN6651	6,09 B	7,80 A	5,48 AB	5,64 AB	16,67 A	13,91 A	82,94 A	93,96 A	89,05 A
UN5173	5,61 BC	5,54 B	4,71 BC	8,41 A	12,59 BC	9,57 AB	66,97 A	57,90 B	55,58 B
ILS3572	5,28 C	6,15 B	5,39 ABC	4,44 B	9,96 C	7,59 B	66,49 A	63,89 B	66,06 B
ILS3566	5,05 C	5,30 B	4,56 C	5,84 AB	10,87 BC	9,42 B	68,80 A	72,91 AB	66,16 B
<b>Media época</b>	6,00 A	6,53 A	5,27 B	6,04 B	12,96 A	10,21 A	-	-	-

Medias con letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Diferencia honesta significativa de Tukey para peso de vaina verde (PV) = 0,9; rendimiento (RTO) = 3,43 y porcentaje de vainas sanas (%VS) = 22,43.

afirman que, con seguridad, el incremento en una o más características deseables traerá consigo la pérdida en otras, por lo que no se debe esperar la consecución de plantas de porte bajo altamente rendidoras, con un gran número vainas y semillas grandes, sino un balance de estas características. En arveja se han reportado compensaciones entre el número de vainas por planta y el número de granos por vaina (Moot & Mcneil, 1995) y entre número de semillas por vaina y peso de la semilla (Ligarreto *et al.* 2009).

Los mayores promedios presentados por los genotipos en las épocas I y II para PV están relacionados con la mayor disponibilidad de agua en el periodo de formación de vainas y llenado de grano, es decir, en el tercer y cuarto mes del

cultivo (Figura 1), mientras que en la época III, las plantas estuvieron expuestas a condiciones secas, para el mismo periodo, que es modal en la zona.

**Rendimiento (RTO).** Para la interacción época por línea, en la época I, UN5173 mostró diferencias significativas respecto a ILS3572. En la época II, sobresale la línea UN6651, superando a UN5173, ILS3566 e ILS3572; de igual manera, UN5174 obtuvo mayor rendimiento que ILS3572. En la época III, UN6651 superó a ILS3566 e ILS3572, respectivamente (Tabla 3).

El mejor comportamiento de UN5173 en la época I con respecto a las épocas II y III, indica que es un genotipo que res-

ponde bien a condiciones de estrés por sequía en las primeras etapas del cultivo (Figura 1); esta misma línea obtuvo el mayor promedio de NVP, lo cual, pudo contribuir a su mayor rendimiento. Rasaei *et al.* (2011) y Goa & Ashamo (2014) hallaron una correlación positiva entre el rendimiento y número de vainas por planta. En las épocas II y III sobresalió la línea UN6651, mientras que en la época I obtuvo bajo rendimiento; el resultado sugiere, que UN5173 responde mejor a la primera condición ambiental (época I), mientras que UN6651 es la de mejor respuesta en las otras dos (épocas II y III), caracterizadas por mayor precipitación desde el inicio del cultivo hasta la época de formación de vainas.

Por otra parte, la línea UN5174, a pesar de presentar el menor número de vainas por planta, estuvo entre los mejores promedios de rendimiento en las tres épocas evaluadas, mostrándose promisorio por su consistencia, a través de los ambientes; en contraste, UN5173, que obtuvo un alto NVP en las tres épocas, solo logró alto rendimiento en la época I. Es posible que la energía requerida para lograr un mayor número de vainas por planta, en algunos genotipos, genere un desequilibrio, principalmente, si en ciertas condiciones ambientales se presenta una desadaptación, que provoque la disminución del rendimiento esperado.

Khan *et al.* (2013), en sus estudios de comportamiento morfológico de genotipos de arveja bajo condiciones lluviosas, encontraron rendimientos con un rango entre 3,74 a 10,43t.ha<sup>-1</sup>; lo anterior se cumplió para el promedio general de las épocas I y III, con 6,04 y 10,21t.ha<sup>-1</sup>, respectivamente; sin embargo, en la época II, con 12,96t.ha<sup>-1</sup> los genotipos, superaron este rango. Trabajos de investigación para arvejas arbustivas reportan resultados de rendimiento que van desde los más bajos, como los obtenidos por Mishra (2014), de 5,5t.ha<sup>-1</sup>, hasta los más altos, como los reportados por Celis & Prett (1995), de 20t.ha<sup>-1</sup>.

**Porcentaje de vainas sanas (%VS).** La interacción época por línea mostró que en la época I, los genotipos no presentaron diferencias estadísticas; en la época II, la línea UN6651 mostró mayor porcentaje de sanidad frente a UN5174, ILS3572 y UN5173 y en la época III, UN6651 continuó presentando el mejor porcentaje de vainas sanas, superando a las demás líneas (Tabla 3).

En las tres épocas de siembra evaluadas, se observó la presencia de diferentes fitopatógenos que afectaron la calidad de las vainas. En la época I, se encontraron periodos de baja humedad al inicio del ciclo del cultivo, pero altas precipitaciones al final del mismo, favoreciendo el ataque del complejo de enfermedades foliares causadas por los patógenos, como *Ascochyta pisi* y *Colletotrichum pisi* (Valencia *et al.* 2012). Para las épocas II y III, las constantes precipitaciones alternadas con días soleados en la etapa de llenado de grano

(4to mes), favorecieron en mayor grado el ataque de *Erysiphe polygoni*, en los genotipos más susceptibles. Este patógeno, se ve influenciado por las variaciones de temperatura con presencia de días lluviosos y veranillos cortos (Checa & Rodríguez, 2015). Según Mera *et al.* (2007), la elevada incidencia a enfermedades en ambientes altamente húmedos, conlleva a correr el riesgo de perder una alta proporción de la producción por deterioro de vainas. El mejor comportamiento de UN6651 en porcentaje de sanidad de vainas en comparación con los demás genotipos, permite considerarlo como material promisorio para futuras evaluaciones, por reacción a *E. polygoni*.

Por otra parte, en la fuente de variación tutorado, tanto el sistema vertical (TV) como el sistema horizontal (TH), presentaron el mejor porcentaje de sanidad, superando al testigo sin tutor (ST) (Tabla 4). Los resultados demuestran que los sistemas de tutorado vertical (TV) y horizontal (TH), a diferencia del testigo sin tutor (ST), son una interesante alternativa para lograr vainas más sanas bajo condiciones de alta humedad, al evitar el contacto de las vainas con el suelo, siendo menos afectadas por los patógenos fungosos.

**Análisis económico.** Se realizó, con base en los resultados de rendimiento y de sanidad de vainas de los sistemas de tutorado y el sistema sin tutor en cada una de las tres épocas evaluadas. En el cálculo de los costos variables, se incluyeron los valores de fibra, postes y mano de obra, requeridos en los sistemas de tutorado evaluados, así como también los costos de capital, teniendo en cuenta la tasa de interés anual de 33,5% que, tomada para los cuatro meses de manejo del cultivo, fue del 11,7%.

**Ingreso total e ingreso neto.** Al no observar diferencias estadísticas para el factor tutorado en la variable rendimiento (Tabla 2), se tomó el mismo valor correspondiente al promedio en los tres sistemas y se ajustó por el porcentaje de vainas sanas (%VS), obtenido para cada época (Tabla 5). El valor alcanzado se multiplicó por el precio en el mercado, equivalente a \$2.308/kg de arveja en vaina verde con buena calidad.

**Análisis de dominancia.** Para las épocas I y III, el sistema vertical (TV) y horizontal (TH) resultaron dominados, debido a que el testigo sin tutor (ST) obtuvo mayor ingreso neto, sin aumentar sus costos variables. Para la época II, todos los sistemas resultaron no dominados (Tabla 5).

**Tasa de retorno marginal (TRM).** Para las épocas I y III, en el sistema sin tutor, los ingresos netos de producción de arveja en verde fueron superiores, en comparación con el testigo sin tutor, haciendo de este el sistema más viable económicamente, en comparación con los sistemas de tutorado horizontal y vertical, por lo tanto, no fue necesario realizar

el análisis de la tasa de retorno marginal. En la época II, el análisis económico del presupuesto parcial indicó que, una opción económica favorable para agricultores con recursos limitados, fue el manejo del tratamiento sin tutor, el cual, alcanzó un beneficio neto parcial, de \$16.338.459, sin costos variables por tutorado; sin embargo, si el agricultor está en condiciones económicas para adoptar una nueva tecnología, incrementando los costos variables en \$4.154.346, puede acceder a la siembra de materiales arbustivos bajo el sistema de tutorado horizontal, aumentando sus ingresos netos en \$3.036.603 sobre los ingresos ya obtenidos en el sistema sin tutor, con una tasa de retorno marginal de 73% (Tabla 5). Si se cuenta con mayores recursos es posible pasar al sistema de tutorado vertical, aumentando los costos variables sobre

el sistema anterior (horizontal), en \$105.670, permitiendo incrementar el ingreso neto, en \$268.080 adicionales, lo que representa una TRM adicional de 39%. Los resultados anteriores sugieren que los tutorados en arvejas arbustivas se justifican en condiciones de alta precipitación durante el período de cultivo, porque generan mayores ingresos, como consecuencia de una mayor calidad de la producción. Este es el primer reporte de evaluación de tutorados en arveja arbustiva en Colombia; sin embargo, en arvejas volubles (Fore-ro & Ligarreto, 2009), buscando nuevas alternativas de tuto-rado, comparó el tutorado vertical frente al tutorado en arco, encontrando que, este último, no fue viable económicamen-te, por presentar menor rendimiento y mayores costos.

Tabla 4. Comparación de medias para el factor tutorado, en los sistemas TV: Tutorado vertical; TH: Tutorado horizontal; ST: Testigo sin tutor; en la variable de porcentaje de vainas sanas (%VS).

Sistema	%VS
TV	78,2 A
TH	76,9 A
ST	56,46 B

Promedios con letras distintas indican diferencia significativa, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Tabla 5. Ingreso total, ingreso neto, análisis de dominancia y tasa de retorno marginal (TRM), de los sistemas de tutorado en tres épocas de siembra.

Tratamientos	RTO	RTOC	%San	Ajuste de RTO x %San	IT (\$)	IN (\$)	CV (\$)	Domi-nancia	$\Delta$ IN (\$)	$\Delta$ CV (\$)	TRM	
Época I	ST	5,5	6,04	58,98	3,56	8.220.904	8.220.904	0	ND	-	-	-
	TH	6,1	6,04	78,84	4,76	10.984.614	6.834.735	4.154.346	D	-	-	-
	TV	6,5	6,04	80,23	4,84	11.169.229	6.760.400	4.422.426	D	-	-	-
Época II	TV	13,7	12,95	79,94	10,19	23.528.307	19.373.960	4.422.426	ND	268.080	105.670	39%
	TH	13,3	12,95	78,69	10,35	23.902.057	19.479.630	4.154.346	ND	4.154.346	3.036.603	73%
	ST	11,8	12,95	54,64	7,08	16.337.358	16.337.358	0	ND	-	-	-
Época III	ST	9,9	10,21	73,18	7,48	17.242.332	17.242.332	0	ND	-	-	-
	TV	11,4	10,21	74,42	7,6	17.534.495	13.112.068	4.422.426	D	-	-	-
	TH	9,3	10,21	55,76	5,7	13.137.912	8.983.566	4.154.346	D	-	-	-

RTO: Rendimiento (t.ha-1); RTOC: Rendimiento corregido (t.ha-1); %San: Porcentaje de sanidad; IT: Ingreso total; IN: ingreso neto; CV: Costos variables;  $\Delta$ CV: Incremento en costos variables;  $\Delta$ IN: incremento en el ingreso neto; TRM: Tasa de retorno marginal; D: Dominado; ND: No dominado; TV: Tutorado vertical; TH: Tutorado horizontal; ST: Testigo sin tuto; \$: pesos colombianos.

En conclusión, la línea UN6651 obtuvo los mejores resultados de rendimiento, sanidad, peso de vaina con grano y número de granos por vaina, en las épocas de siembra II (abril) y III (mayo), donde se presentó la mayor disponibilidad de agua para el cultivo. Igualmente, la línea UN5174 mostró mayor precocidad y alto rendimiento, siendo consistente, a través de las tres épocas de siembra. En los sistemas de tutorado horizontal y vertical, se presentaron los mayores promedios de sanidad de vaina. Por otra parte, las épocas de siembra II y III, con condiciones ambientales adecuadas, permitieron la mejor respuesta de rendimiento en las líneas estudiadas. Finalmente, la mayor viabilidad económica la mostró el sistema sin tutorado en las épocas I (marzo a junio) y III (mayo a agosto), de menor precipitación; sin embargo, la tasa de retorno marginal de los tutorados vertical y horizontal fue favorable para el agricultor en la época II (abril a julio), con lluvias más frecuentes.

**Agradecimientos:** Los autores agradecen al Grupo de Cultivos Andinos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño, por su apoyo en el establecimiento de los ensayos de campo; al Centro Internacional de Producción Limpia, Sena Lope Seccional Nariño, por permitir el desarrollo de esta investigación en sus instalaciones y al I.A. M.Sc. Marino Rodríguez, por su asesoría en el diseño experimental y análisis estadístico. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue ejecutado, preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Esta investigación fue financiada por la Vicerrectoría de Investigaciones, Posgrados y Relaciones Internacionales VIPRI, de la Universidad de Nariño, en el 2015.

## BIBLIOGRAFÍA

- BÉNÉZIT, M.; BIARNÈS, V.; JEUFFROY, M.; 2017. Impact of climate and diseases on pea yields: what perspectives with climate change? *Oilseeds & Fats Crops and Lipids*. 24(1):1-9.
- BUITRAGO, E.; DUARTE, C.; SARMIENTO, A. 2006. El cultivo de la arveja en Colombia. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas-FENALCE y Fondo Nacional Cerealista. Produmedios. Bogotá. Colombia. 83p.
- CASANOVA, E.; SOLARTE, J.; CHECA, O. 2012. Evaluación de cuatro densidades de siembra en siete líneas promisorias de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.). *Rev. Ciencias Agrícolas*. 29(2):129-140.
- CELIS, A.; PRETT, G. 1995. Producción estival de arvejas en la costa interior en la Décima Región. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín Técnico Remehue. No. 232. Chile. 12p.
- CHECA, O.; RODRÍGUEZ, M. 2015. Resistencia a oídio *Erysiphe polygoni* y rendimiento en arveja afila *Pisum sativum* L. *Rev. Temas Agrarios*. 20(2):58-71.
- DANE. 2016. Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria: El cultivo de arveja en Colombia. Boletín mensual No.53. Disponible desde Internet en: [www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol\\_Insumos\\_nov\\_2016.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_nov_2016.pdf) (con acceso 10/06/2017).
- EGLI, D.B. 2017. Seed biology and yield of grain crops. CABI. University of Kentucky. USA. 78p. DOI: 10.1079/9781780647708.0000.
- ESMAIL, S.; ABDULKHALEQ, D.; HAMA, T.; KAREM, O. 2015. Correlation and path coefficient analysis in seven field pea (*Pisum sativum* L.) genotypes created by half diallel analysis in sulaimani region for f2 generation. *Intern. J. Plant, Animal and Environmental Sc.* 5(4):93-97.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE CEREALES Y LEGUMINOSAS –FENALCE-. 2006. El cultivo de la arveja en Colombia. Primera edición. Produmedios: Bogotá, D. C. 83 p.
- FORERO, A.; LIGARRETO, G. 2009. Evaluación de dos sistemas de tutorado para el cultivo de la arveja vobule (*Pisum sativum* L.) en condiciones de la Sabana de Bogotá. *Sociedad Colombiana De Ciencias Hortícolas-Scch*, 81. DOI: <https://doi.org/10.17584/rcch.2009v3i1.1201>.
- GEORGIEVA, N.; NIKOLOVA, I.; KOSEV, V. 2015. Adaptation and stability of field peas (*Pisum sativum* L.) cultivars. *J. Global Agriculture and Ecology*. 3(1):1-10.
- GOA, Y.; ASHAMO, M. 2014. Evaluation of field pea (*Pisum sativum* L.) genotypes performance for yield and yield components at five growing environments of southern Ethiopia. *Current Res. Agric. Sc.* 1(3):65-76.
- GONZÁLEZ, F.; LIGARRETO, G. 2006. Rendimiento de ocho genotipos promisorios de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.) bajo sistema de agricultura protegida. *Fitotecnia Col.* 6(2):52-61.
- HALLAUER, A.; CARENA, M.; MIRANDA, J. 2010. Quantitative genetics in maize breeding. Ed. Springer Sc.

- & Bus. Media. New York. 664p. DOI. 10.1007/978-1-4419-0766-0.
15. HERNÁNDEZ, M. 2002. Análisis económico de experimentos agrícolas con presupuestos parciales: Enseñando el uso de este enfoque. Portal de revistas Nicaragua: La Calera. 2(2):45-47.
  16. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA –IDEAM-. 2016. Disponible desde Internet en: <http://www.ideam.gov.co> (con acceso 08/10/2016).
  17. KHAN, T.; RAMZAN, A.; JILLANI, G.; MEHMOOD, T. 2013. Morphological performance of peas (*Pisum sativum*) genotypes under rainfed conditions of Potowar region. J. Agric. Res. 51(1):51- 60.
  18. KUMAR, N.; ROOPA, G. 2014. Correlation coefficient analysis in field pea (*Pisum sativum* L.). Intern. J. Agric. Sc. and Res. (IJASR). 4:211-214.
  19. LIGARRETO, G.; OSPINA, A. 2009. Análisis de parámetros heredables asociados al rendimiento y precocidad en arveja voluble (*Pisum sativum* L.) tipo Santa Isabel. Agron. Colomb. Vol. 27, Núm. 24p.
  20. MERA, M.; KEHR, E.; MEJÍAS, J.; IHL, M.; BIFANI, V. 2007. Investigación arvejas (*Pisum sativum* L.) de vaina comestible “sugar snap”: antecedentes y comportamiento en el sur de Chile. Agric. Téc. 67(4):343-352.
  21. MISHRA, N. 2014. Growth and yield response of pea (*Pisum sativum* L.) to integrated nutrient management a review. J. Plant and Pest Sc. (2):87-95.
  22. MOOT, D.J.; MCNEIL, D.L. 1995. Yield components, harvest index and plant type in relation to yield differences in field pea genotypes of partial resistance to field epidemics of *Ascochyta* blight of pea. Euphytica. 86:31-40.
  23. MORENO, F. 2009. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Agronomía Colombiana. 27(2):179-191.
  24. PACHECO, CH.; VERGARA, H.; LIGARRETO, M. 2009. Clasificación de 85 accesiones de arveja (*Pisum sativum* L.), de acuerdo con su comportamiento agronómico y caracteres morfológicos. Agronomía Colombiana. 37(3):323-332.
  25. PANTOJA, D.; MUÑOZ, K.; CHECA, O. 2014. Evaluación y correlación por componentes de rendimiento en líneas avanzadas de arveja *Pisum sativum* con gen afila. Rev. Agrícolas. 31(2):24-39.
  26. RASAEI, A.; GHOBADI, M.E.; GHOBADI, M.; ABDYNIYA, K. 2011. The study of traits correlation and path analysis of the grain yield of the peas in semi-dry conditions in Kermanshah. Inter. Conf. on Food Engineering and Biotech. 9:246–249.
  27. VALENCIA, A.; TIMANÁ, Y.; CHECA, O. 2012. Evaluación de 20 líneas de arveja (*Pisum sativum* L.) y su reacción al complejo de *ascochyta*. Rev. Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. San Juan Pasto. 29(2):39-52.

Recibido: Marzo 28 de 2017

Aceptado: Agosto 30 de 2017

#### Cómo citar:

Checa Coral, O.E.; Bastidas Acosta, J.E.; Narváez Taimal, O.C. 2017. Evaluación agronómica y económica de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.) en diferentes épocas de siembra y sistemas de tutorado. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 279- 288.

# ANÁLISIS MULTIVARIADO DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS EN SISTEMAS DE CAFÉ ORGÁNICO EN PUENTE ABADIA, VILLAVICENCIO

## MULTIVARIATE ANALYSIS OF SOIL FERTILITY IN ORGANIC COFFEE SYSTEMS IN PUENTE ABADIA VILLAVICENCIO

Amanda Silva-Parra<sup>1</sup>, Carlos Colmenares-Parra<sup>2</sup>, Jorge Álvarez-Alarcón<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ing. Agrónoma, M.Sc., Ph.D., Profesora Asistente. Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia, Km 12 Vía a Puerto López, Vereda Barcelona, C.P. 1745, e-mail: asilvap@unillanos.edu.co; <sup>2</sup> Ing. agrónomo, M.Sc., Profesor Asistente. Universidad de Los Llanos, Villavicencio, Colombia, Km 12 Vía a Puerto López, Vereda Barcelona, C.P. 1745, e-mail: ccolmenares@unillanos.edu.co; <sup>3</sup> Estudiante Ing. Agronómica. Universidad de Los Llanos, Villavicencio, Colombia, km 12 Vía a Puerto López, Vereda Barcelona, C.P. 1745, e-mail: jorge.alvarez@unillanos.edu.co; Grupo de Investigación en Sistemas Agrícolas y Forestales ISAF, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad de los Llanos.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 289-298, Julio-Diciembre, 2017

### RESUMEN

Puente Abadía es una zona cafetera por excelencia, del municipio de Villavicencio, Departamento del Meta, Colombia, donde se cultivan sistemas de café orgánico (SCO). El manejo agronómico del cultivo puede influir en las propiedades químicas de sus suelos. El análisis multivariado permitirá definir algunas limitantes químicas de los suelos y será un insumo futuro importante, para optimizar el manejo de nutrientes. Se muestrearon en la zona 12 SCO, que presentaban similitud en cuanto a tipo de sistema de producción, manejo agronómico y condiciones ambientales. Los datos fueron analizados, a través de estadística descriptiva, correlaciones lineales y los métodos multivariados de clúster y análisis de componentes principales (ACP). En los SCO, se confirmó que existe una alta heterogeneidad en las propiedades químicas de los suelos. El Mg presentó el coeficiente de variación (CV) más alto (135,09%). El ACPs mostró que los dos primeros componentes principales explicaron más del 50% de la varianza total. El análisis de clúster de los SCO mostró alta heterogeneidad en las propiedades químicas de los suelos, conformándose dos grupos: el grupo 1 reunió a los SCO, dominados por una alta acidez intercambiable, incluyendo 3 de los 12 SCO y, el grupo 2, reunió a 9 de los SCO, definidos, principalmente, por altos contenidos de materia orgánica del suelo (MOS). La alta variabilidad encontrada fue influenciada, posiblemente, por el encalado y la fertilización orgánica.

Palabras clave: Acidez intercambiable, análisis de suelo, encalado, materia orgánica, propiedades químicas.

### SUMMARY

Puente Abadía is for excellence a coffee growing area of the municipality of Villavicencio, department Meta, Colombia, where organic coffee systems OCS are cultivated. The agronomic management of the crop can influence its soil chemical properties. Multivariate analysis can permit to define some chemical soil limits and will be a future input to optimize the nutrient management. Twelve OCS were sampled in the zone that showed similarity in terms of production system, agronomic management and environmental conditions. Data were analyzed by descriptive statistics, linear correlations and multivariate clustered and principal components PC methods. High variability in OCS chemical properties were detected. The highest variation coefficient CV was presented in Mg 135.09%. The analysis of the principal components (APCs) showed that the first two PC explained more than 50% of the total variance. The cluster analysis of the OCS revealed high variability, defined in two large groups: group 1 brought together OCS dominated by interchangeable  $Al^{3+}$  including 3 of the 12 OCSs and group 2 brought together 9 of the OCS, mainly defined by high content in soil organic matter (SOM). The variability showed was possibly influenced by liming and organic fertilization.

Key words: Interchangeable acidity, soil analysis, liming, organic matter, chemical properties.

### INTRODUCCIÓN

Puente Abadía es una zona donde se ha venido produciendo, por muchas décadas, café de tipo orgánico (Colmenares *et al.* 2016). El café de tipo orgánico es un sistema de pro-

ducción que, mediante el manejo racional de los recursos naturales, con baja o nula utilización de productos de síntesis química, mejora la calidad del café, mantiene o incrementa la fertilidad del suelo y la diversidad biológica (Rosas *et al.* 2008), concepto aplicable a sistemas de café bajo sombrero (Sadeghian, 2011). En los sistemas de café cultivados en Colombia existe una alta variabilidad de las condiciones químicas de los suelos de un sitio a otro; el clima, el suelo y el manejo son los factores más influyentes (Silva *et al.* 2008; Santos *et al.* 2015; Lince & Sadeghian, 2015; Rodríguez-Garay *et al.* 2016). La fertilización y el encalado han sido señalados como las dos principales causas (Santos *et al.* 2015). De acuerdo con Camacho-Tamayo *et al.* (2010), la fertilidad de los suelos de la Orinoquia de Colombia se ha modificado, debido a la intervención agrícola, influyendo en la variabilidad, principalmente, de la materia orgánica MO, el pH y el  $Al^{3+}$  intercambiable. En los sistemas cafeteros, el manejo de la fertilización, sin considerar la variabilidad espacial del suelo (Lince & Sadeghian, 2015; Roger *et al.* 2014; Santos *et al.* 2015), da como resultado un uso poco eficiente de los nutrientes aplicados (Amaral *et al.* 2010). El conocimiento de la variabilidad espacial en suelos cafeteros es una herramienta que permite definir un manejo más específico de nutrientes para zonas más homogéneas (Silva *et al.* 2008; Rodríguez-Garay *et al.* 2016) y así optimizar recursos al reducir costos y reducir el impacto negativo sobre el ambiente (Lal, 2004); para el diagnóstico de la fertilidad del suelo, el análisis químico es la herramienta más usada (Camacho-Tamayo *et al.* 2010). Según Espinosa & Gómez (2005), con éste, se evalúa la capacidad que posee un suelo para suministrar los nutrimentos que las plantas requieren para su normal crecimiento y desarrollo, con la finalidad de incrementar los rendimientos del grano (Sadeghian, 2011).

El objetivo de la presente investigación fue realizar un análisis multivariado de la fertilidad de los suelos en sistemas de café orgánico (SCO) de Puente Abadía, con el fin de que los resultados aporten sobre algunas limitantes químicas de los suelos para su producción y corresponda a un insumo importante para futuras investigaciones, dirigidas a establecer manejos de la fertilidad más acordes a las necesidades del cultivo, previos estudios de la extracción de nutrientes para el café, en esta zona.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Zona de estudio.** Para esta investigación, se contemplaron sistemas de café orgánico (SCO), localizados en el Corregimiento de Puente Abadía, que pertenece a la ciudad de Villavicencio, ubicada entre las coordenadas geográficas 04°07'N y 073°38'W del Piedemonte de la Cordillera Oriental, al occidente del Departamento del Meta, en Colombia. De acuerdo con la clasificación de Köppen-Geiger, su clima es Am; presenta una precipitación media fluctuante, entre

los 3.484,7mm a 4.484mm; la temperatura varía de 25 a 30°C, con una media de 25,5°C; en febrero, se registran los valores más altos. La humedad relativa HR varía entre 76,1 a 82,1% y entre junio y julio, se registran HR 86% y el brillo solar es de 1.545 a 1.807 horas luz.año<sup>-1</sup> (Alcaldía de Villavicencio & Secretaría de Medio Ambiente, 2006). Por su parte, Puente Abadía está ubicado a 28km de Villavicencio, por vía destapada y está cercada por el río Guatiquía; los suelos se caracterizan por ser profundos, con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas, bien drenados, fuertemente ácidos, de fertilidad baja y susceptibles a la erosión, con predominancia de Ultisoles sobre Oxisoles (IGAC, 1995).

**Selección de fincas.** Entre el 2016 y 2017, se muestrearon 12 sistemas de café orgánico (SCO), distribuidos en 12 fincas, ubicadas a los 600 msnm, sembrados con café variedad Castillo de 5 años, bajo sombrero, principalmente del género *Inga edulis* y con una densidad de siembra de 1.600 plantas.ha<sup>-1</sup> (Colmenares *et al.* 2016); para todos los sitios, se muestrearon sistemas de café con las mismas condiciones agroecológicas y con el mismo manejo agronómico. En la preparación de los abonos orgánicos, se utiliza pulpa de café, mezclado con los estiércoles provenientes de las mismas fincas, similar a como se realiza en otras zonas de Colombia (Cardona-Calle & Sadeghian, 2005). Según el análisis bromatológico realizado en el Laboratorio de Suelos de la Universidad de los Llanos, el compost elaborado en la zona, proporciona a los cultivos 4,5%N, 2%P, 6,5%K, 1,5%Ca, 3,5%Mg y elementos menores: 20%Mn, 43,4%Cu, 22,8%Zn y 105%Fe. El compost, se aplica sin considerar el análisis de suelo, en cantidades que varían entre 2 a 5t.ha<sup>-1</sup>, lo mismo sucede con la práctica de encalado, que es común y se realiza aplicando cal dolomita, en dosis que varían entre 2 a 3t.ha<sup>-1</sup>. Se hacen aplicaciones foliares con biofertilizantes líquidos, preparados con productos orgánicos de la zona; el manejo fitosanitario de los cultivos, se realiza con extractos vegetales y se hace control biológico de la roya *Hemileia vastatrix* y la broca del café *Hypothenemus hampei*. Se denomina comúnmente “café de tipo orgánico”, por el uso del sombrero (Colmenares *et al.* 2016).

**Toma de muestras.** En cada uno de los lotes de los 12 SCO identificados, que presentaban un área de 1.000 m<sup>2</sup>, se realizó un muestreo de tipo sistemático, en retícula de 10m x 10m, para un total de 10 sitios y, en cada punto, se colectó una muestra compuesta, a partir de tres muestras simples, tomadas a una profundidad de 0 – 0,20m; el muestreo, se realizó en época de invierno. Las muestras, se enviaron al Laboratorio de Suelos de la Universidad de los Llanos, para análisis químicos.

**Métodos analíticos.** El pH, se midió con método potenciométrico; materia orgánica del suelo MOS (%), con el método Walkley & Black; aluminio intercambiable  $Al^{3+}$  (cmol+.



kg<sup>-1</sup>), con KCl 1N y espectrofotometría de absorción atómica; Ca, Mg, K y Na (cmol+.kg<sup>-1</sup>), con el método de acetato de amonio 1N a pH 7,0; la CICE, por sumatoria de bases y Al<sup>+</sup> intercambiable; P disponible (mg.kg<sup>-1</sup>), mediante Bray II; contenidos de Cu, Fe, Mn, Zn y B (mg.kg<sup>-1</sup>), con DTPA y espectrofotometría de absorción atómica. El S (mg.kg<sup>-1</sup>), se determinó mediante fosfato monocalcico 0,008M y turbidimetría, siguiendo los métodos y los procedimientos estandarizados y recomendados por el IGAC (2006).

**Análisis estadístico.** Los resultados obtenidos en el laboratorio, se analizaron mediante estadística descriptiva, con el programa SPAD versión 5.0, con el cual, se determinó la media, la desviación estándar, el máximo, el mínimo y el coeficiente de variación (CV). El CV fue analizado con el criterio de Warrick & Nielsen (1980), donde menores a 12% son de baja variabilidad; entre 12 y 60%, de variabilidad media y superiores a 60%, de alta variabilidad. Las correlaciones, se realizaron a través de la prueba de Pearson y la selección de relaciones entre elementos, como la interpretación de los valores mínimos y máximos, se basó en las consideraciones generales, para interpretar análisis de suelos (IGAC, 2000). El análisis de tipo multivariado compuesto por el análisis de componentes principales (ACPs) y el análisis de clúster, se

realizó para SCO, a través del algoritmo de Ward, en el que se considera que la medida de disimilitud es la distancia euclidiana entre los atributos (Manly, 1997).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Análisis de la estadística descriptiva.** La media, la desviación estándar, el mínimo, el máximo y el coeficiente de variación (CV%), se consignan en la tabla 1. El pH tiene una media de 4,4, que corresponde a suelos muy fuertemente ácidos, con un CV menor al 12% (Tabla 1). Según Cox *et al.* (2006), el pH es una de las propiedades químicas del suelo que menos varía y su CV fluctúa de 2 a 15% y se debe a que se mide en escala logarítmica y, por consiguiente, se reduce la expresión de la variabilidad. En Ultisoles o Oxisoles es una característica intrínseca de la génesis del suelo y de las condiciones ambientales, principalmente, la precipitación (IGAC, 1995; Camacho-Tamayo *et al.* 2010). El Al<sup>3+</sup> presentó una media de 0,95cmol+.kg<sup>-1</sup>, que corresponde a bajos para suelos de la Orinoquia, a diferencia de los altos valores encontrados en Oxisoles, por Camacho-Tamayo *et al.* (2010). Este resultado está, posiblemente, asociado a la práctica intensiva de cal y compost, que ha permitido neutralizar, en parte, el Al<sup>3+</sup> intercambiable.

Tabla 1. Estadística descriptiva de las propiedades químicas del suelo en los SCO, Puente Abadía, Villavicencio.

Propiedad	Unidad	$\bar{Y}$	$\delta$	V <sub>m</sub>	V <sub>M</sub>	CV%
pH		4,4	1,20	4,0	4,6	9,80
MO	%	9,16	3,95	4,64	17,44	45,07
Al	cmol+.kg <sup>-1</sup>	0,95	0,58	0,25	1,95	63,89
Ca	cmol+.kg <sup>-1</sup>	5,08	4,21	0,70	16,59	86,45
Mg	cmol+.kg <sup>-1</sup>	1,19	1,54	0,25	6,20	135,09
K	cmol+.kg <sup>-1</sup>	0,21	0,07	0,11	0,40	33,39
Na	cmol+.kg <sup>-1</sup>	0,11	0,05	0,06	0,23	48,89
CICE	cmol+.kg <sup>-1</sup>	7,56	2,21	7,43	8,40	9,75
P	mg.kg <sup>-1</sup>	17,13	7,51	5,70	28,50	45,75
Cu	mg.kg <sup>-1</sup>	8,73	5,09	4,00	24,30	60,92
Mn	mg.kg <sup>-1</sup>	116,67	44,89	75,25	233,12	40,18
Zn	mg.kg <sup>-1</sup>	16,73	14,88	2,65	49,37	92,86
Fe	mg.kg <sup>-1</sup>	110,20	10,2	98,45	115,78	9,20
S	mg.kg <sup>-1</sup>	11,70	8,48	3,13	36,18	75,69
B	mg.kg <sup>-1</sup>	1,21	1,03	0,47	4,02	88,72

$\bar{Y}$  = Media  $\delta$  = Desviación estándar V<sub>m</sub> = Mínimo valor V<sub>M</sub> = Máximo valor CV = Coeficiente de variación.

Casierra & Aguilar (2007) afirman que la adición de materiales orgánicos al suelo corrige la toxicidad por  $Al^{3+}$ , por su capacidad para formar complejos estables aluminio-orgánicos, que reducen la fitotoxicidad del elemento. La neutralización del  $Al^{3+}$  intercambiable, mediante el encalado de los suelos, es una práctica común en suelos ácidos de Colombia (Castro & Munévar, 2013); por lo tanto, en la tabla 1, se observan valores mínimos de  $0,25\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ , con máximos de  $1,95\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ , para  $Al^{3+}$ , típicos de Ultisoles o Oxisoles (IGAC, 1995), por lo que la variabilidad del  $Al^{3+}$  intercambiable en los SCO fue alta, con un CV de 63,89%, similar a los reportados en Oxisoles de zonas cafeteras de Brasil, por Silva *et al.* (2008).

Según Castro & Munévar (2013), el  $Al^{3+}$  es un limitante químico en la productividad de estos suelos y el problema se maneja con la adición de cales, que actúan como bases fuertes, que hidrolizan el agua y producen iones hidroxilos ( $OH^-$ ), que neutralizan la acidez activa ( $H^+$ ) y precipitan el  $Al^{3+}$  en forma de oxihidróxidos ( $Al(OH)_3$ ). La saturación de acidez es una medida del porcentaje del complejo de intercambio catiónico, que está ocupado por aluminio e hidrógeno y sería el mejor criterio para diagnosticar problemas de acidez (Castro & Munévar, 2013). Las raíces afectadas por el Al exploran un volumen muy limitado del suelo y así se reduce su capacidad para tomar los nutrientes y el agua (Casierra & Aguilar, 2007). En la tabla 1, en los SCO, la MOS muestra una media de 9,16%, clasificado como alto, para suelos de clima cálidos (IGAC, 2000), resultado que es atribuido mayormente a SCO sobre Ultisoles (IGAC, 1995); la MO varió de 4,64 a 17,44%, donde el valor mínimo es típico en Oxisoles (Camacho-Tamayo *et al.* 2010), presentando una desviación estándar de 3,95%; el CV estuvo en un rango medio, de 45,07%.

Según Silva *et al.* (2008), la moderada o alta variación en los contenidos de la MOS son consecuencia de varios factores, como la actividad microbiana, el tipo de cultivo, la cantidad y calidad de residuos vegetales y la fertilización. Cardona-Calle & Sadeghian (2005) concluyeron que el retorno de material orgánico en cultivos de café con sombrío es 2,5 veces superior que en cultivos sin sombra. La MOS en los cafetales proviene, principalmente, de la hojarasca producida por las plantas de café y de los árboles de sombra, pero también de la fertilización orgánica (Sadeghian, 2011).

En la tabla 1, se indica que los SCO presentan contenidos medios de Ca y K, de  $5,08$  y  $0,21\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$  y de Mg y Na, de  $1,19$  y  $0,11\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ , que son bajos (IGAC, 2000). De ahí, que en la figura 1, se observa que en todos los SCO el  $Ca > Mg > K > Na$ . A pesar de las altas saturaciones de Ca en los suelos, éste es menos absorbido que el K, por las raíces del cultivo, sobre todo, en cafetales más viejos (Sadeghian *et al.* 2013). Los valores máximos de Ca y Mg en los SCO fueron de  $16,59$  y  $6,20\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$  y los mínimos de  $0,70$  y  $0,25\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Tabla 1), clasificados como altos y bajos, respectivamente (IGAC, 2000). En suelos ácidos, los cationes de los elementos nutritivos son desplazados de los sitios de intercambio por el  $Al^{3+}$  intercambiable y, posteriormente, son lavados (Castro & Munévar, 2013); el  $Al^{3+}$  interfiere con la toma, el transporte y la utilización de las bases del suelo (Malavolta, 1993). De acuerdo con Cardona-Calle & Sadeghian (2005), los contenidos de Ca y Mg adecuados para café bajo sombra, varían en los rangos de  $0,48$  a  $10,30\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$  y de  $0,22$  a  $3,58\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; los encontrados están por encima de los rangos más altos. El café ha demostrado ser sensible a un bajo suministro del Mg en el suelo, encontrándose en cantidades relativamente altas en el fruto del café (Sadeghian *et al.* 2006; Sadeghian *et al.* 2013).

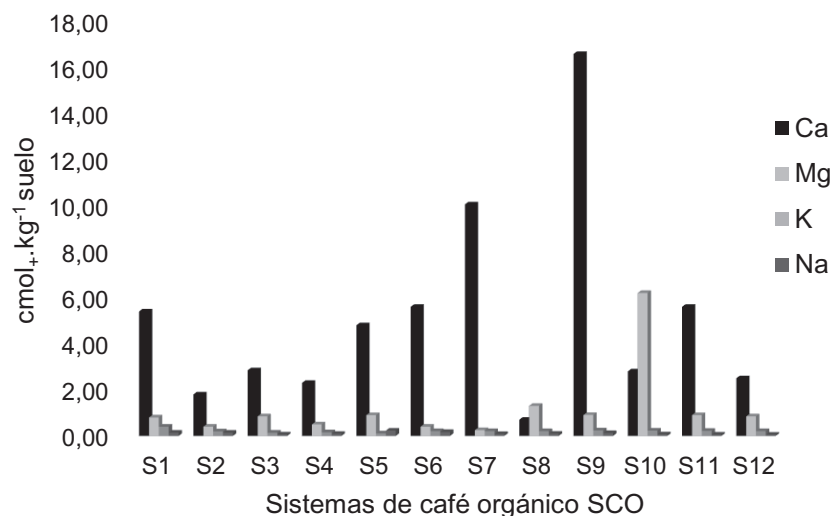


Figura 1. Contenidos de Ca, Mg, K y Na del suelo en SCO, Puente Abadía, Villavicencio.

En Colombia, en café muy pocas veces se observan síntomas de deficiencia de Ca y S, pero sí de Mg (Sadeghian *et al.* 2013), acompañados de una defoliación, que puede ser severa, según la magnitud de la carencia del elemento (Malavolta, 1993); en la tabla 1, en los SCO, el K osciló entre 0,11 y 0,40 cmol+.kg<sup>-1</sup>. Sadeghian (2003) registró que, cuando el K en el suelo fue inferior a 0,2 cmol+.kg<sup>-1</sup>, se redujo el rendimiento en un 40%; con 0,2 a 0,4 cmol+.kg<sup>-1</sup>, la reducción fue menor a 14% y para niveles mayores a 0,4 cmol+.kg<sup>-1</sup>, solo del 8%, indicando que los SCO estudiados, que presentan un mínimo de 0,11 cmol+.kg<sup>-1</sup> para K, podrían tener limitaciones en la producción. La absorción del K no es lo suficientemente alta como para contrarrestar los efectos en el agotamiento de las reservas en las hojas viejas, requiriéndose siempre suficiencia de K en los suelos (Malavolta, 1993). En la tabla 1, en los SCO se presentaron altos CV para Mg y Ca (86,45 y 135,09%, respectivamente) y medios, para Na y K (33,39 y 48,89%, respectivamente). Los CV de Ca y de Mg fueron similares a los registrados por Rodríguez-Garay *et al.* (2016), en una zona cafetera y superiores a los hallados por Silva *et al.* (2008), en Oxisoles, de zonas cafeteras del Brasil; el CV de K fue menor al reportado por Rodríguez-Garay *et al.* (2016), que fue de 96%. Esta alta variabilidad encontrada para Ca y Mg en los SCO, se puede deber al efecto residual del encalado (Castro & Munévar, 2013); se sugiere, como adecuada, la relación Ca/Mg/K de 6:2:1, en zonas cafeteras de Colombia (Sadeghian, 2003). Las óptimas producciones de café consideran la extracción de nutrimentos de N y P, como las bases K, Ca y Mg (Sadeghian *et al.* 2006); en sistemas cafeteros fertilizados con N, K y P es razonable prever que el Ca o el Mg resulten limitantes (Amaral *et al.* 2010). Por otra parte, en la tabla 1, en los SCO el Na del suelo no es una limitante, registrándose mínimos y máximos de 0,06 y 0,23 cmol+.kg<sup>-1</sup> y una desviación estándar de 0,05 cmol+.kg<sup>-1</sup>.

La CICE presentó una variabilidad baja (9,75%), diferente a lo reportado por Rodríguez-Garay *et al.* (2016), que fue media. Los suelos de la Orinoquia de Colombia, se caracterizan por ser de carga variable, con altos contenidos de arcillas de baja actividad, como la caolinita y presencia de oxihidróxidos de Al y Fe, que tienen una baja capacidad de intercambio catiónico, incidiendo en una baja retención de nutrientes (IGAC, 1995), coincidiendo con los mínimos y máximos encontrados, que fueron bajos (7,43 y 8,40 cmol+.kg<sup>-1</sup>, respectivamente), en la tabla 1. En los SCO, la media para los contenidos de P disponible fue baja, de 17,13 mg.kg<sup>-1</sup>, con una desviación estándar de 7,51 mg.kg<sup>-1</sup> (Tabla 1), valor típico, tanto en Ultisoles como en Oxisoles (IGAC, 1995). Camacho-Tamayo *et al.* (2010), en Oxisoles, registraron altos contenidos de P, atribuyéndolo a los efectos residuales de los fertilizantes. El P estuvo en un rango de bajo a medio, 5,70 a 28,50 mg.kg<sup>-1</sup> y el CV fue medio de 45,75% (Tabla 1), inferior al reportado por Roger *et al.* (2014), y al encontrado por

Rodríguez-Garay *et al.* (2016), de 58%. Aunque este es un elemento que es poco usual que presente CV bajos, indica que, de manera general, en los SCO de la zona, la disponibilidad del P en suelos ácidos está condicionada a los procesos de fijación, no permitiendo que el P sea asimilable para las plantas (Malavolta, 1993; IGAC, 1995). Santos *et al.* (2015) halló que la distribución del P en el suelo fue heterogénea, variando de bajo a alto en el área de estudio; Andrade *et al.* (2009), por su parte, mencionan el efecto que pueden ejercer las micorrizas en sistemas de café bajo sombra, en la solubilización del mismo.

En la tabla 1, los micronutrientes estuvieron en el rango de bajos a altos menos en Mn y en Fe, que fueron altos. El Mn presenta un CV de 40,18%, considerado como medio y el Fe, un CV bajo, de 9,20%, ambos asociados, principalmente, con la acidez de los suelos (Castro & Munévar, 2013), presentando mínimos y máximos altos de 75,25 y 233,12 mg.kg<sup>-1</sup> y 98,45 y 115,78 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 1). Los contenidos de Fe en los SCO, a niveles que pueden generar toxicidad (Malavolta, 1993), pueden estar asociados a los altos aportes del elemento en el compost; Mn se presentó muy por encima de los reportados por Cardona-Calle & Sadeghian (2005), en Chinchiná (11,17 mg.kg<sup>-1</sup>) y Guadalupe (9,17 mg.kg<sup>-1</sup>), considerados adecuados para la producción de café. El Mn en altas concentraciones puede ser tóxico para el cultivo de café (Malavolta, 1993); al contrario, un bajo contenido de Mn en el suelo puede estar asociado a un alto contenido de MO en el suelo, el cual, disminuye considerablemente el Mn disponible (Malavolta, 1993). En la tabla 1, se observa, con respecto al S y B, que la media fue alta y baja, respectivamente, con un CV alto en ambos casos, de 75,69 y 88,72%. El análisis foliar en sistemas de café es de gran ayuda para regular las aplicaciones de micronutrientes, de manera que se prevenga una posible deficiencia o toxicidad (Malavolta, 1993). En promedio, por cada 1.000 kg de café almendra, equivalentes a 1.250 kg de café pergamino seco (100 arrobas), se extraen 4,3 kg de Ca, 2,3 kg de Mg y 1,2 kg de S (Sadeghian *et al.* 2006).

**Correlaciones lineales.** En la tabla 2, la MO presenta correlación positiva con Ca, P y Cu y negativa con el contenido de Na y Zn, indicando que, en los SCO, la MOS podría ser un buen indicador también de P y Ca.

Según Castro & Munévar (2013), los suelos de características ácidas ofrecen mejor respuesta a la aplicación de dosis bajas de cal y los contenidos de P aumenta, a medida que se incrementa el pH, con el uso de materiales encalantes combinados. Por otra parte, el cafeto parece poseer una susceptibilidad especial a una baja concentración de Zn en el suelo (Martínez *et al.* 2011), cuando la MOS es baja. El Al<sup>3+</sup> intercambiable presentó correlación positiva con Mg, K, S y también con B y negativa con el Ca (Tabla 2). Cuando el por-

Tabla 2. Tabla de Correlaciones de Pearson.

Propiedad	Propiedad química con correlación ( $R^2$ ) significativa
MO	Ca (0,34), Na (-0,46), P (0,74), Cu (0,35), Zn (-0,52)
Al	Ca (-0,33), Mg (0,57), K (0,49), S (0,39), B (0,52)
Ca	B (-0,30)
Mg	Al (0,57)
K	Al (0,49)
Na	P (-0,79) y Zn (0,79)
P	Cu (-0,40), Zn (-0,75)
Cu	Zn (0,39), S (0,72)
Mn	Na (-0,37)
Zn	MO (-0,52), Na (0,79), P (-0,75)
S	Al (0,39), Mg (-0,23), K (0,73), Cu (0,72)
B	Al (0,52), Ca (-0,30)

Adaptado de Rodríguez-Garay *et al.* (2016).

centaje de saturación de  $Al^{3+}$  intercambiable está por encima de 25%, el  $Al^{3+}$  es el catión predominante en el complejo de cambio, bajando los niveles de las bases, principalmente el Ca (Castro & Munévar, 2013); aplicaciones intensivas de cal, para neutralizar el Al, hacen que el B sea menos absorbido por el cafeto, por lo que se puede mostrar deficiente (Furlani-Junior *et al.* 2004). En cafetero, el S es más requerido que el P, cuando hay deficiencia de S y aunque no se observen síntomas, la florecida es normal, pero los frutos no cuajan (Malavolta, 1993). Una deficiencia de B se nota en las hojas adultas presentando suberización con presencia de corcho en la vena central y las secundarias (Rosolem & Leite, 2007). El B al igual que el Ca, no se transloca a los puntos de crecimiento, es necesario un suministro constante de B para el desarrollo normal de las plantas (Santinato *et al.* 2016). En la tabla 2, el Mg correlacionó positivamente con el  $Al^{3+}$  intercambiable, el Na correlacionó negativamente con P y positivamente con Zn; el P mostró una correlación negativa con Zn y Cu, a su vez, éste correlacionó positivamente con el S. Según Rodríguez-Garay *et al.* (2016), en sistemas de café, se presentó una correlación positiva con Cu, Fe y Zn, además de ser el Zn el elemento que más se beneficia con incrementos en el pH, como se observó en las correlaciones del Fe y de P, respecto al Zn.

**Análisis de componentes principales.** En la tabla 3, se observa que, de las 12 propiedades químicas seleccionadas por el CV, se determinaron cinco componentes principales CPs, los cuales, presentan un autovalor superior a 1, en las características comunales (Manly, 1997) y que explican el 87,47% de la varianza total. En la figura 2, las dos primeras

dimensiones del diagrama de dispersión espacial arrojado por el análisis de CPs explicaron el 51,06% de la varianza de las propiedades químicas evaluadas en los SCO, de Puente Abadía. Las variables de mayor contribución al 28,55% de la varianza, expresada por el primer componente principal, fueron la MO y el P; se confirma la relación inversa de Na, Cu y Zn con las otras variables. Además, en la tabla 3, se observa el poco peso que el  $Al^{3+}$  intercambiable representa para el CP1. En el componente dos, que explica el 28,55% de la varianza, las variables de mayor contribución y de manera positiva que influyen la separación de los SCO son el  $Al^{3+}$  intercambiable, K y S y, en menor proporción, Cu y B, como se detalla en la tabla 3. En términos generales, las propiedades relacionadas con la acidez intercambiable del suelo son las que mejor representan el CP2. Para la producción de café y su relación con las propiedades del suelo, Castro-Tanzi *et al.* (2012) identificaron los contenidos de N, K, P y Mg, como los de mayor influencia. Rodríguez-Garay *et al.* (2016), en el CP1, identificaron los micronutrientes y las bases y en el CP2, el carbono orgánico y el Al, como las variables de más peso en la producción y calidad del café. En la tabla 3, se muestra que las variables que muestran la mayor comunalidad estimada son Mg, Ca, K, Al y B, siendo los que más se correlacionan con el resto de atributos, lo cual, implica que las variables están muy bien representadas en el espacio de los factores, definiendo los clústeres de la figura 2; sin embargo, el Ca que presenta un valor superior a 0,97 en la comunalidad, en los dos primeros CPs, su valor no fue representativo, a diferencia del resultado de Rodríguez-Garay *et al.* (2016), donde el Ca presentó una correlación con el CP1 superior al 70%. El uso excesivo de fertilizantes nitroge-

nados (compost) con alta capacidad acidificante contribuye al deterioro de la fertilidad en Ultisoles, principalmente del Ca (Malavolta, 1993).

**Análisis de agrupamiento jerárquico.** El análisis de agrupación de las propiedades químicas de los SCO de Puente Abadía logró consolidar 4 clúster; el factor 1, definido por el

CP1, quedó determinado por los clústeres 3/4 y 4/4, relativo a altos contenidos de MOS y P y que reunieron a la mayoría de los SCO, como se observa en la figura 2; las dos variables identificadas pueden estar relacionadas a una mayor fertilidad de los suelos de los SCO (IGAC, 1995). El factor 2 logró agrupar los clústeres 1/4 y 2/4, conformados por los SCO S1, S6 y S5, que están formando un ángulo próximo a 45°,

Tabla 3. Comunalidades basadas en correlaciones.

Variabes	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	Comunalidad
MO	<b>0,73</b>	0,25	0,03	0,45	-0,06	0,82
Al	-0,10	<b>0,79</b>	0,49	-0,10	-0,16	0,91
Ca	0,06	-0,17	-0,44	0,75	-0,42	0,97
Mg	0,22	0,30	0,54	-0,25	-0,70	0,98
K	-0,22	<b>0,83</b>	-0,36	0,14	-0,19	0,92
Na	<b>-0,84</b>	-0,23	0,18	0,31	-0,02	0,88
P	<b>0,88</b>	0,19	-0,06	0,14	0,27	0,90
Cu	-0,68	0,53	-0,32	-0,07	0,01	0,85
Mn	0,24	0,00	-0,53	-0,58	0,02	0,67
Zn	<b>-0,80</b>	-0,38	0,19	0,06	-0,01	0,78
S	-0,38	<b>0,73</b>	-0,39	0,05	0,21	0,87
B	-0,03	0,40	0,63	0,29	0,51	0,90
Autovalor	3,42	2,70	1,84	1,41	1,11	
% Total varianza	28,55	22,51	15,39	11,75	9,26	
% Acumulado varianza	28,55	51,06	66,45	78,20	87,47	

Valores >0,7 (valor absoluto) aparecen en negrilla.

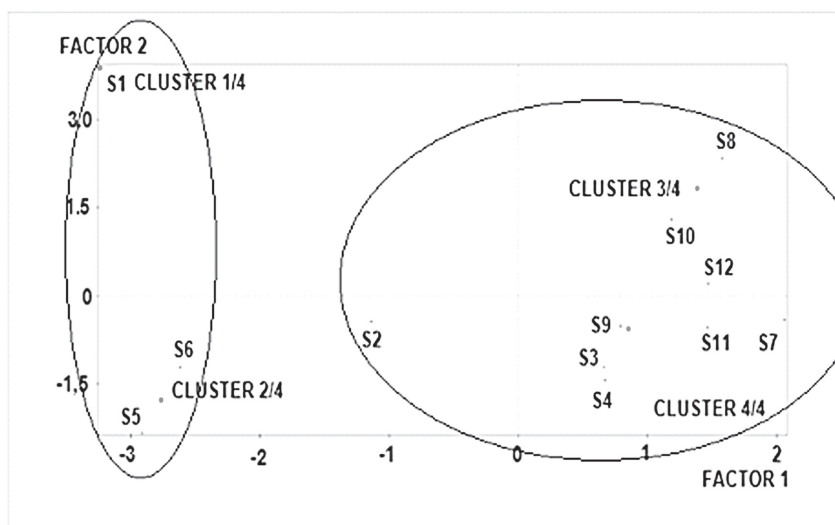


Figura 2. Conformación de clúster considerando los primeros dos factores o componentes principales CPs en SCO de Puente Abadía, Villavicencio.

con cada eje (Figura 2), lo que no permite asociarlos con los SCO del factor 1, por sus características comunes, especificados por alto  $Al^{3+}$  intercambiable, bajo K y alto S, de mayor peso en el CP2 (Tabla 3). El  $Al^{3+}$  intercambiable incide en detrimento del K (Malavolta, 1993), sería más claro el efecto si estuviesen relacionados en términos de saturación (Castro & Munévar, 2013). El análisis de clústeres, relacionados en la figura 2, se detectaron dos tipologías de SCO, las cuales, se puede apreciar en el respectivo dendograma (Figura 3). La primera tipología representa el 33,3% de los SCO analizados, que se caracterizan por altos niveles de  $Al^{3+}$  y bajo K, indicando una mayor similitud entre los SCO S5 y S6 y, a su vez, fueron distantes del S1, de mayor acidez intercambiable y bajo K; similarmente, Camacho-Tamayo *et al.* (2010), observaron, en la conformación de los grupos, la

relación estrecha entre el  $Al^{3+}$  intercambiable con las bases. El manejo de la fertilidad de los SCO de este grupo deberá incluir recomendaciones de encalado, acordes a la necesidad de neutralización de este elemento (Castro & Munévar, 2013). En la figura 3, la segunda tipología, se caracteriza por el 66,6% de los SCO, que giran en torno a altos contenidos de MOS y medios de P, donde todos los SCO de este grupo guardan similitud ( $P > 0.01$ ). Los altos niveles de MOS favorecen, desde una perspectiva sostenible, la producción de café de los SCO de este grupo, en dicha región; sin embargo, es necesario reevaluarla y hacer otras investigaciones tendientes a su caracterización y así definir si se está cumpliendo con los requerimientos de NPK y micronutrientes necesarios para el cultivo. En el análisis multivariado, los agrupamientos se pueden delimitar como zonas de manejo, por la similitud que presentan los puntos (Rodríguez-Garay *et al.* 2016).

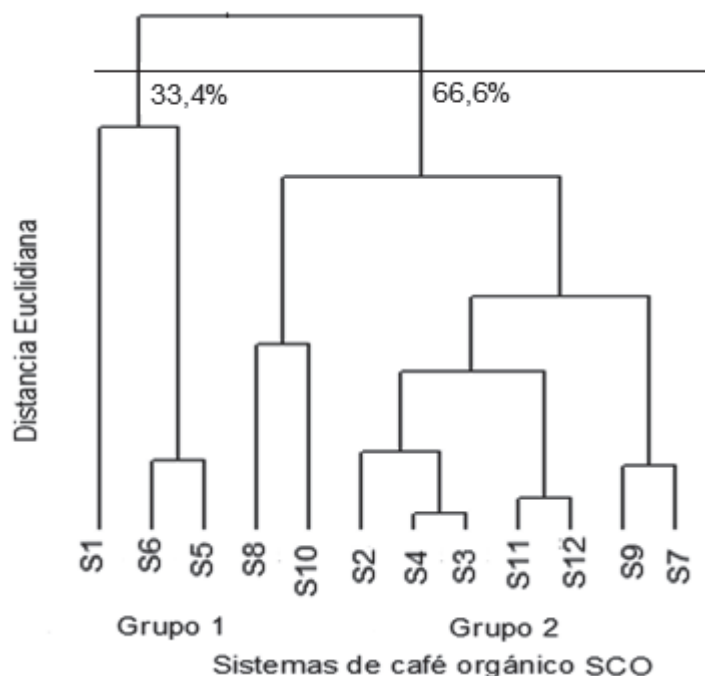


Figura 3. Dendograma para puntos de muestreo en SCO de Puente Abadía, Villavicencio.

**Agradecimientos:** Los autores agradecen a los productores de Puente Abadía, por su acompañamiento en esta investigación. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Esta investigación fue financiada por el proyecto “Fortalecimiento de la transferencia de tecnología agropecuaria a la comunidad, vereda Puente Abadía, municipio de Villavicencio”, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, de la Universidad de los Llanos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ALCALDÍA DE VILLAVICENCIO Y SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE. 2006. Sistema de Gestión Ambiental “SIGAM” Municipio de Villavicencio. Perfil Ambiental y Plan de Acción. Informe Final Villavicencio. Villavicencio, Colombia: CORPOLLANOS. 129p.
2. AMARAL, J.F.T.D.; MARTINEZ, H.E.P.; LAVIOLA, B.G.; FERNANDES FILHO, E.I.; CRUZ, C.D. 2010. Bean production efficiency and relative allocation of nu-

- trients of four coffee varieties. *Rev. Ceres.* 57:253-262.
3. ANDRADE, S.; MAZZAFERA, P.; SCHIAVINATO, M.; SILVEIRA, A. 2009. Arbuscular mycorrhizal association in coffee. *The Journal of Agricultural Science.* 147(2):105-115.
  4. CAMACHO-TAMAYO, J.H.; LUENGAS-GOMEZ, C.; LEIVA, F.R. 2010. Análisis multivariado de propiedades químicas en Oxisoles con diferentes niveles de intervención agrícola. *Acta Agronómica.* 59(3):273-284.
  5. CARDONA-CALLE, D.A.; SADEGHIAN, S. 2005. Evaluación de propiedades físicas y químicas de suelos establecidos con café bajo sombra y a plena exposición solar. *Cenicafé.* 56(4):348-364.
  6. CASIERRA, F.; AGUILAR, O. 2007. Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. *Rev. Col. de Ciencias Hortícolas.* 1(2):246-257.
  7. CASTRO-TANZI, S.; DIETSCH, T.; ÜRENA, N.; VINDAS, L.; CHANDLER, M. 2012. Analysis of management and site factors to improve the sustainability of smallholder coffee production in Tarrazú, Costa Rica. *Agric. Ecosyst. Environ.* 155:172-181.
  8. CASTRO, J.; MUNÉVAR, O. 2013. Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2):409-416.
  9. COLMENARES P., C.H.; SILVA, A.; MOGOLLÓN, Á.M. 2016. Impacts of different coffee systems on soil microbial populations at different altitudes in Villavicencio (Colombia). *Agron. Colomb.* 34(2):285-291.
  10. COX, M.S.; GERARD, P.D.; MELINDA, A.J. 2006. Selected soil properties variability and their relationships with yield in three Mississippi fields. *Soil Sci.* 171:541-551.
  11. ESPINOSA, J.; GÓMEZ, M. 2005. Conceptos utilizados para diagnosticar integralmente la fertilidad del suelo mediante el uso de indicadores. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 8(2):23-32.
  12. FURLANI-JÚNIOR, E.; ALVES, C.C.; LAZARINI, E.; FERRARI, S. 2004. Aplicação de calcário e boro em cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Cultura Agronômica.* 13:1-25.
  13. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI –IGAC-. 1995. Suelos de Colombia. Ed. IGAC, Subdirección Agrológica. Bogotá (Colombia). 632p.
  14. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI –IGAC-. 2006. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. Ed. IGAC (Colombia). 648p.
  15. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI –IGAC-. 2000. Consideraciones generales para interpretar análisis de suelos. Subdirección de agrología. Bogotá, Colombia: IGAC. 324p.
  16. LAL, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science.* 304(5677):1623-1627.
  17. LINCE, L.A.; SADEGHIAN, S. 2015. Producción de café (*Coffea arabica* L.) en respuesta al manejo específico de la fertilidad del suelo. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental.* 6(2):29-30.
  18. MALAVOLTA, E. 1993. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro. São Paulo: Agronômica Ceres. 210p.
  19. MANLY, B.F.J. 1997. Multivariate statistical methods. Second Ed. Chapman & Hall (London). 216p.
  20. MARTINEZ, H.E.P.; ZABINI, A.V.; CRUZ, C.D.; PEREIRA, A.A.; FINGER, F.L. 2011. Differential tolerance to zinc deficiency in coffee-plant progenies. *J. Plant Nutrition.* 34(11):1654-1674.
  21. RODRÍGUEZ-GARAY, F.A.; CAMACHO-TAMAYO, J.H.; RÚBIANO-SANABRIA, Y. 2016. Variabilidad espacial de los atributos químicos del suelo en el rendimiento y calidad de café. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agrop.* 17(2):237-254.
  22. ROGER, A.; LIBOHOVA, Z.; ROSSIER, N.; JOOST, S.; MALTAS, A.; FROSSARD, E.; SINAJ, S. 2014. Spatial variability of soil phosphorus in the Fribourg canton, Switzerland. *Geoderma.* 217-218:26-36.
  23. ROSAS, J.; ESCAMILLA, E.; RUIZ, O. 2008. Relación de los nutrimentos del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra Latinoamericana.* 26(4):375-384.
  24. ROSOLEM, C.A.; LEITE, V.M. 2007. Coffee leaf and stem anatomy under boron deficiency. *Rev. Bras. Ciênc. Solo.* 31(3):477-483.

25. SADEGHIAN KH., S. 2003. Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio sobre las propiedades químicas de suelos cultivados en café. *Cenicafé*. 54(3):242-257.
26. SADEGHIAN, S.; GARCÍA, J.C.; MONTOYA, E.C. 2006. Respuesta del cafeto a la fertilización con N, P, K y Mg en dos fincas del departamento del Quindío. *Cenicafé*. 56(4):58-69.
27. SADEGHIAN, S. 2011. Respuesta de cafetales al sol y bajo semisombra a nitrógeno y su relación con la materia orgánica del suelo. *Rev. Fac. Nal. Agr.* 64(1):5781-5791.
28. SADEGHIAN K., S.; MEJÍA M., B.; GONZÁLEZ, O.H. 2013. Acumulación de calcio, magnesio y azufre en los frutos de café (*Coffea arabica* L.) Variedad Castillo®. *Cenicafé*. 64(1):7-18.
29. SANTINATO, F.; TAVARES, T.D.O.; PRADO, R.D.M.; CAIONE, G.; SILVA, V.D.A.; SANTINATO, R. 2016. Boron doses applied to soil during coffee development. *Comunicata Scientiae*. 7(1):49-55.
30. SANTOS, E.O.J; GONTIJO, I.; SILVA, M.B.; NETO, A.P.D. 2015. Variabilidade espacial de macronutrientes em uma lavoura de café conilon no Norte do Espírito Santo. *Rev. Ciênc. Agron.* 46(3):469-476.
31. SILVA, F.M.; SOUSA, Z.M.; FIGUEIREDO, C.A.P.; SOUSA, L.H.S.; OLIVEIRA, E. 2008. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. *Ciênc. Agrotec.* 32(1):231-241.
32. WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (ed.) *Applications of soil physics*. New York, Academic Press. 350p.

Recibido: Marzo 30 de 2017

Aceptado: Septiembre 7 de 2017

#### Cómo citar:

Silva-Parra, A.; Colmenares-Parra, C.; Álvarez-Alarcón, J. 2017. Análisis multivariado de la fertilidad de los suelos en sistemas de café orgánico en Puente Abadía Villavicencio. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(2): 289-298.



# MODELOS DE REGRESIÓN PARA ESTIMAR EL PESO SECO DE ÓRGANOS Y ÁREA DEL LIMBO DEL DURAZNERO, VARIEDAD JARILLO

## REGRESSION MODELS FOR THE ESTIMATION OF THE DRY WEIGHTS OF ORGANS AND THE LIMBO AREA OF THE PEACH VARIETY JARILLO

Enrique Quevedo García<sup>1</sup>, Giovanni Orlando Cancino Escalante<sup>2</sup>, Anderson Rodrigo Barragán Torres<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ing. Agrónomo M.Sc. Profesor titular Departamento de Agronomía, Programa de Ingeniería Agronómica. Universidad de Pamplona. Doctorando en Ciencias Naturales para el Desarrollo énfasis en sistemas de producción agrícola. Universidad Nacional de Costa Rica. Tecnológico de Costa Rica y Universidad Estatal a Distancia, Heredia (Costa Rica), e-mail: enriquegarcia@unipamplona.edu.co; <sup>2</sup> Biólogo Ph.D., Profesor titular Departamento de Biología, Programa de Biología y Maestría en Biología molecular y biotecnología. Universidad de Pamplona, km 1 vía Bucaramanga-Pamplona, Norte de Santander, e-mail: gcancino@unipamplona.edu.co; <sup>3</sup> Ingeniero Agrónomo. Universidad de Pamplona, e-mail: anderson.barragan@unipamplona.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 299-310, Julio-Diciembre, 2017

### RESUMEN

Los métodos no destructivos y confiables para estimar el área del limbo y el peso seco de los órganos de durazno de la variedad Jarillo están limitados para el investigador. Por el contrario, en este estudio, se desarrollaron unos modelos estadísticos para estimar el área y el peso seco del limbo, de frutos y de ramas de la variedad Jarillo, para ser utilizados, como herramientas, para facilitar la recolección de datos. El estudio, se realizó en las montañas de Pamplona, noroeste de Colombia. Se seleccionaron 240 hojas, de 2,5 meses; 240 frutos, de 3,5 y 7 meses y 240 ramas, de 9 meses de edad, para desarrollar los modelos. Los resultados del análisis de regresión indicaron que varios modelos son adecuados para estimar el área del limbo y el peso seco de los órganos de durazno de la variedad Jarillo. Los datos observados y estimados se compararon estableciendo la relación, mediante una regresión lineal simple, para la rama y el limbo. La relación para el fruto fue de tipo cuadrático. El número de yemas, de volumen, de longitud y el diámetro basal/medio de las ramas mixtas, el peso seco del fruto, el muestreo, el diámetro longitudinal del fruto, la altitud, la longitud del limbo, el peso seco del limbo, el producto de la longitud por el ancho del limbo, el ancho del limbo, el peso seco del limbo, están involucrados en la estimación del área del limbo y el peso seco de los órganos de *Prunus persica* (L.), variedad Jarillo.

Palabras clave: Medidas lineales, dimensiones foliares, predicciones, ramas, modelado, peso seco.

### SUMMARY

Non-destructive, rapid and reliable methods for estimating the area of limb and dry weight of peach organs for the Jarillo variety are limited. Therefore, the aim of the present study was to produce a statistical model to estimate the area and dry weight of limb fruit and branches of this specific variety that can be used as a tool to facilitate data collection. The study was performed in the mountains of Pamplona, Northwest of Colombia. Two Hundred and forty leaves (240) from 2.5 months old limb, 240 fruits of 3.5 and 7 months old fruits and 240 branches of 9 months old branches were selected and used to develop the model. Results of the regression analysis indicated that several models were suitable to estimate the area limb and the dry weight. The observed and estimated data were compared by establishing the relationship by means of a simple linear regression for the branch and limb. The relation for the fruit was quadratic type. The number of buds, volume of branches, length of mixed branches and basal/mean diameter, dry weight of fruit, sampling, longitudinal diameter of the fruit, altitude, length of limb, dry weight of limb, the product of the length by the width of the limb, width of the limb, should be considered in the estimation of the area limb and dry weight of the peach organs of *P. persica* (L.) Jarillo variety.

Key words: Linear measurements, leaf dimensions, predictions, branches, modelling; dry weight.

## INTRODUCCIÓN

El *Prunus persica* L. (Batsch) es uno de los frutales comúnmente plantado en zonas del trópico alto, debido a que posee ventajas comparativas con los que se plantan en las zonas templadas (Pinzón *et al.* 2014). La producción del duraznero en Colombia, se concentra en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Norte de Santander y Santander, ubicados en la cordillera oriental, en municipios localizados en la franja altitudinal, entre los 1.600 y 3.000msnm (Carranza *et al.* 2013). El cultivar Jarillo es de origen venezolano y es sembrado, principalmente, en el departamento de Norte de Santander (Campos, 2013).

Como factor ambiental, la altitud en las localidades ejerce efectos profundos sobre la fisiología de la planta, a través del aumento de la radiación, especialmente ultravioleta y el viento, mientras que la temperatura disminuye 0,6°C cada 100m de altitud y la precipitación (a partir de 1.300-1.500msnm), se reduce (Fischer, 2005). También, Fischer *et al.* (2012) indicaron que a mayor altitud tenga el piso térmico (a partir de 1.500 msnm), se tiene menor humedad relativa. Correctas predicciones del limbo, que es la parte de la hoja sin el peciolo y que en plantas individuales permiten indagar en aspectos, como la plasticidad fenotípica, para mejorar el rendimiento (Viveros-Viveros *et al.* 2013).

En este contexto, la construcción de modelos matemáticos o estadísticos, para predecir el área del limbo y el peso seco de las plantas es de gran importancia en el campo agrícola, porque con ellos se puede prescindir de muestreos destructivos, los cuales, implican pérdida en el material de investigación y adquisición de materiales costosos de medición. Por otro lado, se describen las etapas de desarrollo de todos los cultivos agrícolas utilizando la escala BBCH (Biologische Bundesanstalt Bundessortenamt Chemische Industrie), para identificar las etapas fenológicas en plantas leñosas. Este sistema está básicamente conformado por un código de dos dígitos, donde el primero define las etapas principales con valores de 0 a 9 y, el segundo dígito, identifica el estado secundario de desarrollo (Meier *et al.* 2009).

La variación del área del limbo durante el crecimiento es el factor más influyente en los cambios del peso seco acumulado por las plantas (Muñoz *et al.* 2008; Núñez-Ramírez *et al.* 2012). El área del limbo también guarda relación con sus parámetros lineales, largo y el ancho y dicha relación puede ser descrita, mediante ecuaciones de regresión (Roberti *et al.* 2014; Jerez *et al.* 2014; Interdonato *et al.* 2015; Unigarro-Muñoz *et al.* 2015; Valbuena *et al.* 2016; Razquin *et al.* 2017).

Una medición precisa del área del limbo es esencial para comprender la interacción entre el crecimiento, el desarrollo

de los cultivos y el medio ambiente. Por lo tanto, otro método simple, barato, rápido, fiable y no destructivo, que involucre, por ejemplo, el contenido relativo de agua o el peso seco del limbo para estimar el área del limbo es necesario, con el fin de facilitar los experimentos en campo (Kumbhani *et al.* 2017).

Este estudio tuvo como objetivo determinar las mejores ecuaciones de regresión lineal múltiple, para la predicción del peso seco de los órganos y del área del limbo del duraznero, variedad Jarillo, de la misma edad del mismo origen sexual, manejo agronómico en tres localidades de la Provincia de Pamplona-Norte de Santander, tres estadios secundarios, para estimar el área del limbo (72, 75 y 87), uno, para estimar el peso seco del limbo (72); dos estadios, para estimar el peso seco del fruto (75 y 87) y un estadio principal, para hallar el peso seco de las ramas (9), siguiendo los lineamientos de la escala BBCH, para facilitar la toma de datos en campo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** El estudio, se realizó en tres localidades, donde se obtuvieron las muestras de los órganos vegetales, como se indica en la figura 1. La primera fue Pamplona, finca Las Delicias, vereda Chíchira, con coordenadas 07°22'43,6" N y 72°37'41,1" W, perteneciente a la cuenca del Catatumbo. La altitud fue de 2170msnm, temperatura media de 16°C, una precipitación de 933,9mm al año y régimen bimodal. El tipo de suelo fue un inceptisol, con pendiente de 25% y bosque seco montano bajo (bs-MB).

La segunda en Chitagá, finca el Recuerdo, vereda Carrillo, con coordenadas 07°11'15" N y 72°39'7,3" W, perteneciente a la cuenca del Orinoco. La altitud fue de 1870msnm, con temperatura media de 18°C, precipitación de 879,5mm al año. Con régimen de precipitaciones unimodal, el tipo de suelo fue inceptisol, con pendiente de 25%, ubicada en el bosque húmedo montano bajo (bh- MB).

Finalmente, en la tercera en Pamplonita, finca Bella vista, vereda Batagá, con coordenadas 07°26'18,1" N y 72°38 9" W, perteneciente a la cuenca del Catatumbo, con una altitud de 1670msnm, temperatura media 20°C, precipitación de 1200mm al año, en un régimen bimodal. El suelo fue un inceptisol, con pendiente de 25%, ubicada en el bosque seco montano bajo (bs- MB) (IGAC, 2006).

**Material vegetal.** La variedad Jarillo es de bajo requerimiento de frío, es decir, necesita para entrar en floración, menos de 400 horas frío acumuladas durante su reposo; presenta árboles francos provenientes de semilla sexual de gran tamaño, debido a la distancia de plantación de 6 a 7m entre plantas y surcos, los cuales, fueron escogidos en cada

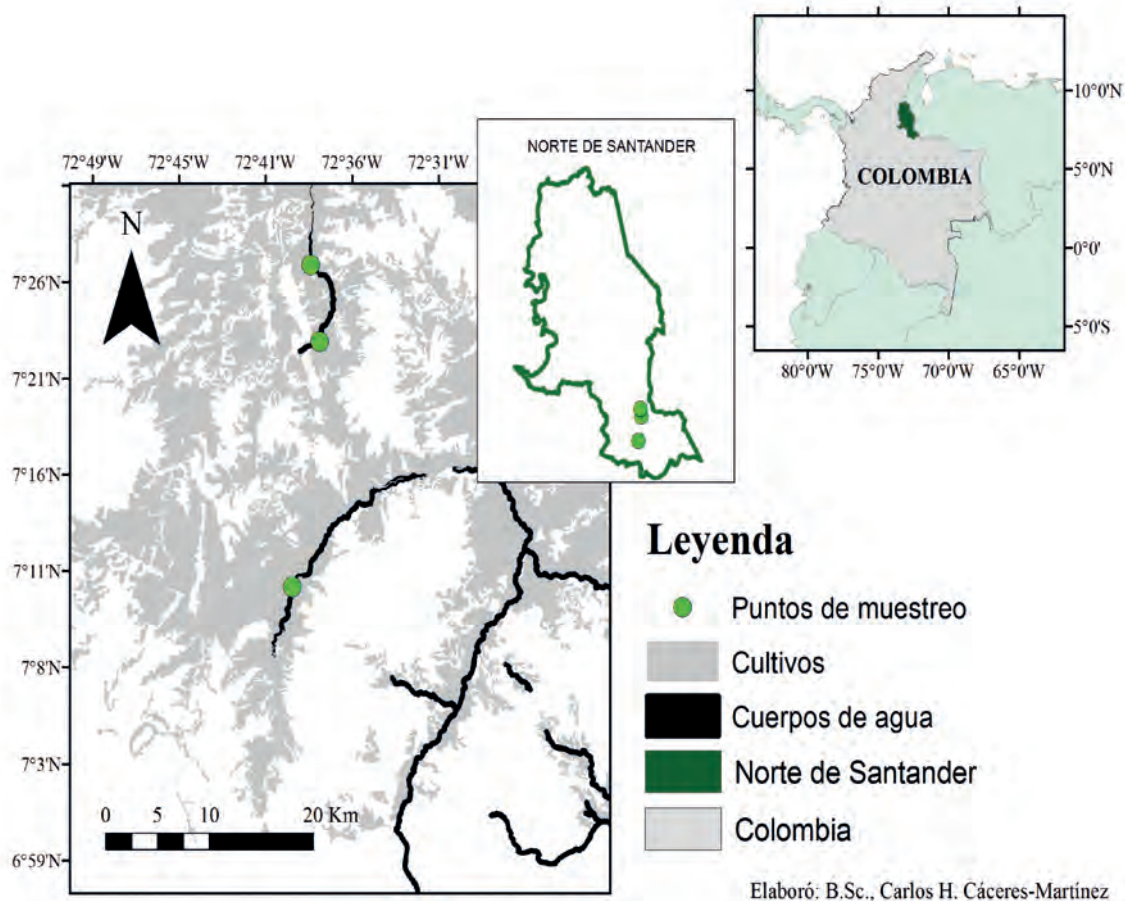


Figura 1. Ubicación de las localidades de muestreo del duraznero, variedad Jarillo, en tres diferentes altitudes. En la parte superior Pamplonita (1.670msnm), en el medio Pamplona (2.170msnm), ambas a orillas del río Pamplonita (Cuenca del Catatumbo) y en la parte inferior Chitagá (1.870msnm), a orillas del río Chitagá (Cuenca del Orinoco).

localidad, según las condiciones de pendiente de 25% y manejo agronómico forzado, usado en el trópico alto, que incluyó el mismo tipo de raleo de frutos en el estadio 72 de endurecimiento del endocarpio y podas de fructificación, al inicio de cada ciclo productivo. Se conformaron parcelas con árboles en plena producción agronómica y con edad mayor a los diez años, según lo describen Avilán *et al.* (2009) y Campos (2013).

**Muestreo.** La colecta del material vegetal, se realizó en la franja altitudinal ubicada entre 1.670 y 2.170msnm, donde se ubican la mayoría de los cultivos de duraznero, de la provincia de Pamplona; se fijó el muestreo por localidad en cultivos, que tenían la misma pendiente, la misma edad en los árboles, el mismo origen sexual, el mismo estadio de desarrollo logrado con el manejo forzado, igual tipo de poda y raleo, durante el ciclo productivo.

De los árboles, se tomaron 10 frutos de apariencia similar en color y en tamaño, cosechados de la parte media de la rama mixta, en dos estadios secundarios de desarrollo, a los 72 dddd (días después de la defoliación en el estadio secundario 75) y a los 172 dddd (87); estas ramas son las que presentan mayor cantidad de yemas reproductivas y estaban ubicadas en el tercio medio. En 10 hojas, ubicadas en el tercio medio del árbol en la parte expuesta al sol y 10 ramas mixtas del tercio medio, se les midió las variables regresoras, para estimar el peso seco de frutos, limbo, rama mixta y el área del limbo.

Para el muestreo de árboles en cada localidad, se utilizó el método del hipercubo latino condicional, propuesto por Minasny *et al.* (2012), una red rígida, donde se identificaron, primero, 48 árboles, ubicados en 6 filas y 8 columnas, incorporando, como variable auxiliar, el área del involucro foliar del árbol de forma elíptica, con la relación asociada

al área de una elipse,  $\pi ab$ , donde  $a$ , corresponde al semi-eje mayor (largo en metros) y  $b$ , al semi-eje menor (ancho en metros). Con la ayuda de la librería *clhs* del software R, se generó una muestra de 8 árboles por localidad. Además, también formaron parte de las variables auxiliares del muestreo condicional, el largo (eje mayor en cm) y ancho (eje menor en cm), del limbo, su producto ( $\text{cm}^2$ ), el peso seco del limbo (g), el área del limbo ( $\text{cm}^2$ ), el diámetro longitudinal del fruto (cm), el muestreo que corresponde al día que se recolectaron las muestras vegetales, la altitud o la localidad (m), la longitud de la rama mixta (cm) ubicada en el estrato medio del árbol, la relación diámetro basal/medio de la rama, el número de yemas por ramas mixtas y el volumen de la rama mixta ( $\text{cm}^3$ ).

Los muestreos, se realizaron en los siguientes estadios fenológicos, utilizando la escala BBCH: la etapa secundaria 72: ovario verde rodeado de corona de pétalos que mueren, que corresponde al inicio del crecimiento del fruto; la etapa secundaria 75: fruto de aproximadamente la mitad del tamaño final y es cuando se presenta el endurecimiento del endocarpio y, en la etapa secundaria 87: fruto maduro para la cosecha y 9: senescencia y comienzo del reposo (Mounzer *et al.* 2008).

El área del limbo fue determinada en 240 hojas maduras del tercio medio del árbol, del tercio medio de la rama mixta y cercana al fruto en formación, con 2,5 meses de edad, aproximadamente, en las tres localidades, mediante el uso de ImageJ, que es un programa de procesamiento de imagen digital, de dominio público, programado en Java y desarrollado en el National Institute of Health, de Estados Unidos. El proceso empezó con la descarga de la primera foto de la hoja completa de duraznero recogida en campo, en junio de 2014 y la inclusión del largo del limbo, como parámetro de entrada de esa misma hoja, el cual, se midió, previamente, con un pie de rey electrónico, marca *Ubermann*; con estos parámetros, el software estimó el área del limbo. Además, se midió el ancho (ANL) y largo del limbo (LONL) y obtuvo su producto, el diámetro longitudinal fruto (DLF), que fue el mayor al principio del crecimiento del fruto, el diámetro basal (DB), el diámetro medio (DM) y el volumen de rama mixta (VR); para hallar el volumen de las ramas, se aplicó la fórmula del cono truncado, longitud de ramas mixtas (LR), diámetro basal/medio (DB/DM).

El peso seco, se midió después de secados los limbos, las ramas mixtas y los frutos. Se usó el método tradicional de secado de muestras, para la determinación de peso seco, que se realiza mediante el uso de una estufa de circulación forzada, a  $65^\circ\text{C}$ , durante un lapso que varió entre 24 a 72 horas, dependiendo del tipo de muestra del órgano a analizar, empleando un horno eléctrico de secado de circulación forzada de aire caliente seco, marca *Mettler*

Toledo, de fabricación estadounidense. El peso seco, se obtuvo mediante una balanza electrónica, marca *Lexus*, de fabricación China, con aproximación de dos dígitos, rango de medida 3.600g y precisión de 0,01g. Se contó el número de yemas vegetativas y reproductivas por rama mixta, recolectada en el tercio medio del árbol. Se tuvo en cuenta, como variable regresora, el muestreo y la altitud, para estimar el peso seco del fruto.

Por último, los muestreos conformaron una matriz de 240 observaciones, discriminadas en 80, por localidad. Las variables medidas, se asociaron a la medición del peso seco de 80 frutos, al peso seco y al área de 80 limbos y al peso seco de 80 ramas mixtas, por localidad. Para recolectar la información, se tuvo en cuenta las tres etapas de crecimiento para limbos (72, 75 y 87), dos para frutos (75 y 87) y uno para ramas mixtas (9), para un total de 240 limbos, por estadio, en el 72, 75 y 87, ubicadas en el tercio medio del árbol; 240 frutos por muestreo, en el estadio 75 y en el estadio 87, ubicados en el tercio medio de la rama mixta y para 240 ramas mixtas, ubicadas en el tercio medio del árbol, en el periodo de reposo del cultivo (Estadio principal 9).

**VARIABLES REGRESORAS.** En el estudio, se involucró una matriz de datos construida con la información obtenida en los siguientes estadios secundarios de desarrollo: inicio de crecimiento del fruto (72), endurecimiento del endocarpio (75), inicio de la madurez del fruto (87) y uno principal, correspondiente al estadio de reposo del cultivo (9), en la variedad *jarillo*, para el cual, se dispuso de diferentes variables del órgano a analizar. Para hallar el área del limbo (AL), se usó: el ancho del limbo (ANL), el largo del limbo (LONL), el producto de LONL x ANL y el peso seco del limbo (PSL); para el peso seco del limbo (PSL): ancho del limbo (ANL) y largo del limbo (LONL); para hallar el peso seco del fruto (PSF): largo del limbo (LONL), diámetro longitudinal del fruto (DLF), área del limbo (AL); MU: muestreo por estadio de desarrollo y ALT altitud o localidad y para el peso seco de la rama (PSR): número de yemas (NY), volumen de la rama mixta (VR), longitud de la rama mixta (LR) y diámetro basal de la rama /diámetro medio de la rama (DB/DIM).

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO.** Se escogieron los mejores modelos de regresión lineal múltiple, utilizando el paquete estadístico *SPPS 23*, con el método de selección de variables *Stepwise*, donde se introdujeron las variables regresoras y las respuestas, para estimar el área y el peso seco del limbo, de los frutos y de las ramas mixtas, teniendo en cuenta que el  $R^2$  fuera, al menos, de 0,7, que es el estadístico que representa la proporción de variación explicada por la regresión; el  $R^2$  ajustado, la significancia del modelo en su anava, la suma de cuadrados del error, el cuadrado medio del error experimental y la significancia de los parámetros de la regresión. Con respecto a la validación de los modelos de regresión, se

tuvieron en cuenta los siguientes supuestos, que son: linealidad, independencia, homocedasticidad, normalidad y no-colinealidad. Por último, se realizó comparación de los datos observados con los estimados, para observar la relación entre ellos, por medio de una regresión lineal simple, para la rama y el limbo. La regresión para el fruto fue de tipo cuadrático.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se muestra las ecuaciones halladas, para estimar el área y el peso seco del limbo, del fruto y de la rama mixta y la regresión entre los datos observados y los estimados, para el área del limbo y los pesos secos de cada órgano. Según la tabla 1, el mejor modelo para estimar el área del limbo, en condiciones

de las localidades al inicio del crecimiento del fruto, fue  $AL = -4,998 + 0,294(LONLxANL) + 4,541ANL + 29,564$  PSL, con un  $R^2 = 0,861$  y un comportamiento normal de los datos, cumpliendo con los supuestos establecidos, para este modelo de regresión. En la figura 2A, se muestra la estrecha relación lineal que se presenta entre los datos estimados con los datos observados e indica que se puede predecir el área del limbo y, con ella, se obtuvo un  $R^2 = 0,864$ , tal como lo muestra, en forma similar, el trabajo realizado por Goharnejad *et al.* (2014). Para la relación entre el área del limbo observada y estimada, mediante distintos métodos, por Razquin *et al.* (2017), obtuvieron que  $y = 465 + 0,96x$  y un  $R^2 = 0,80$  valor que se encuentra por debajo del hallado en este estudio.

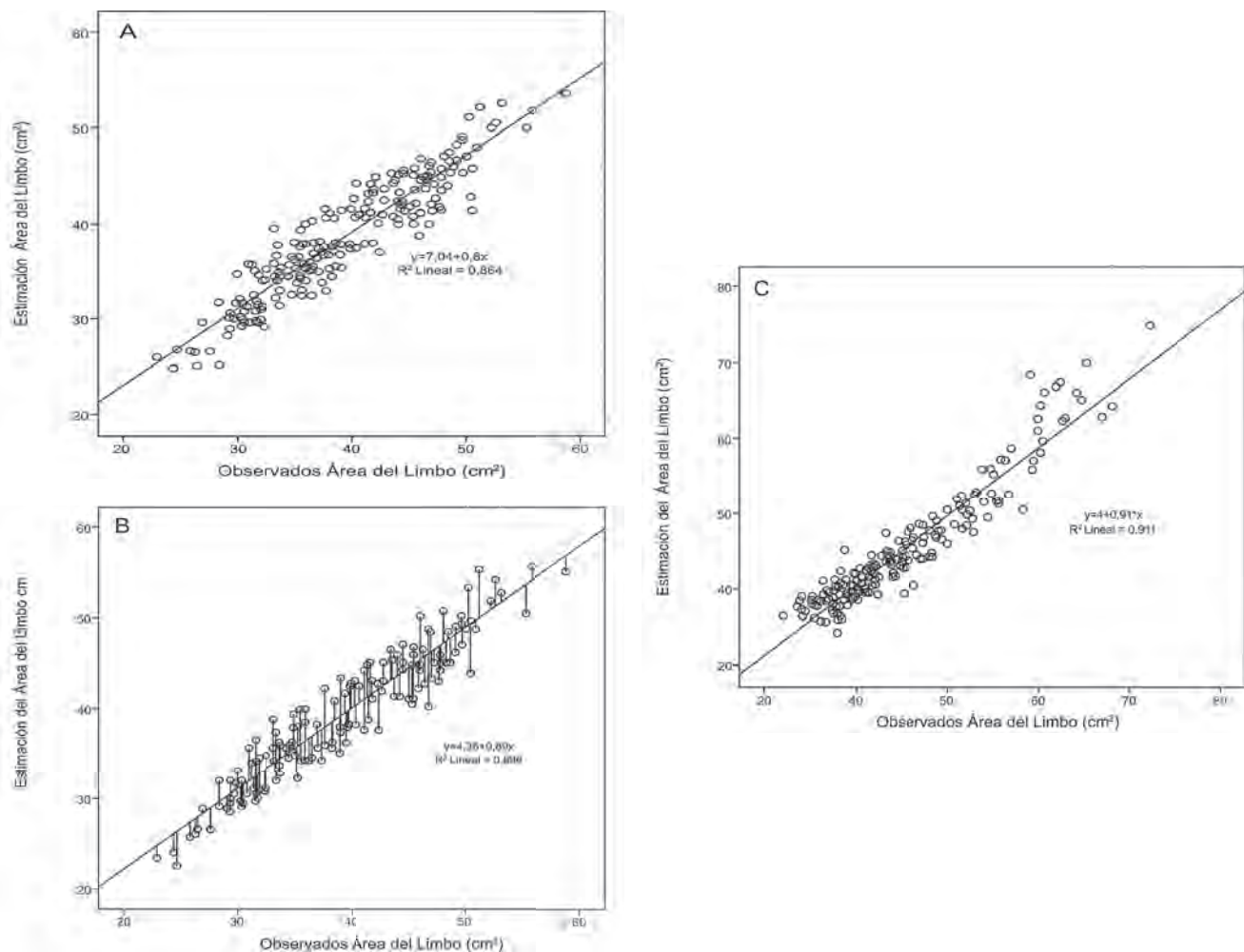


Figura 2. Relación entre los datos predichos y observados, obtenidos de la variable fisiológica área foliar del limbo, para las tres localidades: A) En el estadio 72 (inicio del crecimiento del fruto); B) En el estadio secundario 75 (endurecimiento del endocarpio) y C) En el estadio secundario 87 (Madurez del fruto) del duraznero, variedad Jarillo.

Tabla 1. R cuadrado de los modelos, anavas y coeficientes estimados, para los modelos de regresión lineal múltiple, para estimar el área del limbo, en tres estadios de desarrollo del fruto y tres localidades, para el duraznero, variedad Jarillo.

ECUACIÓN		1	2	3		
estadio secundario 72 (comienzo del crecimiento del fruto)		AL = 4,515 + 0,570 LONLxANL	AL = -3,958 + 0,398 LONLxANL + 4,517ANL	AL = -4,998 + 0,294LONLxANL + 4,541ANL + 29,564PSL		
R <sup>2</sup> modelo		0,800	0,837	0,863		
R <sup>2</sup> modelo ajustado		0,799	0,835	0,861		
Anava		***	***	***		
Valor de β1, β2, β3 y β4		*** y ***	***, *** y ***	***, ***, *** y ***		
ECUACIÓN		5	6	7	8	9
estadio secundario 75 (endurecimiento del endocarpo)		AL = 7,564 + 0,553 LONLxANL	AL = -3,877 + 0,330LONLxANL + 6,043ANL	AL = - 38,479 - 0,046 LONLxANL + 9,140ANL + 3,051 LONL	AL = -35,826 + 8,517ANL + 2,857LONL	AL = -34,388 + 8,338ANL + 2,561LONL + 12,45 OPSL
R <sup>2</sup> modelo		0,747	0,795	0,885	0,884	0,889
R <sup>2</sup> modelo ajustado		0,746	0,794	0,884	0,883	0,888
Anava		***	***	***	***	***
Valor de β1, β2, β3 y β4		*** y ***	** , *** y ***	***, NS , *** y ***	***, *** y ***	***, ***, *** y ***
ECUACIÓN		10	11	12	13	
estadio secundario 87 (madurez del fruto)		AL = -32,625 + 4,880LONL	AL = -26,819 + 3,884LONL + 0,150LONLxANL	AL = 167,633 - 9,396LONL + 3,007LONLxANL - 41,673ANL	AL = 173,907 - 10,104LONL + 3,096LONLxANL - 43,147ANL + 15,573PSL	
R <sup>2</sup> modelo		0,783	0,823	0,903	0,903	
R <sup>2</sup> modelo ajustado		0,782	0,821	0,902	0,911	
Anava		***	***	***	***	
Valor de β1, β2, β3, β4 y β5		*** y ***	***, *** y ***	***, ***, *** y ***	***, ***, ***, *** y ***	

Las variables regresoras para los modelos fueron: AL: área del limbo (cm<sup>2</sup>), LONL: longitud del limbo (cm), ANL: ancho del limbo (cm), PSL: peso seco del limbo (g), LONLxANL: Largo por ancho del limbo. \*\*: Significativos con un p=0,01. \*\*\*: Significativos con un p=0,001. NS: No significativo.

El peso seco del limbo se incluyó en la ecuación y se puede tomar como parámetro para el desarrollo de modelos lineales, para estimar el área del limbo en plantas, tal como lo muestra en su trabajo Kumbhani *et al.* (2017) y las dimensiones lineales del limbo, como lo describen Quevedo *et al.* (2012), Unigarro-Muñoz *et al.* (2015) y Buttaró *et al.* (2015). Valbuena *et al.* (2016) estimaron el área del limbo en *B. brizanta* usando la ecuación con variables regresoras lineales asociadas al limbo, de la siguiente manera:  $bo + b3 X3$ , donde,  $bo =$  constante y  $b3 X3 =$  largo por ancho de las hojas y obtuvieron un coeficiente de regresión de 0,67, valor que se encuentra por debajo del hallado en este estudio.

Según el anava para la regresión de la tabla 1, el mejor modelo que se ajustó en el momento del endurecimiento del endocarpio del fruto fue la ecuación  $AL = -35,826 + 8,517ANL + 2,857LONL$ . Esta ecuación utiliza, para estimar el área del limbo, solo dimensiones lineales, lo que le da ventajas para su medición en campo y por su bajo costo, tal como lo demuestran trabajos desarrollados por Pandey & Singh (2011), Unigarro-Muñoz *et al.* 2015, Tondjo *et al.* (2015) y Casierra-Posada *et al.* (2017). Los datos recabados presentaron una distribución normal, validando los supuestos del modelo y un  $R^2 = 0,884$ . En la figura 2B, se puede observar la relación estrecha que hay entre los datos estimados y los observados, que tuvieron un ajuste de  $R^2 = 0,896$ ; esto indicó, que la estimación del área del limbo es significativa, para esta ecuación, en el endurecimiento del endocarpio.

Las variables independientes ancho del limbo y el largo del limbo fueron las que mejor se comportaron, para estimar el área del limbo. Otro trabajo similar sobre hojas lanceoladas, como la del duraznero, fue desarrollado por Jerez *et al.* (2014). Según los resultados del anava que se muestran la tabla 1, el mejor modelo que se ajustó al momento de la cosecha, para estimar el área del limbo, fue el representado por la ecuación  $AL = 173,907 - 10,104LONL + 3,096(LONL \times ANL) - 43,147ANL + 15,573PSL$ .

Los datos conseguidos tuvieron un comportamiento normal y un  $R^2 = 0,914$ . En la figura 2C, se muestra la relación que tienen los datos observados con los estimados del área del limbo, formando una línea recta y con un ajuste de  $R^2 = 0,911$ . Este resultado es similar a los resultados obtenidos por Burgos *et al.* (2010) y Goharnejad *et al.* (2014), quienes encontraron que, para el cultivo de yuca, el área foliar puede ser estimada usando simples mediciones lineales, tales como la longitud del pecíolo, la sumatoria de la longitud de los lóbulos de la hoja palmeada y la superficie del lóbulo central. Las variables independientes largo del limbo, el producto largo por ancho del limbo, ancho del limbo y el peso seco del limbo son las que mejor sirvieron, para estimar el área del limbo.

Por otro lado, la distribución homogénea evidencia una baja dispersión de los datos observados respecto a los estimados en este estudio y este modelo permite valorar el área foliar en este estado del ciclo del cultivo, tal como lo afirman Interdonato *et al.* (2015).

Según los resultados que arroja el anava, presente en la tabla 2, el mejor modelo que se ajustó, para estimar el peso seco del limbo en el momento del inicio de la formación del fruto, fue el representado por la ecuación  $PSL = 0,022 + 0,005AL + 0,006LONL$ . Los datos recabados tuvieron un comportamiento normal, cumpliendo con todos los supuestos de validación del modelo y un  $R^2 = 0,576$ , que es inferior a 0,7 y no permite estimar esta variable fisiológica. La figura 3A muestra la relación lineal que tienen los datos observados con los estimados, donde se ajustan con un  $R^2 = 0,597$  e indicando que, con ésta, no se puede estimar el peso seco del limbo del duraznero, variedad Jarillo. Los resultados fueron similares a los obtenidos por Quevedo *et al.* (2012), quienes realizaron una figura similar a la figura 3A, donde graficaron la relación lineal entre los datos estimados y los observados, a partir de la ecuación del peso seco del limbo. Las variables independientes área y largo del limbo son útiles, para estimar el peso seco del limbo en el duraznero, variedad Jarillo, concordando el uso de estas variables regresoras con estudios adelantados por Çırak *et al.* (2005) y Roberti *et al.* (2014), pese que, al ser menor a 0,7 el  $R^2$ , el modelo hallado no permite estimar el peso seco del limbo.

Según el anava, de la tabla 2, el mejor modelo que se ajustó en las condiciones evaluadas en el endurecimiento del endocarpio del fruto y en la cosecha del fruto, para estimar el peso seco del fruto, fue  $PSF = 62,985 - 10,452MU + 10,232DLF - 4,231ALT - 0,663AL + 2,067LONL$ , con un  $R^2 = 0,8218$ . En la figura 3B, se muestra una tendencia curvilínea de los datos estimados de la materia seca del fruto respecto a los observados, que se ajusta a un  $R^2 = 0,869$ .

Los datos registrados no tuvieron un comportamiento normal violando, así, este supuesto. Se transformaron las variables para que siguieran la tendencia de la campana de Gauss, pero al final, se dejaron los datos con comportamiento no normal. Esta falta de normalidad se debe, probablemente, a la naturaleza misma de la variable respuesta que tomó, por tratarse de frutos de dimensiones variables por localidades. La inclusión en la ecuación de regresión de la altitud, como variable regresora, supone que las localidades se comportan en forma diferencial ante la respuesta presentada por el peso seco del fruto, como lo hallado en el análisis discriminante por Quevedo *et al.* (2017), al manejar variables morfológicas asociadas al fruto e, indicaría, que el manejo de los datos de esta variable fisiológica debe ser por localidad y no

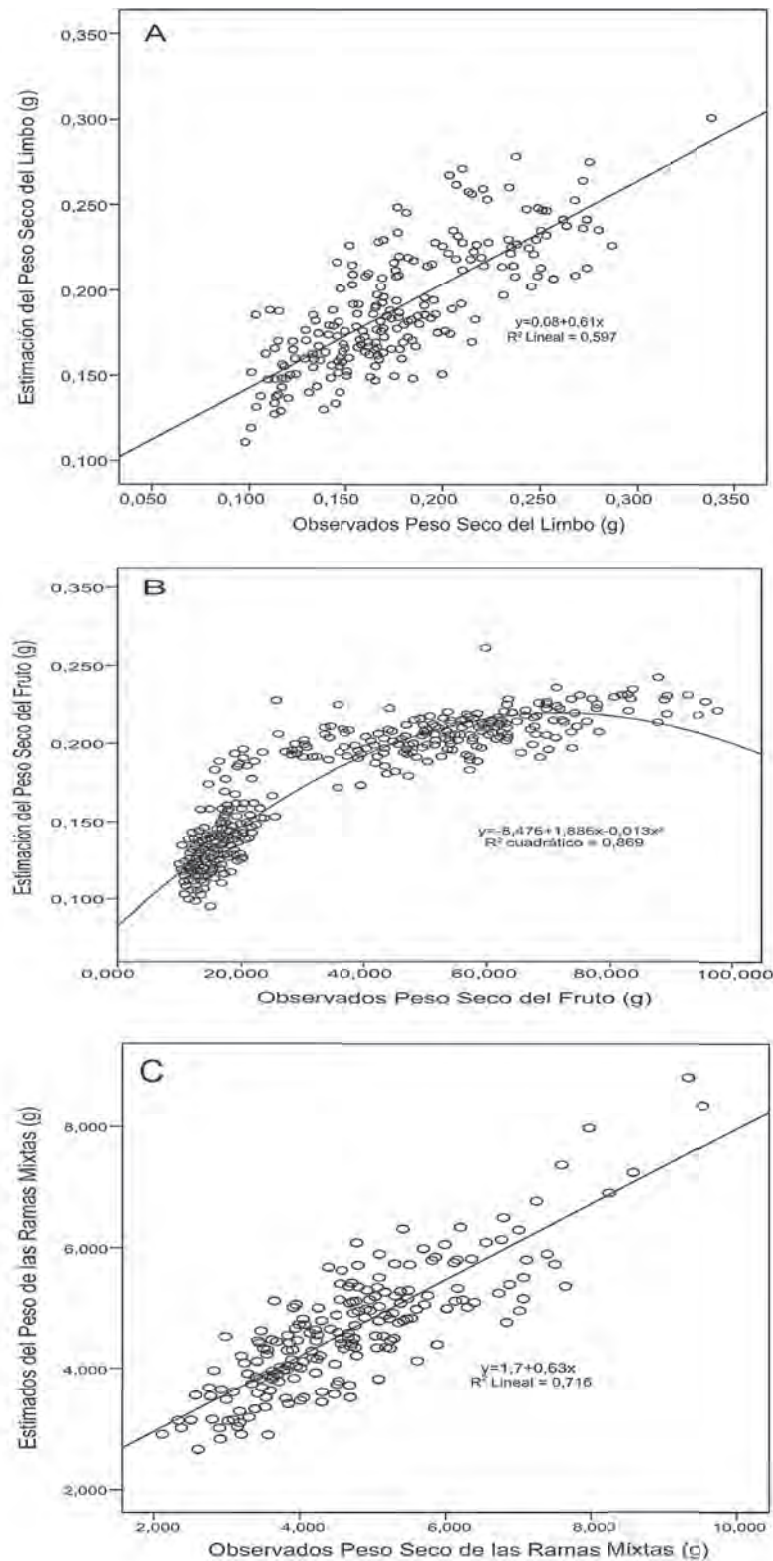


Figura 3. Relación entre los datos predichos y observados, obtenidos del carácter fisiológico: A) Peso seco del limbo, para las tres localidades, en el estadio secundario 72 (al inicio del crecimiento del fruto); B) Peso seco del fruto, en los estadios secundarios 75 (durante el endurecimiento del endocarpio) y 87 (durante la madurez del fruto) y C) Peso seco de las ramas en el estadio 9 (Estadio de reposo del cultivo), del duraznero, variedad Jarillo.



Tabla 2. R cuadrado del modelo, anavas y coeficientes estimados, para los modelos de regresión lineal múltiple, para estimar el peso seco del limbo, en un estadio de desarrollo del fruto, del fruto en dos estadios de desarrollo y de la rama, en un estadio de desarrollo del cultivo que se hizo en tres localidades, para el duraznero, variedad Jarillo.

ECUACIONES PESO SECO DEL LIMBO		14	15			
estadio secundario 72 (comienzo del crecimiento del fruto)		$PSL = 0,016 + 0,006AL$	$PSL = -0,022 + 0,005AL + 0,006LONL$			
R <sup>2</sup> modelo		0,554	0,576			
R <sup>2</sup> modelo ajustado		0,552	0,572			
Anava		***	***			
Valor de β1, β2 y β3		NS y ***	NS, *** y ***			
ECUACIONES PESO SECO DEL FRUTO		16	17	18	19	20
estadio secundario 87 (endurecimiento del endocarpio)		$PSF = 78,394 - 6,493MG$	$PSF = -68,242 - 8,619MU + 5,321DLF$	$PSF = 69,108 - 9,561MU + 7,601DLF - 2,534ALT$	$PSF = -78,111 - 10,232MU + 10,237DLF - 3,702ALT - 3,41AL$	$PSF = -62,985 - 10,452MU + 10,232DLF - 4,231AL - 0,663ALT + 2,067LONL$
R <sup>2</sup> modelo		0,787	0,799	0,807	0,819	0,823
R <sup>2</sup> modelo ajustado		0,786	0,798	0,806	0,817	0,8218
Anava		***	***	***	***	***
Valor de β1, β2, β3, β4, β5 y β6		*** y ***	***, *** y ***	***, ***, *** y ***	***, ***, ***, *** y ***	***, ***, ***, ***, *** y ***
ECUACIONES PESO SECO DE LAS RAMAS MIXTAS		21	22	23	24	
estadio 9 (estadio de reposo del cultivo)		$PSR = 0,979 + 0,136NY$	$PSR = -1,204 + 0,108NY + 0,097VR$	$PSR = 0,265 - 0,103NY + 0,171VR - 0,076LR$	$PSR = 3,185 - 0,097NY + 0,204VR - 0,087LR - 2,508DB/DM$	
R <sup>2</sup> modelo		0,783	0,823	0,903	0,911	
R <sup>2</sup> modelo ajustado		0,782	0,821	0,902	0,903	
Anava		***	***	***	***	
Valor de β1, β2, β3, β3 y β5		*** y ***	***, *** y ***	***, ***, *** y ***	***, ***, ***, *** y ***	

Las variables regresoras para los modelos fueron: **PSL**: peso seco del limbo (g), **LONL**: longitud del limbo (cm), **AL**: área del limbo (cm<sup>2</sup>), **PSF**: peso seco del fruto (g), **MG**: Muestreo, **ALT**: altitud; **DLF**: diámetro longitudinal del fruto.; **AL**: área del limbo (cm<sup>2</sup>); **LONL**: longitud del limbo.; **PSF**: peso seco del fruto (g); **PSR**: peso seco de las ramas mixtas; **NY**: número de yemas, **VR**: volumen de ramas (cm<sup>3</sup>), **LR**: longitud de la rama (cm), **DB/DM**: diámetro basal de la rama/diámetro medio de la rama. \*\*: Significativos con un p < 0,01. \*\*\*: Significativos con un p < 0,001: NS: No significativo.

combinado de las tres y por estadio fenológico, sin combinar varios de ellos, porque aumenta la variabilidad.

Según los resultados del anava, que se muestran en la tabla 2, el mejor modelo que estimó el peso seco de la rama mixta durante el estadio principal de reposo del cultivo fue  $PSR=3,185+0,097NY+0,204VR-0,087LR-2,508DB/DM$ , que proporciona evidencia para afirmar que el número de yemas, el volumen, la longitud y la relación diámetro basal/medio de las ramas mixtas, permiten estimar el peso seco de las mismas; el modelo escogido en este estadio de desarrollo del cultivo tenía un coeficiente de determinación ajustado de  $R^2=0,903$ . En la figura 3C, se muestra que los datos observados, respecto a los estimados del peso seco de las ramas mixtas, se encuentran agrupados linealmente y que estiman el peso seco de las ramas mixtas, en condiciones del estudio, con un ajuste del  $R^2$ , del 0,716, que corresponde al estadio de reposo del cultivo e, indicaría, que es recomendable recolectar los datos de las variables regresoras en ese momento, para estimar el peso seco de las ramas, debido al mejor ajuste que se obtuvo.

Barrero *et al.* (2015) utilizó la regresión logarítmica, para estimar el peso seco de ramas, de una especie de uso forestal, encontrando en su trabajo coeficientes de determinación y determinación ajustado, de 0,944 y 0,943, respectivamente, algo mayor al encontrado en este estudio de coeficientes de determinación y determinación ajustado, de 0,911 y 0,903, respectivamente.

Por otro lado, Ferrando *et al.*, en 2000/2001, hallaron en su trabajo, una ecuación para estimar el peso seco de las ramas mixtas, usando la ecuación  $y=3,276+0,788x$ , con un  $R^2=0,85$  y un  $p<0,01$ , donde  $X=DAP^2$  (diámetro a la altura del pecho en cm)\* $H$ =altura del árbol en m.

Con los modelos electos, se pudo estimar el área del limbo, el peso seco del limbo, fruto y ramas mixtas, en las condiciones evaluadas por estado de desarrollo, debido a que los datos se comportaron de una manera normal y no fue necesario hacer transformación de variables, con excepción de la ecuación escogida, para estimar el peso seco del fruto. Además, cumplen con los supuestos de validación del modelo y tiene significancia en la suma de cuadrados, suma de cuadrados ajustados y valores bajos en sus cuadrados medios del error.

Graficando los valores observados contra los estimados en cada uno de los escenarios planteados para cada ecuación existió una relación significativa, con tendencia cuadrática, en el caso del peso seco del fruto y ajuste del  $R^2$ , por encima del 0,7, con excepción del peso seco del limbo. De acuerdo con lo anterior, se puede concluir, que la estimación del área del limbo puede ser predicha con base en la ecuación de regresión, hallada al inicio del crecimiento del fruto  $AL=-$

$4,998+0,294(LONLxANL)+4,541ANL+29,564PSL$ ; por esta ecuación, puede ser explicado el 86,1% de la variabilidad total existente en el limbo.

Durante el estadio del endurecimiento del endocarpio  $AL=35,826+8,517ANL+2,857LONL$ ; por esta ecuación, puede ser explicado el 88,3% de la variabilidad total existente en el área del limbo. El mejor modelo que se ajustó para estimar el área del limbo durante la cosecha del fruto fue  $AL=173,907-10,104LONL+3,096(LONLxANL)-43,147ANL+15,573PSL$ ; por esta ecuación, puede ser explicado el 90,03% de la variabilidad total existente en el área del limbo.

El peso seco del limbo no puede ser estimado satisfactoriamente en el inicio del crecimiento del fruto, por  $PSL=0,022+0,005AL+0,006LONL$ , porque con esta ecuación, apenas puede ser explicado el 57,2% de la variabilidad total existente en el peso seco del limbo. El peso seco del fruto puede ser estimado satisfactoriamente en endurecimiento del endocarpio y cosecha, por  $PSF=62,985-10,452MU+10,232DLF-4,231ALT-0,663AL+2,067LONL$ ; por esta ecuación, puede ser explicado el 82,18% de la variabilidad total existente en el peso seco del fruto.

El peso seco de las ramas puede ser estimado satisfactoriamente, por  $PSR=3,185+0,097NY+0,204VR-0,087LR-2,508DB/DM$  y por esta ecuación, puede ser explicado el 91,10% de la variabilidad total existente en el peso seco de las ramas mixtas.

Lo anterior indica que las variables regresoras número de yemas, volumen de las ramas, longitud de las ramas mixtas y el diámetro basal/medio, peso seco del fruto, muestreo, diámetro longitudinal del fruto, altitud o localidad, largo del limbo, peso seco del limbo, área del limbo, el producto del largo por el ancho del limbo, ancho del limbo, peso seco del limbo pueden ser usadas según sea el caso a analizar, para estimar el peso seco de los órganos y el área foliar de *P. persica* (L.) (Batsch), variedad Jarillo.

**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 de Pamplona, los productores Carlos Alberto Portilla y William Eduardo Flórez y los autores.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AVILÁN, L.; SOTO, E.; PÉREZ, M.; MARÍN, C.; RODRÍGUEZ, M.; RUIZ, J. 2009. Comportamiento fenológico de la raza antillana de aguacate en la

- región centro-norte costera de Venezuela. Agron. Trop. (Venezuela). 59(1):5-14.
2. BARRERO, M.H.; ARGUELLE, W.T.; BRAVO-IGLESIAS, J.A.; VIDAL, C.A.; AJETE, H.A.; CASTILLO-EDUA, B.R. 2015. Estimación de la biomasa de ramas secas en plantaciones de *Pinus maestrensis* Bisse de la provincia Granma, Cuba. Rev. Cubana de Ciencias Forestales, Vol. 3(1). Disponible desde Internet en: <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/407237.pdf> (con acceso 01/08/2017).
  3. BURGOS, A.M.; AVANZA, M.M.; BALBI, C.N.; PRAUSE, J.; ARGÜELLO, J.A. 2010. Modelos para la estimación no destructiva del área foliar de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Krantz) en la Argentina. Agriscientia (Argentina). 27(1):55-61.
  4. BUTTARO, D.; ROUPHAEL, Y.; RIVERA, C.M.; COLLA, G.; GONNELLA, M. 2015. Simple and accurate allometric model for leaf area estimation in *Vitis vinifera* L. genotypes. Photosynthetica (República Checa). 53(3):342-348.
  5. CAMPOS, T.DEJ. 2013. Capítulo 4: Especies y variedades de hoja caduca en Colombia. In: Miranda, D.; Fischer, G.; Carranza, C. Los frutales caducifolios en Colombia - situación actual, sistemas de cultivo y plan de desarrollo, Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá. p.47-64.
  6. CASIERRA-POSADA, F.; ZAPATA-CASIERRA, V.; CUTLER, J. 2017. Comparación de métodos directos e indirectos para la estimación del área foliar en duraznero (*P. persica*) y ciruelo (*Prunus salicina*). Rev. Colomb. Cienc. Hortic. (Colombia). 11(1):30-38.
  7. CARRANZA, C.; MIRANDA, D.; FISCHER, G. 2013. Capítulo 5: Zonificación actual de los sistemas de producción de frutales caducifolios en Colombia. In: Miranda, D.; Fischer, G.; Carranza, C. Los frutales caducifolios en Colombia - situación actual, sistemas de cultivo y plan de desarrollo, Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá. p.67-86.
  8. ÇIRAK, C.; ODABAŞ, M.S.; SAĞLAM, B.; AYAN, A.K. 2005. Relation between leaf area and dimensions of selected medicinal plants. Res. Agr. Eng. (Turquía). 51(1):13-19.
  9. FERRANDO, J.J.; GOYA, J.F.; BARRERA, M.D.; YAPURA, P.F.; FRANGI, J.L. 2000/2001. Biomasa y productividad de bosques de *Austrocedrus chilensis* en rio Negro Argentina. Rev. Fac. Agron. La Plata (Argentina). 104(2):139-149.
  10. FISCHER, G. 2005. Aspectos de la fisiología aplicada de los frutales promisorios en cultivo y poscosecha. Rev. Comalfi (Colombia) 32(1):22-34.
  11. FISCHER, G.; ALMANZA-MERCHÁN, P.J.; RAMÍREZ, F. 2012. Source-sink relationships in fruit species. A review. Rev. Colomb. Cienc. Hortic. 6 (2):238-253.
  12. GOHARNEJAD, A.; ZAREI, A.; TAHMASEBI, P. 2014. Comparing multiple regression, principal component analysis, partial least square regression and ridge regression in predicting rangeland biomass in the semi steppe rangeland of Iran. Environment and Natural Resources J. (Tailandia). 12(1):1-21.
  13. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI -IGAC-. 2006. Estudio general de suelos y zonificación de tierras: del departamento de Norte de Santander. 2.<sup>a</sup> Edición. Bogotá, IGAC, Colombia. 359p.
  14. INTERDONATO, R.; ROMERO, J.I.; BAS NAHAS, S.S.; ROBERTI, J.O.; RODRÍGUEZ R., J.A.; ROMERO, E.R. 2015. Estimación no destructiva del área foliar por planta en sorgos bioenergéticos. Rev. Agron. Noroeste Argent. (Argentina). 35(1):51-53.
  15. JEREZ, M.E.; MARTÍN, M.R.; DÍAZ, H.Y. 2014. Estimación de la superficie foliar en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) por métodos no destructivos. Comunicación corta. Cultivos Tropicales (Cuba). 35(1):57-61.
  16. KUMBHANI, N.R.; KUVAD, R.P.; THAKER, V.S. 2017. Development of linear model for leaf area measurement of two medicinally important plants: *Helicteres isora* L. and *Vitex negundo* L. J. App. Biol. Biotech. (India). 5(03):057-060.
  17. MEIER, U.; BLEIHOLDER, H.; BUHR, L.; FELLER, C.; HACK, H.; HEß, M.; LANCASHIRE, P.D.; SCHNOCK, U.; STAUB, R.; VAN DEN BOOM, T.; WEBER, E.; ZWARGER, P. 2009. The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants – history and publications. J. für Kulturpflanzen. 61(2):41-52.
  18. MINASNY, B.; MALONE, B.P.; MCBRATNEY, A.B. 2012. Digital soil assessment and beyond. CRC Press, Taylor & Francis Group, London. 482p.
  19. MOUNZER, O.H.; CONEJERO, W.; NICOLA ´S, E.; ABRISQUETA, I.; GARCÍA-ORELLANA, Y.V.; TAPIA,

- L.M.; VERA, J.; ABRISQUETA, J.M.; RUIZ-SÁNCHEZ, M.DELC. 2008. Growth pattern and phenological stages of early-maturing peach trees under a Mediterranean climate. *HortScience* (Estados Unidos). 43(6):1813-1818.
20. MUÑOZ, F.; ESPINOSA, M.; CANCINO, J.; RÚBILAR, R.; HERRERA, M. 2008. Efecto de poda y raleo en el área foliar de *Eucalyptus nitens*. *Bosque* (Chile). 29(1):44-51.
21. NÚÑEZ-RAMÍREZ, F.; GRIJALVA-CONTRERAS, R.L.; MACÍAS-DUARTE, R.; ROBLES-CONTRERAS, F.; CECEÑA-DURÁN, C. 2012. Crecimiento, acumulación y distribución de materia seca en tomate de invernadero. *BIOtecnica* (México). 14(3):25-31.
22. PANDEY, S.K.; SINGH, H. 2011. A simple, cost-effective method for leaf area estimation. *J. of Botany* (India) 2011: Disponible desde Internet en: <https://www.hindawi.com/journals/jb/2011/658240/> (con acceso 1/08/2017).
23. PINZÓN, E.H.; CRUZ, M.A.; FISCHER G. 2014. Aspectos fisiológicos del duraznero (*P. persica* (L.) Batsch) en el trópico alto. Una revisión. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* (Colombia). 17(2):401-411.
24. QUEVEDO, E.G.; ARÉVALO, G.M.E.; CANCINO, E.G.O. 2012. Determination of a mathematical model to estimate the area and dry weight of the leaf limbo of *P. persica* cv. Jarillo. *Rev. Fac. Nal. Agr.* (Colombia). 65(2):6605-6613.
25. QUEVEDO, G.E.; DARGHAN A., E.; FISCHER, G. 2017. Clasificación de variables morfológicas del duraznero (*P. persica* L. Batsch) 'Jarillo' en la montaña santandereana colombiana mediante análisis discriminante lineal. *Rev. Col. Cienc. Hort.* 11(1):39-47.
26. RAZQUIN, C.J.; MADDONNI, G.A.; VEGA, C.R.C. 2017. Estimación no destructiva del área foliar en plantas individuales de maíz (*Zea mays* L.) creciendo en canopeos. *AgriScientia* (Argentina). 34:27-38.
27. ROBERTI, J.O.; BAS NAHAS, S.S.; ROMERO, J.I.; INTERDONATO, R.; BUDEGUER, R.F.; AMADO, M.E.; RODRIGUEZ R., J.A.; ROMERO, E.R. 2014. Métodos no destructivos de estimación del área foliar de hojas individuales en dos híbridos de sorgo dulce [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. Nota técnica, *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán* (Argentina). 91(1):27-31.
28. TONDJO, K.; BRANCHERIAU, L.; SABATIER, S.A.; KOKUTSE, A.D.; AKOSSOU, A.; KOKOU, K.; FOURCAUD, T. 2015. Non-destructive measurement of leaf area and dry biomass in *Tectona grandis*. *Trees* (Alemania). 29:1625-1631.
29. UNIGARRO-MUÑOZ, C.A.; HERNÁNDEZ-ARREDONDO, J.D.; MONTOYA-RESTREPO, E.C.; MEDINA-RIVERA, R.D.; IBARRA-RUALES, L.N.; CARMONA-GONZÁLEZ, C.Y.; FLÓREZ-RAMOS, C P. 2015. Estimation of leaf area in coffee leaves (*Coffea arabica* L.) of the Castillo® variety. *Bragantia*, Campinas (Brasil). 7(4):412-415.
30. VALBUENA, N.; PARRAGA, C.; LINARES, L.; RAMOS, J.; JÚNCO, J. 2016. Modelos de estimación de área foliar a partir de observaciones morfológicas en *Brachiaria brizantha* cv. Toledo. *Rev. Unell. Cienc. Tec.* (Venezuela). 34: 40-44.
31. VIVEROS-VIVEROS, H.; CAMARILLO-LUNA, A.R.; SÁENZ-ROMERO, C.; ARMANDO APARICIO-RENTERÍA, A. 2013. Variación altitudinal en caracteres morfológicos de *Pinus patula* en el estado de Oaxaca (México) y su uso en la zonificación altitudinal. *Bosque* (Chile), 34(2):173-179.

Recibido: Agosto 4 de 2017

Aceptado: Septiembre 19 de 2017

#### Cómo citar:

Quevedo García, E.; Cancino Escalante, G.O.; Barragán Torres, A.R. 2017. Modelos de regresión para estimar el peso seco de órganos y área del limbo del duraznero, variedad Jarillo. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*20(2): 299-310.

# QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE ARAÇÁ-VERMELHO

## POSTHARVEST QUALITY OF RED STRAWBERRY-GUAVA

Janaína Muniz<sup>1</sup>, Tânia Regina Pelizza<sup>2</sup>, Ana Paula Fernandes de Lima<sup>3</sup>, Mayra Juline Gonçalves<sup>4</sup>, Leo Rufato<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Economista, Dra. em Produção Vegetal, Técnica de Laboratório em Biotecnologia no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFSC) - Câmpus Lages/SC, e-mail: janaina.muniz@ifsc.edu.br; <sup>2</sup>Engenheira Agrônoma, Dra. em Ciências, Área de Concentração: Fruticultura de Clima Temperado - UFPel/FAEM - Pelotas/RS, e-mail: trpelizza@yahoo.com.br; <sup>3</sup>Engenheira Agrônoma, Dra. em Ciências, Área de Concentração: Fruticultura de Clima Temperado - UFPel/FAEM - Pelotas/RS, e-mail: apflima88@gmail.com; <sup>4</sup>Bióloga, Dra. em Produção Vegetal, Bolsista de Pós-Graduação PNPd/CAPES do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade do Estado de Santa Catarina, CAV/UIDESC - Lages/SC, e-mail: mayra.juline@hotmail.com; <sup>5</sup>Engenheiro Agrônomo, Dr. em Ciências, Área de Concentração: Fruticultura de Clima Temperado, Professor Adjunto do Curso de Agronomia na área de Fruticultura de Clima Temperado na Universidade do Estado de Santa Catarina, CAV/UIDESC - Lages/SC, e-mail: leoruffato@yahoo.com.br

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 311-319, Julio-Diciembre, 2017

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes temperaturas e períodos de armazenamento nos atributos físico químicos de frutos de araçazeiro-vermelho. Esta pesquisa foi desenvolvida na Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UIDESC), em Lages (SC), Brasil, com frutos colhidos em fevereiro de 2016. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições de 20 frutos, em esquema fatorial 2x5, com duas temperaturas (2°C e 25°C±2°C) e cinco períodos de armazenamento (0, 3, 6, 9 e 12 dias). As variáveis analisadas foram: perda de sólidos solúveis, acidez titulável, relação sólidos solúveis/acidez titulável, pH e vitamina C de araçá-vermelho. Ocorreu perda de massa dos frutos, em ambas as temperaturas, ao longo do período de armazenamento. O teor de sólidos solúveis aumentou em frutos armazenados à 2°C. Observou-se ponto de mínima (1,83%), para o teor de acidez titulável, em frutos armazenados a 25°C. Para o pH dos frutos, observou-se ponto de mínima (3,17) em temperatura de 2°C e ponto de máxima (3,21), para aqueles armazenados conservados a 25°C. Frutos em temperatura de 2°C apresentaram menor teor de vitamina C aos sete dias de armazenamento, com teor de 17,23mg 100g<sup>-1</sup> polpa. Em temperatura de 25°C, observou-se menor teor de vitamina C aos seis dias, com teor de 26,69mg 100g<sup>-1</sup> polpa. Com a realização deste trabalho, pode-se concluir que, o uso de refrigeração a 2°C, por até 12 dias, apresenta-se como uma alternativa de conservação de araçá-vermelho, mantendo-se as principais características físico-químicas dos frutos.

Palavras-chave: *Psidium cattleianum* Sabine, amadurecimento, conservação, temperatura.

### SUMMARY

The objective of this work was to evaluate the effect of different temperatures and storage periods on the physicochemical attributes of red gooseberries fruits. This research was carried out at the State University of Santa Catarina (CAV / UIDESC), in Lages (SC), Brazil, with fruits harvested in February, 2016. The experimental design was completely randomized with four replicates of 20 fruits each, in a 2x5 factorial randomized, with two temperatures (2°C and 25°C ± 2°C) and five storage periods (0, 3, 6, 9 and 12 days). The analyzed variables were: mass loss, soluble solids, titratable acidity, soluble solubility/titratable acidity ratio, pH and vitamin C. Fruit mass loss occurred at both temperatures throughout the storage period. Soluble solids content increased in fruits at 2°C. A minimum point (1.83%) was observed for titratable acidity in fruits packed at 25°C. A minimum point was observed (3.17%) for the pH of the fruits at 2°C and maximum point (3.21) for fruits at 25°C. Fruits at 2°C presented lower vitamin C content in seven days of storage, with 17.23mg 100g<sup>-1</sup> pulp. At 25°C, a lower vitamin C content was observed at day six, with a content of 26.69mg 100g<sup>-1</sup> pulp. With the accomplishment of this work, it can be concluded that, the use of refrigeration at 2°C, for up to 12 days, presents itself as an alternative for the conservation of red-gooseberries fruits, remaining the main physicochemical characteristics of the fruits.

Key words: *Psidium cattleianum* Sabine, Mirtaceae, conservation, storage, temperature.

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes temperaturas y períodos de almacenamiento en los atributos físico-químicos de frutos de arazá. El diseño experimental utilizado fue completamente aleatorizado, con cuatro repeticiones, de 20 frutos, en un factorial 2x5, con temperaturas de 2°C y 25°C±2°C y períodos de almacenamiento de 0, 3, 6 y 12 días. Las variables analizadas fueron: pérdida de peso de los frutos, sólidos solubles, acidez total titulable, relación de sólidos solubles y acidez titulable (índice de madurez), pH y vitamina C de los frutos. La concentración de sólidos solubles aumenta en los frutos almacenados a 2°C. Se observó un punto de mínima para la acidez total titulable en los frutos almacenados a temperatura de 25°C (1,83%); un punto mínimo (3,17), para el pH de los frutos en temperatura de 2°C y un punto máximo (3,21), para los frutos sometidos a la temperatura de 25°C. Frutos en temperatura de 2°C presentan menor contenido de vitamina C, a los siete días de almacenamiento, con contenidos de 17,23mg 100 g<sup>-1</sup> de pulpa. A temperatura de 25°C, se observa menor concentración de vitamina C, a los seis días, con contenidos de 26,69mg 100g<sup>-1</sup> pulpa. La refrigeración de frutos de arazá a 2°C, se muestra como una alternativa de uso prometedora, para la conservación, hasta 12 días, por presentar mejores condiciones, para la manutención de las principales variables físico-químicas estudiadas.

Palabras clave: *Psidium cattleianum* Sabine, Mirtaceae, maduración, conservación, temperatura.

## INTRODUÇÃO

O Brasil reflete a sua enorme riqueza de flora e fauna pois abriga a maior biodiversidade do planeta expressa pela reflete a sua enorme riqueza de flora e fauna em seus diferentes biomas pois (Brasil, 2017). Além disso, muitas das espécies brasileiras são endêmicas, e diversas espécies de plantas de importância econômica mundial, dentre elas algumas frutíferas, são originárias do Brasil (Brasil, 2017).

Em trabalho conduzido com a finalidade de registrar a diversidade das angiospermas no Brasil, Zappi *et al.* (2015), relatam que houve um crescimento considerável, entre os anos 2010 e 2015, no número de espécies e nas taxas de endemismo para a maioria dos biomas (Caatinga, Cerrado, Floresta Atlântica, Pampa e Pantanal). Ainda, conforme os autores, dez famílias botânicas destacam-se como sendo as mais importantes na taxa de endemismo do país (62,3%), dentre elas, está inclusa a família Myrtaceae. Dentro dos Biomas brasileiros, a Floresta Atlântica, em função de um grande número de espécies, tem um papel importante sobre a diversidade das angiospermas e é um centro de diversidade

importante para as espécies desta família botânica (Zappi *et al.* 2015).

A evolução econômica e a demanda dos mercados reforçam o interesse de diversos países, como os latino-americanos, para as frutas em geral e as frutas nativas ou exóticas em particular (Costa *et al.* 2009). Há um grande campo potencial a ser explorado com diversas espécies frutíferas ainda pouco conhecidas, seja no mercado interno ou externo, como é o caso das frutíferas nativas, o que é referenciado por (Giacobbo *et al.* (2008) que destaca espécies da família Myrtaceae, como o araçá (*Psidium* spp.), a pitanga (*Eugenia uniflora*) e a feijoa (*Acca sellowiana*).

Espécies do gênero *Psidium* apresentam potencial econômico, principalmente na alimentação, pois seus frutos possuem um sabor exótico, alto teor de vitamina C e boa aceitação pelos consumidores (Franzon *et al.* 2009). Ainda, além do consumo *in natura* dos frutos, tais espécies podem ser exploradas pela agroindústria para sucos e para uso na fabricação de sorvetes, geleias, licores e outros produtos. De acordo com Bezerra *et al.* (2006), a exploração do araçazeiro se dá por extrativismo em áreas naturais e pomares domésticos. Assim, seus subprodutos são produzidos de forma artesanal em pequenas unidades de base familiar e comercializados apenas nas localidades próximas de seu local de produção.

Atualmente, no Brasil, as espécies com maior interesse para exploração comercial dos seus frutos são *Psidium guineense* Swartz (morfotipo amarelo) e *Psidium cattleianum* Sabine (morfotipo vermelho) (Bezerra *et al.* 2006). Conforme os autores, *P. cattleianum* é originária do Sul do Brasil e distribuída do Rio Grande do Sul até a Bahia e seus frutos são considerados dos melhores entre as espécies de araçás.

Estudos recentes com *P. cattleianum* constataram que, nos extratos dessa espécie, há a presença de taninos, flavonoides e triterpenoides, com atividades antioxidantes (Scur *et al.* 2016) e antimicrobianas (Scur *et al.* 2016; Buso-Ramos *et al.* 2017). Além destes, estão presentes metabólitos secundários, como por exemplo, catequinas, saponinas, antraquinonas, taninos, glicosídeos, esteroides e compostos fenólicos (Faleiro *et al.* 2016).

A importância da conservação das frutas em pós-colheita está na necessidade de que as mesmas estejam em condições aceitáveis para abastecer o mercado consumidor (Cenci, 2006). Nesse sentido, segundo o autor, devem ser mantidas adequadas às características físicas, nutricionais, organolépticas e de segurança do alimento, o que reflete em sua qualidade final. De acordo com Drehmer & Amarante (2008), o araçá-vermelho apresenta alta perecibilidade

em condições de temperatura ambiente. Dessa forma, os autores indicam o armazenamento dos frutos a temperaturas próximas de 0°C, a fim de se preservar a qualidade pós-colheita dos mesmos.

O armazenamento refrigerado tem sido o método mais indicado, por sua eficácia na manutenção da qualidade pós-colheita de frutos (Chitarra & Chitarra, 2005). De acordo com os autores, este consiste em remover e minimizar a geração de calor dos produtos a serem conservados por meio da diminuição da intensidade da atividade respiratória, produção de etileno e ação de enzimas degradativas e oxidativas. Quando se trata de conservação em pós-colheita de frutas, de acordo com Abreu *et al.* (1998) é necessário que se tenha subsídios técnicos que visem à ampliação do tempo de armazenamento, evitando que ocorra alterações nas características físicas, organolépticas e nutricionais dos frutos.

Desta forma, conduziu-se este trabalho com o objetivo de avaliar a influência de diferentes temperaturas e períodos de armazenamento nos atributos físico-químicos de frutos de araçazeiro-vermelho.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os frutos de araçazeiro-vermelho foram colhidos no fevereiro de 2016, no período da manhã, no pomar didático de plantas nativas do Centro de Ciências Agroveterinárias, na Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UIDESC), em Lages, no estado de Santa Catarina, Brasil.

Os araçás-vermelho foram colhidos diretamente em bandejas de polietileno, sendo posteriormente levados no Laboratório do Núcleo de Tecnologia de Alimentos (NUTA) da instituição.

Em seguida, as bandejas com os frutos, foram envoltas com filme de policloreto de vinila (PVC) de 9 $\mu$ m, pesadas em balança semi-analítica, Eletronic Balance Lutron<sup>®</sup>, com precisão de  $\pm 0,05$ g e acondicionadas em incubadora DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), Eletrolab<sup>®</sup>, sob diferentes temperaturas, conforme estabelecido os tratamentos.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições de 20 frutos por parcela. Efetuou-se esquema fatorial 2x5, onde as temperaturas corresponderam a 2°C e 25°C $\pm$ 2°C e os períodos de armazenamento de 0, 3, 6, 9 e 12 dias após a colheita dos frutos.

As variáveis analisadas foram:

- Perda de massa (g): obtida pela diferença entre a massa inicial e a massa ao final do período de armazenamento.

- Sólidos solúveis (°Brix): obtido a partir de leituras efetuadas com refratômetro portátil digital de bancada, modelo RTD-45, Digital Refractometer<sup>®</sup>, com correção de temperatura para 20 °C.
- Acidez titulável (% de ácido cítrico): obtida pela neutralização da solução de 10mL de suco da polpa em 10mL de água com NaOH a 0,1N.
- Relação sólidos solúveis e acidez total titulável (SS/AT).
- pH dos frutos: obtido através de medidas efetuadas com peagâmetro digital de bancada, Tecnopon<sup>®</sup>, modelo mPA - 210P, versão 7.1).
- Vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g<sup>-1</sup> de polpa): determinada por titulação direta com solução de Tillmans (Strohecker & Henning, 1967). Foram misturados e homogeneizados, 10,0mL de suco dos frutos, 30mL de ácido oxálico a 5% refrigerado e 60 mL de água destilada. Posteriormente, após a filtragem da solução, retirou-se 5mL da mesma e colocou-se em erlenmeyer de 125mL, completando-se com água destilada até 50mL, posteriormente titulou-se com a solução de Tillmans refrigerada, até o ponto de viragem levemente róseo, persistindo a coloração por 15 segundos.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando significativos foram expressos através de regressão polinomial por meio do programa estatístico Winstat 2.0 (Machado & Conceição, 2003).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observadas diferenças significativas, em ambas as temperaturas, para a variável perda de massa ao longo do período de armazenamento, por meio de regressão linear decrescente (Figura 1). A perda de massa dos frutos de araçazeiro foi baixa, ao final de 12 dias de armazenamento, onde foram observados valores médios de 1,02g (10,1%) e 0,90 g (8,9%) de redução da massa dos frutos, para as temperaturas de 2°C e 25°C, respectivamente.

Carneiro *et al.* (2015) verificaram que frutos de cagaita, *Eugenia dysenterica* (Mirtaceae), apresentaram perda significativa de massa fresca ao longo do período de armazenamento (5 dias), onde frutos armazenados à temperatura de 5°C apresentaram menor perda de massa que frutos submetidos ao armazenamento em temperatura de 25°C. Em um trabalho de revisão, conduzido por Parra-Coronado (2014) com goiabas, *Psidium guajava* L., (Mirtaceae), são relatados diferentes valores obtidos quanto à perda de massa e firmeza das frutas e que estas estão em função da temperatura de armazenamento e da cultivar avaliada. Em trabalho conduzido por Machado *et al.* (2007) com jabuticabas armazenadas em diferentes condições em saco plástico de 15 $\mu$ m de espessura e com perfurações de

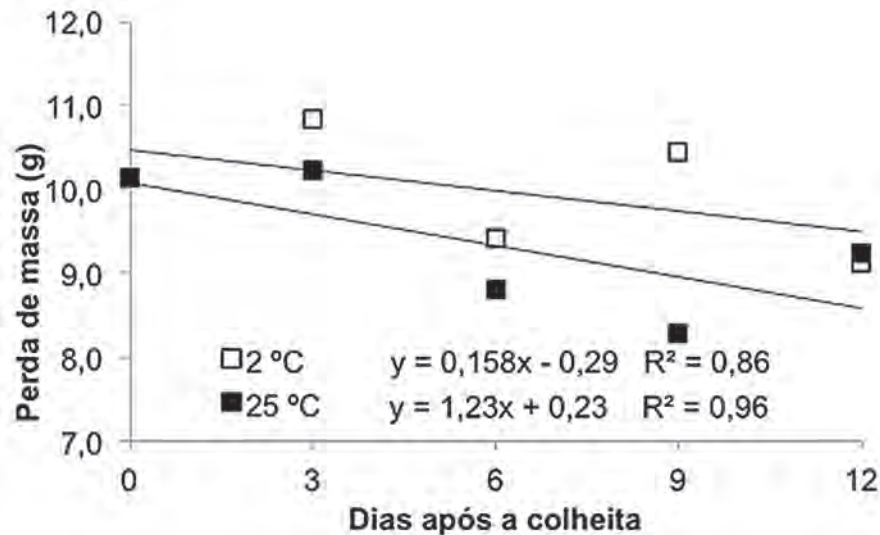


Figura 1. Perda de massa (g) dos frutos de araçazeiro-vermelho, em diferentes períodos (0, 3, 6, 9 e 12 dias) e temperaturas de armazenamento (2°C e 25°C). CAV/UIDESC, Lages, 2017.

0,5mm, perceberam expressiva perda de massa nos frutos. Mota *et al.* (2002) justifica a perda de massa em frutos de jabuticaba ao longo de um período de armazenamento devido à perda de água por transpiração, em função de que estas apresentam rápida deterioração pós-colheita. Além disso, os autores afirmam que jabuticabeiras submetidas à armazenagem em condição ambiente têm o processo de senescência iniciado rapidamente com o amadurecimento dos frutos, o que resulta na aceleração do processo respiratório e de perda de água.

Observou-se comportamento linear decrescente quanto aos teores de sólidos solúveis nos frutos armazenados a 2°C enquanto que não foi verificada diferença significativa ao longo do período de armazenamento para frutos submetidos a 25°C (Figura 2).

Lederman *et al.* (1997) verificaram uma variação de 14,5 a 17,0°Brix em frutos de araçazeiro-amarelo. Pinto *et al.* (2000) obtiveram uma variação de 11,5 a 13,0°Brix em frutos de araçazeiro-vermelho. Franco (1999) cita 11°Brix em araçás. Valores esses, semelhantes aos encontrados nesse trabalho. Drehmer & Amarante (2008) analisaram frutos de araçazeiro vermelho em dois estádios de maturação armazenados a 0°C e 20°C e concluíram que o teor de sólidos solúveis é afetado pelo estádio de maturação do mesmo, sendo inferior em frutos colhidos no estádio verde, independentemente da temperatura em que estes são armazenados. Tal condição reflete em um fruto que mantém a qualidade pós-colheita quando armazenados sob refrigeração durante o tempo de prateleira. Em trabalho conduzido por Amarante *et al.* (2009) observaram que, para o acondicionamento de frutos

de araçá-vermelho em diferentes embalagens plásticas, ocorreram diferenças na concentração de açúcares (SS), quando estas são armazenados à temperatura de 10°C. Nesta condição, os teores médios de sólidos solúveis observados foram de 8,7°Brix, valor este bastante inferior ao observado no presente trabalho. De acordo com Machado *et al.* (2007) o teor de sólidos solúveis de frutas de jabuticabas armazenadas em bandejas plásticas com duas perfurações de 1mm cada, na tampa, submetidas a oito dias sob refrigeração a 0°C e 90% de umidade relativa e mais dois dias em condições ambiente (temperatura de 20-22°C e 65-70% de umidade relativa) foram de 15,44°Brix, ao final do armazenamento. Conforme Carneiro *et al.* (2015) há uma redução nos teores de açúcares solúveis em frutos de cagaita (*E. dysenterica*), ao longo dos cinco dias de armazenamento, tanto para frutos armazenados à temperatura de 5°C como para aqueles armazenados à temperatura de 25°C.

Para a variável acidez titulável verificou-se uma regressão quadrática com ponto de mínima (1,83%), no sexto dia de armazenamento, em frutos conservados em temperatura de 25°C. Não foi observada diferença significativa em frutos de araçá-vermelho submetidos à temperatura de armazenamento de 2°C (Figura 3).

Franco (1999) verificou valores de 1,87% de ácido cítrico em em *Psidium guineense* (araçá amarelo). Enquanto que, Lederman *et al.* (1997), na coleção de germoplasma de Araçazeiro do IPA, com frutos de *P. guineense* colhidos durante a estação seca da Zona da Mata de Pernambuco, verificaram que a acidez teve uma variação de 0,95 a 1,31%. Já, Pinto *et al.* (2000) citam uma variação de 1,52 a 2,29%



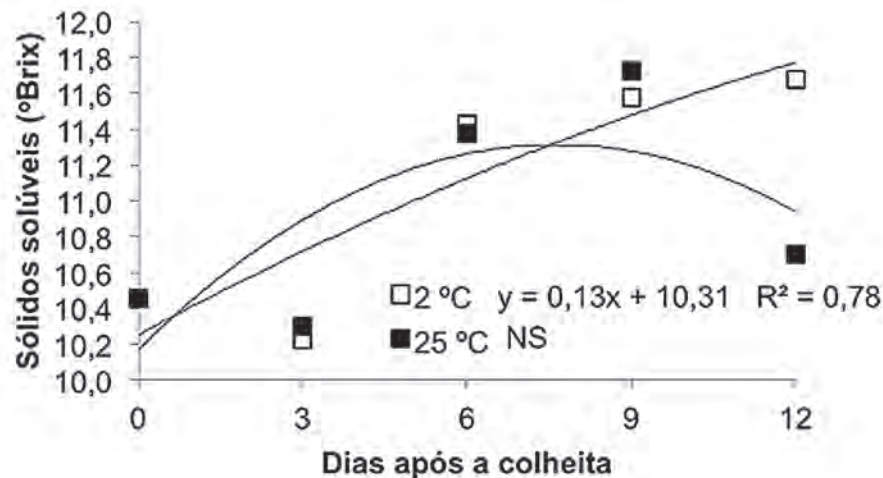


Figura 2. Teor de sólidos solúveis (°Brix) dos frutos de araçazeiro-vermelho, em diferentes períodos (0, 3, 6, 9 e 12 dias) e temperaturas de armazenamento (2°C e 25°C). CAV/UEDESC, Lages, 2017.

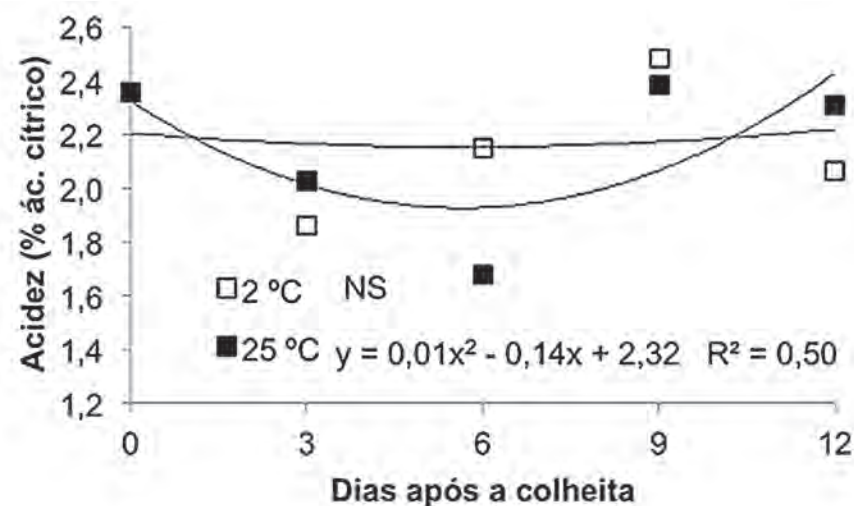


Figura 3. Valores médios de acidez titulável (% ácido cítrico) dos frutos de araçazeiro-vermelho, em diferentes períodos (0, 3, 6, 9 e 12 dias) e temperaturas de armazenamento (2°C e 25°C). CAV/UEDESC, Lages, 2017.

na acidez dos frutos de *P. cattleianum*. De acordo com Chitarra & Chitarra (2005) o teor de ácidos orgânicos diminui com a maturação das frutas, em decorrência do processo respiratório ou de sua conversão em açúcares. No entanto, pode ocorrer um pequeno aumento no teor de ácidos orgânicos com o aumento da maturação. A diminuição da acidez com a maturação dos produtos vegetais pode ser justificada pelo consumo do próprio vegetal, na tentativa de este se manter em seu estado inicial (Rinaldi *et al.* 2005). No trabalho de Brunini *et al.* (2004) os teores de acidez titulável de frutos de jabuticaba variaram de 0,75 a 1,18g de ácido cítrico 100g<sup>-1</sup> de polpa, durante o armazenamento refrigerado (11°C)

e de 0,14 a 1,16g de ácido cítrico 100g<sup>-1</sup> de polpa, durante o armazenamento em condições ambiente. Percebem-se, comparativamente a este trabalho que, frutos de araçazeiro-vermelho são mais ácidos que frutos de jabuticabeira, seja em ambiente refrigerado (2°C) ou em temperatura ambiente (25°C), valores estes que variaram de 1,70 a 2,50g de ácido cítrico 100g<sup>-1</sup> de polpa.

Quanto à relação sólidos solúveis/acidez titulável de araçás-vermelhos, observou-se uma regressão linear crescente para frutos submetidos ao armazenamento de 2°C, onde se observou o valor inicial de 4,5 e valor de 5,70 ao final de 12

dias de armazenamento refrigerado (Figura 4). Observou-se uma regressão quadrática para frutos submetidos ao armazenamento de 25°C, no qual o valor máximo da relação ao sexto dia foi de 6,13. A partir do sexto dia observou-se queda nos valores médios até o final do período de armazenamento.

A relação sólidos solúveis/acidez titulável é uma das formas mais utilizadas para a avaliação do sabor e dá uma boa ideia do equilíbrio entre esses dois componentes (Chitarra & Chitarra, 2005). Em trabalho conduzido por, Cia *et al.* (2007) onde avaliaram frutos de amora de diferentes cultivares (Guarani e Caingangue) armazenados em diferentes

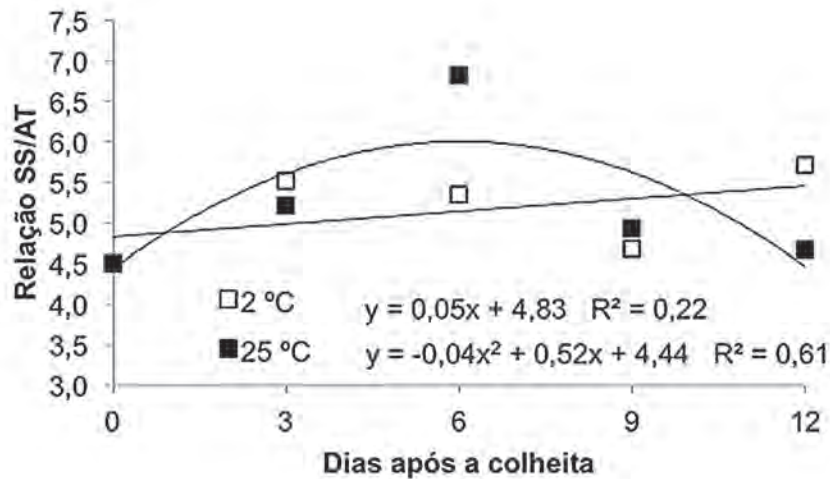


Figura 4. Relação sólidos solúveis/acidez titulável (SS/AT) dos frutos de araçazeiro-vermelho, em diferentes períodos (0, 3, 6, 9 e 12 dias) e temperaturas de armazenamento (2°C e 25°C). CAV/UIDESC, Lages, 2017.

temperaturas, verificaram que sob refrigeração a 5°C e a 90% de umidade relativa não há diferenças na relação sólidos solúveis/acidez total titulável. No entanto, após nove dias de armazenamento, frutos da cv. Guarani mantidos sob condição ambiente e sob refrigeração a 5°C, apresentavam menor relação sólidos solúveis/acidez titulável. Tal resultado implica em dizer que, mesmo cultivares de diferentes espécies apresenta comportamento distinto quanto à relação sólidos solúveis/acidez titulável.

Com relação ao pH, em ambas as temperaturas avaliadas observou-se um comportamento quadrático. No entanto, à temperatura de 2°C observou-se um comportamento quadrático com ponto de mínima em 3,17 e, à temperatura de 25°C, observou-se um comportamento quadrático com ponto de máxima em 3,21 (Figura 5).

Outros autores verificaram em *P. guineense*, valores próximos de pH aos deste trabalho, 3,0 (Franco, 1999), 3,99 na polpa e 3,76 na casca de araçá (Damiani *et al.* 2011). Os resultados obtidos, não corroboram com outro tipo de Myrtaceae (*E. dysenterica*), pois, de acordo com Carneiro *et al.* (2015), frutos de cagaita armazenados em temperatura de 5°C ou 25°C, não sofrem alteração no valor do pH ao longo de 5 dias de armazenamento pós-colheita. A capacidade-tampão

de alguns sucos, permite que, ocorram grandes variações na acidez titulável, sem variações apreciáveis no pH, além da regulação da atividade enzimática e respiratória dos tecidos (Chitarra & Chitarra, 2005).

O teor de vitamina C, em ambas as temperaturas de armazenamento, apresentou regressão quadrática, onde, frutos submetidos à temperatura de 2°C apresentaram menor teor de vitamina C aos sete dias de armazenamento, com teor de 17,23mg 100g<sup>-1</sup> polpa. Em condições de armazenamento a 25°C, observou-se menor teor de vitamina C aos seis dias, com teor de 26,69mg 100g<sup>-1</sup> polpa (Figura 6).

Estudos efetuados por Raseira e Raseira (1996), em frutos maduros de cinco populações de *P. cattleyanum*, mostraram variação no teor de vitamina C, de 41,19 a 111,67mg 100g<sup>-1</sup> polpa. Em estudo conduzido por Giacobbo *et al.* (2008), com dois grupos de araçás, vermelho e amarelo, os autores observaram que frutos de araçá-vermelho apresentaram maior teor de vitamina C na polpa (44mg 100g<sup>-1</sup>) comparativamente ao grupo de araçá-amarelo (27mg 100g<sup>-1</sup>). Estes mesmos autores compararam frutos de araçá com outras frutíferas e referenciaram que os teores de vitamina C encontrados no araçá são similares à grande maioria das frutíferas.

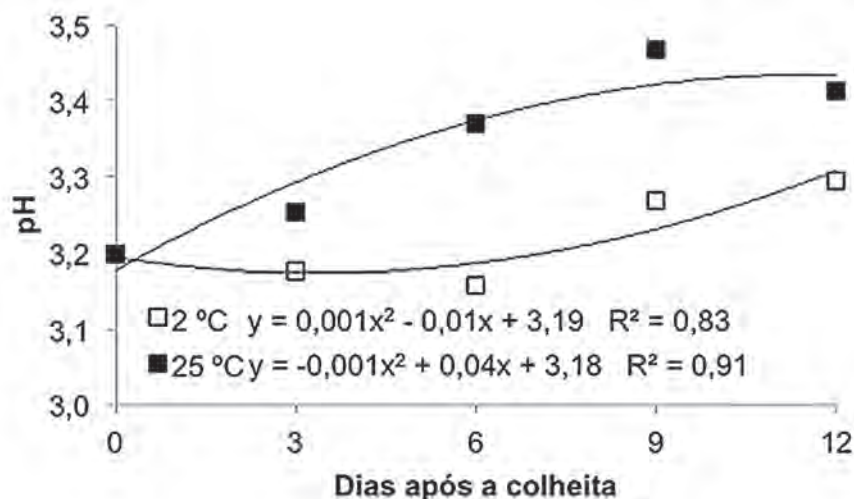


Figura 5. Valores de pH dos frutos de araçazeiro-vermelho, em diferentes períodos (0, 3, 6, 9 e 12 dias) e temperaturas de armazenamento (2°C e 25°C). CAV/UEDESC, Lages, 2017.

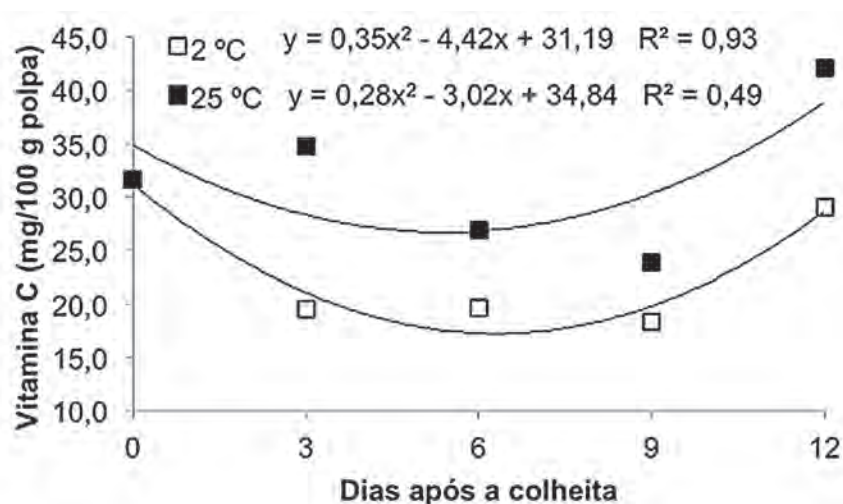


Figura 6. Teores de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100 g polpa) dos frutos de araçazeiro-vermelho, em diferentes períodos (0, 3, 6, 9 e 12 dias) e temperaturas de armazenamento (2°C e 25°C). CAV/UEDESC, Lages, 2017.

Ainda, neste mesmo trabalho, os autores relataram que o araçá tem teores inferiores ao da groselha preta e da goiaba; porém apresenta teores superiores à maçã e ao limão. Conforme Vieira *et al.* (2006), os frutos do araçazeiro são ricos em vitamina C (três vezes maior do que a laranja). Conforme relato de Parra-Coronado (2014), verifica-se com a espécie *P. guajava*, que à medida que transcorre o período pós-colheita aumenta-se a perda de massa, o teor de sólidos solúveis e o valor de pH, em contrapartida, diminui-se a firmeza do

fruto e o ângulo hue°. Ainda, que os valores de acidez titulável e o conteúdo de ácido ascórbico se apresentam muito variáveis, ora diminuem, ora aumentam.

Pode-se dizer que, assim como outras frutas, a composição química dos frutos de araçazeiro-vermelho, pode variar de acordo com as chuvas, altitude, clima e solo nas regiões onde são colhidas (Caldeira *et al.* 2004), e também, de acordo com a origem do seu material genético, período de

produção e maturação, com todas as características que influenciam a sua composição e valor nutricional (Bezerra *et al.* 2006).

Com a realização deste trabalho, pode-se aferir que, o uso de refrigeração a 2°C, por até 12 dias, apresenta-se como uma alternativa de conservação de araçás-vermelhos, mantendo-se as principais características físico-químicas dos frutos.

**Conflitos de interesses:** O manuscrito foi preparado e revisado com a participação de todos os autores, quem declaramos que não existe conflito de interesses que ponha em risco a validade dos resultados apresentados.

## BIBLIOGRAFIAS

1. ABREU, C.M.P.; CARVALHO, V.D.; GONÇALVES, N.B. 1998. Cuidados pós-colheita e qualidade do abacaxi para exportação. Informe Agropecuário (Brasil). 19(195):70-72.
2. AMARANTE, C.V.T.; STEFFENS, C.A.; ESPÍNDOLA, B.P. 2009. Preservação da qualidade pós-colheita de araçá-vermelho através do tratamento com 1-metilciclopropeno e do acondicionamento em embalagens plásticas sob refrigeração. Rev. Bras. Fruticult. (Brasil). 31(4):969-976.
3. BEZERRA, J.E.F.; LEDERMAN, I.E.; SILVA JÚNIOR, J.F.; PROENÇA, C.B. 2006. Araçá. In: Vieira, R.F., Agostini Costa, T.S., Silva, D.B., Sano, S., Ferreira, F.F. (Org.). Frutas Nativas da Região Centro Oeste do Brasil. Embrapa Inform. Tecnológica (Brasil), Brasília., Brasil. p.42-62.
4. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Biodiversidade Brasileira. 2017. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-brasileira> (acesso em 20/09/2017).
5. BRUNINI, M.A.; OLIVEIRA, A.L.; SALANDINI, C.A.R.; BAZZO, F.R. 2004. Influência de embalagens e temperaturas no armazenamento de Jabuticabas (*Myrciaria jabuticaba* (Vell) Berg) cv. 'SABARÁ'. Ciência Tecnologia de Alimentos (Brasil). 24(3):378-383.
6. BUSO-RAMOS, M.M.; FEIRIA, S.N.B.; BONI, G.C.; HÖFLING, J.F. 2017. *Psidium cattleianum* (Myrtaceae) as a natural antimicrobial source against oral bacteria. Adv Dent & Oral Health. 4(5):1-3.
7. CALDEIRA, S.D.; HIANE, P.A.; RAMOS, M.I.L.; RAMOS FILHO, M.M. 2004. *et al.* 2004. Caracterização físico-química do araçá (*Psidium guineense* Sw.) e do tarumã (*Vitex cymosa* Bert.) do Estado do Mato Grosso do Sul. Boletim CEPPA. v. 22(n. 1): p. 145-154.
8. CARNEIRO, J.O.; SOUZA, M.A.A.; RODRIGUES, Y.J.M.R.; MAPELI, A.M. 2015. Efeito da temperatura e do uso de embalagem na conservação pós-colheita de frutos de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.). Rev. Bras. Fruticult. 37(3):568-577.
9. CENCI, S.A. 2006. Boas Práticas de Pós-colheita de Frutas e Hortaliças na Agricultura Familiar. In: Felon do Nascimento Neto. (Org.). Recomendações Básicas para a Aplicação das Boas Práticas Agropecuárias e de Fabricação na Agricultura Familiar. 1a ed. Brasília: Embrapa Inform. Tecnológica, p.67-80.
10. CIA, P.; BRON, I.U.; VALENTINI, S.R. de T.; PIO, R.; CHAGAS, E.A. 2007. Atmosfera modificada e refrigeração para conservação pós-colheita da amora-preta. Bioscience J. (Brasil). 23(1):11-16.
11. CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. 2005. Pós-colheita de frutas e hortaliças. Edit. UFPA (Brasil). 785p.
12. COSTA, M.A.P.C.; SOUZA, F.L.C.; LUNA, J.V.U.; CASTELLEN, M.S.; ALMEIDA, W.A.B.; SILVA, S.A.; DANTAS, A.C.V.L. 2009. Conservação de fruteiras potenciais para o nordeste brasileiro. Tópicos em Ciências Agrárias (Brasil).1(1):1-13.
13. DAMIANI, C.; VILAS BOAS, E.V.B.; ASQUIERI, E.R.; LAGE, M.E.; OLIVEIRA, R.A.; SILVA, F.A.; PINTO, D.M.; RODRIGUES, L.J.; SILVA, E.P.; PAULA, N.R.R. 2011. Characterization of fruits from the savanna: Araçá (*Psidium guineense* Sw.) and Marolo (*Annona crassiflora* Mart.). Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, (Brasil). 31(3): 723-729.
14. DREHMER, A.M.F.; AMARANTE, C.V.T. do. 2008. Conservação pós-colheita de frutos de araçá-vermelho em função do estágio de maturação e temperatura de armazenamento. Rev. Bras. Fruticult. 30(2):322-326.
15. FALEIRO, J.H.; GONÇALVES, R.C.; SANTOS, M.N.G.; SILVA, D.P.; NAVES, D.P.L.F.; MALAFAIA, G. 2016. The chemical featuring, toxicity, and antimicrobial activity of *Psidium cattleianum* (Myrtaceae) Leaves. New Journal of Science. 2016:1-8.
16. FRANCO, G. 1999. Tabela de composição química dos alimentos. 9. ed. São Paulo: Atheneu, 1999.

17. FRANZON, R.C.; CAMPOS, L.Z. de O.; PROENÇA, C.E.B.; SOUSA-SILVA, J.C. 2009. Araças do Gênero *Psidium*: principais espécies, ocorrência, descrição e usos. Documentos/ Embrapa Cerrados. Planaltina, DF. (Brasil). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/697560/aracado-genero-psidium-principais-especies-ocorrencia-descricao-e-usos> (acesso em 20/09/2017).
18. GIACOBBO, C.L.; ZANUZO, M.; CHIM, J.; FACHINELLO, J.C. 2008. Avaliação do teor de vitamina C em diferentes grupos de araçá-comum. Rev. Bras. Agrociência (Brasil). 14(1):155-159.
19. LEDERMAN, I.E.; SILVA, M.F.F da; ALVES, M.A.; BEZERRA, J.E.F. 1997. Selection of superior genotypes of Brazilian guava (*Psidium guineense*, Swartz) in the Coastal Wood Forest Region of Northeast Brazil. Acta Horticult. (Holanda). 452(1):95-100.
20. MACHADO, A.; CONCEIÇÃO, A.R. 2003. Programa estatístico WinStat – Sistema de Análise Estatística para Windows, versão 2.0. Edit. UFPEL (Brasil). 5p.
21. MACHADO, N.P.; COUTINHO, E.F.; CAETANO, E.R. 2007. Embalagens plásticas e refrigeração na conservação pós-colheita de jabuticabas. Rev. Bras. Fruticult. 29(1):166-168.
22. MOTA, W.F.; SALOMÃO, L.C.C.; PEREIRA, M.C.F.; CECON, P.R. 2002. Influência do tratamento pós-colheita com cálcio na conservação de jabuticabas. Rev. Bras. Fruticult. 24(1):49-52.
23. PARRA-CORONADO, A. 2014. Maduración y comportamiento poscosecha de la guayaba (*Psidium guajava* L.). Una revisión. Rev. Col. Ciencias Hortícolas (Colômbia). 8(2):314-327.
24. PINTO, S.A.A.; BIANCA, S.; DURIGAN, J.F.; SILVA, A. 2000. Características químicas do araçá (*Psidium cattleianum*, Sabine) em diferentes estádios de maturação. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 16. Fortaleza, CE. Resumos... Fortaleza: SBF: Embrapa Agroindústria Tropical. Disponível em CD-ROM.
25. RASEIRA, M. do C.B.; RASEIRA, A. 1996. Contribuição ao estudo do araçazeiro, *Psidium cattleianum*. Pelotas: EMBRAPA-CPACT. 95p.
26. RINALDI, M. M.; BENEDETTI, B.C.; CALORE, L. 2005. Efeito da embalagem e temperatura de armazenamento em repolho minimamente processado. Food Science and Technology (Brasil). 25(3):480-486.
27. SCUR, M.C.; PINTO, F.G.; PANDINI, J.A.; COSTA, W.F.; LEITE, C.W.; TEMPONI, L.G. 2016. Antimicrobial and antioxidant activity of essential oil and different plant extracts of *Psidium cattleianum* Sabine. Braz. J. Biology (Brasil). 76(1):101-108.
28. STROHECKER, R.L.; HENNING, H.M. 1967. Análises de Vitaminas: Métodos comprobados. Edit. Paz Montalvo (Espanha). 428p.
29. VIEIRA, R.F.; COSTA, T.S.A.; SILVA, D.B.; FERREIRA, F.R.; SANO, S.M. 2006. Frutas nativas da região Centro-Oeste. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 320p.
30. ZAPPI, D.C.; FILARDI, F.L.R.; LEITMAN, P.; SOUZA, V.C.; WALTER, B.M.T.; PIRANI, J.R.; MORIM, M.P.; QUEIROZ, L.P.; CAVALCANTI, T.B.; MANSANO, V.F.; FORZZA, R.C. 2015. Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. Rodriguésia (Brasil). 66(4):1085-1113.

Recibido: Julio 27 de 2017

Aceptado: Octubre 12 de 2017

#### Cómo citar:

Muniz, J.; Pelizza, T.R.; Fernandes de Lima, A.P.; Gonçalves, M.J.; Rufato, L. 2017. Qualidade pós-colheita de araçá-vermelho. Rev. U.D.C.A Act.& Div. Cient. 20(2): 311-319.



# PHOTOSYSTEM II FLUORESCENCE AND GROWTH IN CABBAGE PLANTS (*Brassica oleracea* var. *capitata*) GROWN UNDER WATERLOGGING STRESS

## FLUORESCENCIA DEL FOTOSISTEMA II Y CRECIMIENTO EN PLANTAS DE REPOLLO (*Brassica oleracea* var. *capitata*) EXPUESTAS A ESTRÉS POR ENCHARCAMIENTO

Fánor Casierra-Posada<sup>1</sup>, Joseph Cutler<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Agronomist, PhD., Faculty of Agricultural Sciences, Research Group in Plant Ecophysiology. Pedagogical and Technological University of Colombia (UPTC), Tunja - Boyacá, Colombia; corresponding author: fanor.casierra@uptc.edu.co; <sup>2</sup>Agronomist, MSc. Humboldt Universität zu Berlin, Berlin, Germany, e-mail: joseph.cutler@agr.ar.hu-berlin.de

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 321-328, Julio Diciembre, 2017

### SUMMARY

Waterlogging stress is a limiting factor in the production of crops grown in localities with high rainfall frequency. Waterlogging causes a decrease in the availability of O<sub>2</sub> in roots, which substantially affects the anatomy, morphology and metabolism of plants. Oxygen deficiency inhibits mitochondrial respiration, oxidation, and oxygenation processes, causing severe affection of plant metabolism. A test in greenhouse conditions was carried out in Tunja, Colombia, in order to evaluate the effect of waterlogging on the growth of cabbage plants (*Brassica oleracea* var. *capitata*). Some plants were waterlogged for 25 days and their physiological response was compared with plants maintained at field capacity. As consequence of waterlogging, leaf area, total dry weight, chlorophyll content, leaf area ratio, absolute growth rate and relative growth rate were reduced. In addition, necrotic plants exhibited a high percentage of necrosis in the leaves. As for the variables related to chlorophyll fluorescence, there was a decrease of 17,9, 50,0 and 36,0% in the  $F_v/F_m$  values,  $\Phi$ PSII and  $qP$ , respectively. All of these results indicate low tolerance of cabbage plants to waterlogging.

Key words: Biomass, chlorophyll content, relative growth rate,  $\Phi$ PSII,  $F_v/F_m$ .

### RESUMEN

El estrés por encharcamiento es un factor limitante en la producción de algunos cultivos que se desarrollan en localidades, con alta frecuencia de lluvias. El encharcamiento causa disminución en la disponibilidad de O<sub>2</sub> en las raíces,

lo cual, afecta sustancialmente la anatomía, la morfología y el metabolismo de las plantas. El déficit de oxígeno inhibe la respiración mitocondrial, la oxidación y los procesos de oxigenación, con lo cual, el metabolismo de la planta resulta severamente afectado. Se desarrolló en Tunja, Colombia, un ensayo en condiciones de invernadero, con el propósito de evaluar el efecto del encharcamiento sobre el crecimiento de plantas de repollo (*Brassica oleracea* var. *capitata*). Algunas plantas fueron encharcadas durante 25 días y su respuesta fisiológica se comparó con la de plantas mantenidas a capacidad de campo. Como consecuencia del encharcamiento, se redujo el área foliar, el peso seco total, el contenido de clorofila y los valores de la relación de área foliar, de la tasa absoluta de crecimiento y de la tasa relativa de crecimiento. Adicionalmente, solo en las plantas expuestas al encharcamiento, se presentó necrosis en las hojas, en un alto porcentaje. En cuanto a las variables relacionadas con la fluorescencia de la clorofila, se registró una disminución de 17,9; 50,0 y 36,0%, en los valores de  $F_v/F_m$ ,  $\Phi$ PSII and  $qP$ , respectivamente. El conjunto de estos resultados indica baja tolerancia de las plantas de repollo al encharcamiento.

Palabras clave: Biomasa, contenido de clorofila, tasa relativa de crecimiento,  $\Phi$ PSII,  $F_v/F_m$ .

### INTRODUCTION

As consequence of climate change, there have been frequent occurrences of abundant rains that cause waterlogging and flooding in crops. This phenomenon has intensified in Colombia since 2007, causing conditions of hypoxia to the roots, as consequence of poor soil drainage. In this way, climate change has a direct effect on the growth,

development, production and quality of agricultural products. However, in some cases, the response of plants to these conditions may be favorable, but at other times, the results may be negative, especially when there are extreme changes in the environment (Fischer *et al.* 2016). Additionally, Wood *et al.* (2000) report that in Latin America, about 11,3% of the areas potentially suitable for cultivation have poor drainage, because topography promotes waterlogging, high water levels and the presence of stagnant surface waters.

Roots in waterlogged soils experience rapid oxygen depletion because of respiration both of the roots and the root-associated microbiome. Roots exposed to waterlogging switch to the inefficient anaerobic fermentation, consuming available carbohydrate reserves for the generation of needed ATP to remain alive and functioning. As the hypoxic or anoxic situation continues, impaired membrane integrity, starvation and diffusion of phytotoxic compounds into the root cells combine to hinder root growth and function (Vwioko *et al.* 2017).

Loreti *et al.* (2016) mention that when plant oxygen availability is limited, the reprogramming of gene expression leading to anaerobic respiration and fermentation is induced, which has negative consequences on ATP production. In addition, according to Ashraf (2012), under these conditions, oxidative stress, alterations in nutrient levels, and anatomical and morphological changes occur in plants. Therefore, the effects of waterlogging induce a reduction in dry mass production (Pedó *et al.* 2015), an increase in total root length and a decrease in leaf area (Casierra-Posada & Gómez, 2008), alterations in dry matter partitioning in the different organs (Casierra-Posada & Vargas, 2007), leaf necrosis (Oliveira *et al.* 2015) and reduction in the rate of photosynthesis, stomatal conductance and chlorophyll content have also been observed (Kozlowski, 1997).

The analysis of the fluorescence emission of photosynthetic chlorophyll *a* from photosystem II (PSII) of the plants makes it possible to characterize the effects and modes of action of different types of biotic and abiotic stress (Baker, 2008). Ashraf (2012) mentions that the use of chlorophyll fluorescence as an indicator of waterlogging stress is due to the fact that chlorophyll fluorescence is a physiological factor that determines the primary processes related to photosynthesis, such as, transfer of excitation energy, light absorption and photochemical reactions taking place in the PSII. In this sense, Mielke & Schaffer (2010) evaluated the intensity of light combined with the exposure time of *Eugenia uniflora* plants to flooding and found differences for the interaction of the two variables regarding the value of maximum quantum efficiency of PSII Photochemistry ( $F_v/F_m$ ), which decreased with the time of exposure to flooding.

Plants exposed to waterlogged conditions are affected by gas exchange limitations, nutrient deficiencies and toxicities. The shoot system of plants exhibit wilting, premature yellowing of leaves, epinasty, stem deformation, shoot length and leaf area reduction, among other problems (Ashraf, 2012). In this work, we attempted to study the mechanisms of tolerance of cabbage plants to waterlogging emphasizing the morphological and metabolic adaptive mechanisms under oxygen deficient environments, because waterlogging is a recurring event in tropical countries, to which horticultural crops are especially sensitive. In this regard, Fischer *et al.* (2016) mention waterlogging and flooding as stressors, which have intensified due to climate change. Based on these arguments, the objective of the present work was to determine the effect of waterlogging on the fluorescence of chlorophyll and growth in cabbage plants (*Brassica oleracea* var. *capitata*).

## MATERIALS & METHODS

The study was carried out under greenhouse conditions, at the Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, located at an altitude of 2.789m.a.s.l. During the period of development of the test, the average temperature was 15.8°C, with a relative humidity of 72% and illumination of  $606,04 \pm 362,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  inside the greenhouse.

Cabbage seedlings (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.), Delus hybrid (Seminis - Monsanto, Creve Coeur, Missouri, USA) were used. Transplanting was performed when the plants had 2-3 leaves, placing them in pots with a capacity of 4kg of soil. For the control treatment, 28 plants were taken, which were maintained at field capacity. Another 28 plants were submitted to waterlogging 21 days after the transplanting. Plants were kept in the greenhouse until they presented symptoms of flood stress and were harvested 46 days after transplanting when symptoms of flood stress were more clearly manifested, so that plants exposed to waterlogging had undergone this condition during 25 days.

The total leaf area was determined using a Li-Color 3000A analyzer (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, USA). Necrotic leaf area was calculated based on the percentage of total leaf area affected. For the dry weight variable of the plant, the weight was recorded after the plants were dried in an oven at 75°C until the constant dry weight was reached. The leaf area ratio (LAR), the absolute growth rate (AGR) and the relative growth rate (RGR) were calculated based on the methodology proposed by Hunt (1990). The chlorophyll content index (CCI) was determined when plants exhibited stress symptoms using a CCM 200 Plus meter (Opti-Sciences, Hudson, USA). For the determination of the maximum photochemical quantum yield of photosystem II ( $F_v/F_m$ ), effective quantum yield of photosystem II ( $\Phi\text{PSII}$ ), and coefficient of photochemical



fluorescence quenching ( $qP$ ), two leaves of the middle third of each plant were selected and adapted to dark conditions. Leaf temperature at the time of fluorescence measurement was  $20.7 \pm 1.3^\circ\text{C}$ . An actinic light pulse of  $820 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  was used. The measurements were performed very low illumination, using a Mini-Pam-II photosynthesis yield analyzer (Heinz Walz GmbH, Germany).

The experiment consisted of a completely randomized design, of which factors were the control treatment (soil on field capacity) and the soil flooding. This experimental arrangement consisted of twenty-eight replicates by treatment, taking one plant as a replication. An analysis of variance was performed with the Tukey's honest significance test ( $P \leq 0.01$ ), by means of the SPSS (IBM® SPSS® Statistics) version 20.0.

## RESULTS AND DISCUSSION

**Growth related variables:** From the collected information, it was possible to determine that the flooding induced a 69.7% reduction of the total dry weight of the plants, when compared to the control plants, with a highly significant statistical difference (Table 1). It has been reported that the low availability of oxygen in the substrate induced by waterlogging conditions and the low soil redox potential, negatively and significantly affect several aspects of plant physiology. Changes in carbon assimilation and nutrients uptake can be mentioned among these aspects. In addition, root metabolism is significantly impaired (Kozłowski, 1997; Pezeshki, 2001; Kreuzwieser *et al.* 2004).

Kozłowski (1997) and Casierra-Posada & Vargas (2007) mention that flooding and waterlogging cause alterations in vegetative and reproductive growth and changes in plant anatomy, and induce early organs senescence and mortality in plants. However, the responses of plants grown under this environmental condition are highly dependent on the genotype, plant age, waterlogging conditions and the time that plants remain flooded. In addition, waterlogging causes reduction in the photosynthetic rate in many angiosperms and gymnosperms, which is reduced within a few hours after the plants have been flooded. In addition, Ahmed *et al.* (2002) reported the closure of stomata as a consequence of this stress-causing factor, caused by a reduction in hydraulic conductivity of the roots, which normally leads water stress. However, this is not a general condition for all plants, since in some cases the stomata are closed, but the leaves remain turgid even when the plants have remained more than 20 days underwater. On the other hand, Ashraf (2012) mentions that in plants of *Pisum sativum*, the closing of the stomata is attributed to the transport of abscisic acid from the old leaves to the young ones, and also to the *de novo* synthesis of this hormone in plants under water.

Casierra-Posada & Gómez (2008) reported that under waterlogging conditions, two species of *Furcraea* reduced biomass production from 38,9 to 48,0% in relation to the control, whereas in different cultivars of *Fragaria* sp, biomass was reduced between 45,9 and 52,9% in waterlogged plants, compared to control plants (Casierra-Posada & Vargas, 2007; Fischer *et al.* 2016). These authors justify these findings based on anaerobic respiration in the roots, as a

Table 1. Variables used to determine the effect of waterlogging on cabbage plants (*Brassica oleracea* var. capitata).

Source of Variation	Non-waterlogged	waterlogged	Significance
Total dry weight (g)	$2.35 \pm 0.54$ a	$0.71 \pm 0.27$ b	**
Leaf area ( $\text{cm}^2$ )	$157.12 \pm 56.40$ a	$30.25 \pm 12.89$ b	**
Necrosed leaf area (%)	$0.0 \pm 0.0$ b	$31.02 \pm 14.58$ a	**
Chlorophyll Content Index	$42.81 \pm 8.27$ a	$36.48 \pm 10.92$ b	*
Leaf area ratio ( $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ )	$6.9 \cdot 10^{-3} \pm 0.002$ a	$4.4 \cdot 10^{-3} \pm 0.0012$ b	**
Absolute growth rate ( $\text{g d}^{-1}$ )	$0.038 \pm 0.01$ a	$0.0036 \pm 0.005$ b	**
Relative growth rate ( $\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$ )	$0.0124 \pm 0.003$ a	$0.0019 \pm 0.002$ b	**
$F_v/F_m$	$0.78 \pm 0.06$ a	$0.64 \pm 0.166$ b	**
$\Phi\text{PSII}$	$0.6 \pm 0.03$ a	$0.3 \pm 0.04$ b	**
$qP$	$0.11 \pm 0.06$ a	$0.07 \pm 0.07$ b	**

\* Significant at 5%

\*\* Significant at 1%.

Average values in the row, followed by different letter, imply a statistically significant difference according to the Tukey's honest significance test ( $P \leq 0.01$ ).

The average values in each case are followed by the value of the standard deviation.

consequence of hypoxia in the substrate, and in the reduction of the photosynthetic rate, frequently reported in flooded plants, where the stomata closure also occurs, which has as consequence a decrease of the CO<sub>2</sub> exchange rate and therefore, the carboxylation reduces. This response may not be immediate and initially the net photosynthesis rate can be maintained with few variations, due to the sub-stomatal CO<sub>2</sub> concentration.

Additionally, it is reported that at low availability of oxygen in the substrate, reactive oxygen species (ROS) are produced, which alter a large number of processes in plants. These ROS include superoxide (O<sub>2</sub><sup>-</sup>), hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) and the hydroxyl radical (<sup>•</sup>OH). In this regard, high H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> contents can lead to the inhibition of the Calvin cycle (Ashraf, 2012), with negative consequences for the carbon fixation during photosynthesis, which decreases total dry matter.

In relation to the control plants, the leaf area of the waterlogged plants was reduced by 80,2%. Furthermore, it was found that the plants submitted to water excess conditions had a 31,0% necrotic leaf area, whereas in the control plants this symptomatology was not present. A statistical difference was found in this respect (Table 1). The decrease of leaf area and presence of leaf necrosis has been reported to be a consequence of waterlogging. Leaf necrosis appears in plants exposed to flooding when plants are exposed to this type of abiotic stress (Oliveira *et al.* 2015; Casierra-Posada & Vargas, 2007). Casierra-Posada & Vargas (2007) found that in different cultivars of *Fragaria*, waterlogging induced leaf necrosis of 30,1 – 41,2%, while no necrosis occurred in the control plants. Similarly, Oliveira *et al.* (2015) report necrosis on leaves of *Aspidosperma macrocarpon* and *Kielmeyera coriacea* seedlings exposed to waterlogging. On the other hand, Casierra-Posada & Gómez (2008) found that in *Furcraea macrophylla* the flooding reduced 41,5% of the leaf area, while in *Furcraea castilla*, 32,7%. Additionally, Oliveira *et al.* (2015) reported that in seedlings of six forest species, the soaked plants had a leaf area of 90,0dm<sup>2</sup>, while in the control plants, a leaf area of 125,9dm<sup>2</sup> was found.

Excess water in the soil causes inhibition of the Krebs cycle and alterations in the respiratory chain, since in the roots of plants exposed to this condition anaerobic respiration occurs, resulting in a lower production of ATP, which can affect several metabolic processes in plants (Casiera-Posada & Gómez, 2008). In addition, increased leaf chlorosis and senescence are common symptoms in plants that are not tolerant to waterlogging (Pezeshki, 1994). All these approaches suggest that flooding has a strong impact on leaf growth and leaf area development.

Compared to control plants, leaf area ratio (LAR) was reduced by 36,2% in soaked plants. The higher values of LAR found in the control plants are proof that most of the produced

assimilates during the photosynthetic process are destined to the formation of leaves. This occurs in order to obtain a greater absorption of the incident radiation. On the contrary, the reduction in the value of the LAR presented in the plants submitted to waterlogging indicates the reduction in the leaf area available for photosynthesis (Pedó *et al.* 2015). These authors explain that the observed decrease in LAR values in *Secale cereale* plants may express the gradual increase of non-assimilated tissues, as well as the formation of reproductive structures, which present a high sink strength.

The waterlogging reduced the absolute growth rate (AGR) and relative growth rate (RGR), 90,5 and 84,6%, respectively, when compared to the control plants. In relation to these two variants of growth rates, Hunt (1990) mentions that while AGR is the simplest index to express plant growth, RGR facilitates more equitable comparisons than when AGR is used. Therefore, Poorter *et al.* (2012) use RGR instead of AGR to express growth in plants. They mention that since the value of the LAR indicates the amount of leaf area that is in the dry mass of a plant, this is the factor that has a strong influence on the photosynthetic rate and respiration, from which the RGR results. In agreement with this approach, a direct relation between the values of the LAR and RGR was found in our study. The values of these two variables decreased with waterlogging. The decrease in the value of the LAR caused a decrease in the photosynthetic rate reflected in the RGR value and also in the value of the dry mass found in soaked plants, in relation to the plants maintained at field capacity.

**Chlorophyll content:** Chlorophyll content index (CCI) was reduced by 14,7%, in comparison to the control plants, with a statistically significant difference ( $P \leq 0.05$ ). In this regard, Ezin *et al.* (2010) mention that both chlorophyll fluorescence and SPAD (Special Products Analysis Division) records would be good indicators when selecting cultivars of *Lycopersicon esculentum* with respect to their tolerance to flooding. Additionally, Baruah, (1996) and Sarkar *et al.* (1996) reported that in *Oryza sativa*, the ability to conserve chlorophyll content in plants exposed to flooding is considered a mechanism of tolerance to this stress-causing factor. In this study, the reduction in chlorophyll content presented a low statistical difference at 5% level, whereas for all other variables evaluated, a statistically significant difference was found at 1%. This can be justified by the fact that the flooding not only reduced the leaf area but also induced necrosis in the leaves, so that the plants had to develop a compensation mechanism such as the additional production of chlorophyll, in order to guarantee their survival. This aspect can be corroborated by the reduction of the value of the LAR in soaked plants, which indicates a decrease of the leaf area available for photosynthesis, according to Pedó *et al.* (2015).

Grzesiak *et al.* (2017) indicated that soil compaction, drought and waterlogging stresses cause alterations on dry matter accumulation in roots and shoots, shoot to root ratio, membrane injury, chlorophyll content (SPAD), leaf and root water potential, gas exchange parameters and water use efficiency. These stressors are multidimensional environmental factors that have considerable effects on plant growth, development and yield. Therefore, the impact of combined stresses on the physiology of crop plants is key to understanding stress susceptibility mechanisms under natural field conditions.

Although stomatal closure is a commonly reported consequence in plants growing exposed to waterlogging, the reduction induced by this factor in terms of carbon assimilation can also be attributed to limitations in the rate of photosynthesis that do not involve the stomata (Herrera *et al.* 2008). These alterations in carbon assimilation may have their origin in changes in the content of photosynthetic pigments and in alterations in the content of enzymes involved in carboxylation (Kozłowski 1997; Pezeshki 2001). However, in the present work, in addition to the causes argued to justify the reduction in the assimilation of carbon in waterlogged plants, reflected in the reduction of biomass, one must take into account the drastic reduction in the leaf area registered in plants subjected to this stressor, which substantially decreases the photosynthetic area.

As in the present work, Mielke & Schaffer (2010) reported a reduction in the average value of the CCI in seedlings of *Eugenia uniflora* that grew under flooding. The value of the CCI in the control plants was 2,0% above the value registered in soaked plants, with statistical differences only at 5%. Also Ezin *et al.* (2010) found significant differences in SPAD values in only one of the four *Lycopersicon esculentum* evaluated genotypes in relation to ponding. In this genotypes, flooding reduced the value of SPAD records compared to control plants. In addition, Tiryakioğlu *et al.* (2015) found a decrease in the contents of chlorophyll *a*, chlorophyll *b* and carotenoids in seedlings of *Triticum aestivum* subjected to flooding.

**Chlorophyll fluorescence:** It was found that flooding induced a reduction of 17,9% in the value recorded for the maximum photochemical quantum yield of photosystem II ( $F_v/F_m$ ), in relation to the value found in the control plants. In this regard, Baker (2008) mentions that in many ecophysiological studies it is suggested that the decreases found in the value of  $F_v/F_m$  as a consequence of the exposure of the plants to some stressor, imply that the photosynthetic efficiency of the leaves in light conditions was affected. In this sense, the  $F_v/F_m$  coefficient has been widely used as an indicator of photoinhibition of photosynthesis (Maxwell & Johnson, 2000; Casierra-Posada, 2007; Baker, 2008). Moreover, according to Mohammed *et al.* (2003), the value

of this variable in healthy plants should be in the range of 0,83-0,76, which was the value of the  $F_v/F_m$  measured in the control plants in the present work. Thus, according to Ashraf (2012), it can be said that the reduction in the value of  $F_v/F_m$  is an indicator of the sensitivity of the photosynthetic apparatus to the abiotic stressors, and of the plants' inability to regenerate the Rubisco when they are exposed to stress conditions. In spite of the previously mentioned approaches, Baker (2008) indicate that it should be taken into account that the value of  $F_v/F_m$  recorded in leaves previously adapted to darkness is a useful relative measure of the maximum quantum yield of photochemistry of the photosystem II (PSII), but does not provide an accurate quantitative value of the quantum yield. In the present work, the flooding did not induce a very high difference in the value of  $F_v/F_m$  recorded in leaves previously adapted to the darkness, since in the plants exposed to flooding a value of 0.64 was recorded, which, according to Mohammed *et al.* (2003), would be a value in the category of "fair" (0.69-0.66). The difference of the value of  $F_v/F_m$  in the two treatments in the present investigation does not suggest that the soaked plants were under a severe strain. Waterlogging negatively influenced the values of the growth-related variables recorded in the plants and the dry weight. This also has a severe effect on the factors involved in photosynthesis, which can be explained based on the approach of Živčák *et al.* (2014), who mention that the value of  $F_v/F_m$ , in some cases, is not sensitive enough to determine the effect some stressors have on the decline of photosynthesis.

The effective quantum yield of photosystem II ( $\Phi$ PSII) was reduced by 50% in the waterlogged plants, compared to the control plants. Determination of  $\Phi$ PSII has an advantage, since this variable is more sensitive to a large number of stressors than the  $F_v/F_m$  value, according to Fernandes *et al.* (2012) since it has been found that the reduced plant health under prolonged soaking may result in biochemical alterations such as restriction of ribulose bisphosphate carboxylase (RuBPC), phosphoglycollate and glycollate oxidase activity, as well as severe damage to chloroplast membranes. These alterations restrict the electron transport chain during photosynthesis and negatively alter the efficiency of PSII (Ashraf, 2012). In this respect, the recorded values for  $\Phi$ PSII in the present test were found to be more in agreement with the reduction of dry matter recorded in plants submitted to waterlogging, and in general, with all variables related to plant growth. These results agree with the results reported by Ren *et al.* (2016) who also found a decrease in the value of the effective quantum yield of photosystem II ( $\Phi$ PSII) in *Zea mays* plants subjected to flooding. Their studies indicate that flooding induces damage to PSII, the potential energy for photosynthesis is reduced, leading to a decrease in the photosynthetic rate and therefore to a reduction in the grain yield.

Similar to the results found in this work, Tubuxin *et al.* (2015) found a high correlation between the content of chlorophyll and the effective quantum yield of photosystem II ( $\Phi$ PSII). Therefore, it can be assumed that the decrease of the CCI found in plants submitted to waterlogging in the present study, affected the value of  $\Phi$ PSII in the same way. This effect also led to the reduction of the photosynthetic rate and, consequently, the growth and the production of dry matter in soaked plants.

The value of the coefficient of photochemical fluorescence quenching ( $qP$ ) was reduced by 36% in the waterlogged plants compared to plants maintained at field capacity (control). According to Baker (2008), the  $qP$  value has been frequently used to estimate the redox state of the  $Q_A$  (the primary quinone electron acceptor of PSII). However, in many cases, there is no linear relationship between  $qP$  and the number of PSII centers that are open, so changes recorded in the value of  $qP$  should not always be used to estimate the redox state of  $Q_A$ . In this study plants subjected to waterlogging, had a  $qP$  value that reduced considerably, indicating that the plants were under stress, since Mohammed *et al.* (2003) indicate that in healthy plants, the value of  $qP$  is between 0,8-1,0. Mohammed *et al.* (2003) mention that in plants subjected to some type of stress, the final value of  $qP$  is reduced considerably, compared to control plants. The findings of this study are in agreement with the results reported by Wu *et al.* (2015) who report a reduction in the value of  $qP$  *Triticum aestivum* plants exposed to flooding. These authors mention that the reduction found in the soaked plants was mainly due to the reduction in the efficiency of excitation energy capture of the open PSII reaction centers.

**Waterlogging Tolerance:** Loreti *et al.* (2016) point out that waterlogging tolerance implies a balance between the factors involved in anaerobic root respiration and other mechanisms that can prevent carbon starvation and oxidative stress. On the other hand, Zou *et al.* (2015) suggest that abscisic acid (ABA) plays a key role in the development of tolerance of *Brassica napus* plants to flooding stress. According to Parent *et al.* (2008), in general, the tolerance of plants to waterlogging can be evaluated based on the growth, development and survival of plants; the production of some proteins during hypoxic conditions; the reduction in stomatal conductance, photosynthesis and root hydraulic conductivity; the efficient use of carbohydrates; the formation of hypertrophied lenticels, development of aerenchyma and adventitious roots.

**Conclusions and perspectives:** Based on the studied approaches, plants of *Brassica oleracea* var. capitata would have little tolerance to this stress-causing factor, since the variables related to growth, chlorophyll content and variables

related to plant fluorescence were severely affected by the exposure of plants to waterlogging. In conclusion, the planting of this vegetable in potentially rainy seasons is not suggested. Study of regulatory mechanisms and signaling events responsible for triggering responses to oxygen depletion conditions in plants is a fascinating research field. Understanding the signaling mechanisms that determine the organ and whole plant response to oxygen deprivation, regulation of leaf and internode elongation, petiole curvature, aerenchyma formation and adventitious root growth is another attractive area for research. The study of these approaches will be of relevance to horticulture and will provide knowledge of the fundamental nature of the behavior of plants exposed to flooding and waterlogging.

**Acknowledgments:** The authors are grateful for the collaboration of the engineer Alexander Carrreño Patiño, for his data contribution. **Conflict of interests:** The manuscript was prepared and reviewed with the participation of the authors, who declare that there exists no conflict of interest that puts in risk the validity of the results presented.

## BIBLIOGRAPHY

1. AHMED, S.; NAWATA, E.; HOSOKAWA, M.; DOMAE, Y.; SAKURATANI, T. 2002. Alterations in photosynthesis and some antioxidant enzymatic activities of mungbean subjected to waterlogging. *Plant Sci.* 163(1):117-123.
2. ASHRAF, M. 2012. Waterlogging stress in plants: A review. *Afr. J. Agr. Res.* 7(13):1976-1981.
3. BAKER, N.R. 2008. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis *in vivo*. *Ann. Rev. Plant Biol.* 59:89-113.
4. BARUAH, K.K. 1996. Physiological disorder in rice (*Oryza sativa* L.). I. Effect of flooding. *Indian J. Agr. Res.* 30:101-108.
5. CASIERRA-POSADA, F. 2007. Fotoinhibición: Respuesta fisiológica de los vegetales al estrés por exceso de luz. Una revisión. *Rev. Col. Ciencias Hortícolas.* 1(1):114-123.
6. CASIERRA-POSADA, F.; VARGAS, Y.A. 2007. Crecimiento y producción de fruta en cultivares de fresa (*Fragaria* sp.) afectados por encharcamiento. *Rev. Col. Ciencias Hortícolas* 1(1):21-32.
7. CASIERRA-POSADA, F.; GÓMEZ, N.E. 2008. Crecimiento foliar y radical en plantas de fique (*Furcraea castilla*

- y *F. macrophylla*) bajo estrés por encharcamiento. *Agronomía Colombiana*. 26(3):381-388.
8. EZIN, V.; De La PENA, R.; AHANCHEDE, A. 2010. Flooding tolerance of tomato genotypes during vegetative and reproductive stages. *Brazilian J. Plant Physiology* 22(2):131-142.
  9. FERNANDES, D.R.P.; CAETANO, V.S.; TENÓRIO, M.M.B.; REINERT, F.; YONESHIGUE-VALENTIN, Y. 2012. Characterization of the photosynthetic conditions and pigment profiles of the colour strains of *Hypnea musciformis* from field-collected and *in vitro* cultured samples. *Rev. Brasileira de Farmacognosia*. 22(4):753-759.
  10. FISCHER, G.; RAMÍREZ, F.; CASIERRA-POSADA, F. 2016. Ecophysiological aspects of fruit crops in the era of climate change. A review. *Agronomía Colombiana*. 34(2):190-199.
  11. GRZESIAK, M.T.; HURA, K.; JÚRCZYK, B.; HURA, T.; RUT, G.; SZCZYREK, P.; GRZESIAK, S. 2017. Physiological markers of stress susceptibility in maize and triticale under different soil compactions and/or soil water contents. *J. Plant Interact.* 12(1):355-372.
  12. HERRERA, A.; TEZARA, W.; MARÍN, O.; RENGIFO, E. 2008. Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis in trees of a tropical seasonally flooded forest. *Physiol. Plant* 134:41-48.
  13. HUNT, R. 1990. Basic growth analysis: Plant growth analysis for beginners. London; Boston. Unwin Hyman. 112p.
  14. KOZŁOWSKI, T.T. 1997. Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiol. Monogr.* 1:1-29.
  15. KREUZWIESER, J.; PAPADOPOULOU, E.; RENNENBERG, H. 2004. Interaction of flooding with carbon metabolism of forest trees. *Plant Biol.* 6:299-306.
  16. LORETI, E.; van VEEN, H.; PERATA, P. 2016. Plant responses to flooding stress. *Curr Opin Plant Biol* 33:64-71. Doi: 10.1016/j.pbi.2016.06.005.
  17. MAXWELL, K.; JOHNSON, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. *J Exp Bot* 51:659-668.
  18. MIELKE, M.S.; SCHAFFER, B. 2010. Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and pigment indexes of *Eugenia uniflora* L. in response to changes in light intensity and soil flooding. *Tree Physiol* 30(1):45-55.
  19. MOHAMMED, G.H.; ZARCO-TEJADA, P.; MILLER, J.R. 2003. Applications of Chlorophyll Fluorescence in Forestry and Ecophysiology. In: DeEll, J.R.; Toivonen, P.M.A. (eds), *Practical applications of chlorophyll fluorescence in plant biology*. Kluwer Academic Publishers. Norwell, USA. p.79-124.
  20. OLIVEIRA, A.S.D.; FERREIRA, C.S.; GRACIANO-RIBEIRO, D.; FRANCO, A.C. 2015. Anatomical and morphological modifications in response to flooding by six Cerrado tree species. *Acta Bot, Bras*, 29(4):478-488.
  21. PARENT, C.; CAPELLI, N.; BERGER, A.; CRÈVECOEUR, M.; DAT, J.F. 2008. An overview of plant responses to soil waterlogging. *Plant Stress* 2(1):20-27
  22. PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E.G.; AUMONDE, T.Z.; VILLELA, F.A. 2015. Plant growth analysis and seed vigor expression: effects of soil waterlogging during rye plant development. *Acta Bot. Bras.* 29(1):01-07.
  23. PEZESHKI, S.R. 1994. Plant response to flooding. In: WILKINSON, R.E. (Ed.). *Plant-environment interactions*. New York. M. Dekker. p.289-321.
  24. PEZESHKI, S.R. 2001. Wetland plant responses to soil flooding. *Env. Exp. Bot.* 46:299-312.
  25. POORTER, H.; NIKLAS, K.J.; REICH, P.B.; OLEKSYN, J.; POOT, P.; MOMMER, L. 2012. Biomass allocation to leaves, stems and roots: Meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist* 193:1-21.
  26. REN, B.; ZHANG, J.; DONG S.; LIU, P.; ZHAO, B. 2016. Effects of waterlogging on leaf mesophyll cell ultrastructure and photosynthetic characteristics of summer maize. *PLoS ONE* 11(9):e0161424.
  27. SARKAR, R.K.; DE, R.N.; REDDY, J.N.; RAMAKRISHNAYYA, G. 1996. Studies on the submergence tolerance mechanism in relation to carbohydrate, chlorophyll and specific leaf weight in rice (*Oryza sativa* L.). *J. Plant Physiol.* 149:623-625.
  28. TIRYAKIOĞLU, M.; KARANLIK, S.; ARSLAN, M. 2015. Response of bread-wheat seedlings to waterlogging stress. *Turk. J. Agric. For.* 39:807-816.

29. TUBUXIN, B.; RAHIMZADEH-BAJGIRAN, P.; GINNAN, Y.; HOSOI, F.; OMASA, K. 2015. Estimating chlorophyll content and photochemical yield of photosystem II (ΦPSII) using solar-induced chlorophyll fluorescence measurements at different growing stages of attached leaves. *J. Exp. Bot.* 66(18):5595-603.
30. VWIOKO, E.; ADINKWU, O.; EL-ESAWI, M.A. 2017. Comparative physiological, biochemical, and genetic responses to prolonged waterlogging stress in okra and maize given exogenous ethylene priming. *Front. Physiol.* 8:632. doi.org/10.3389/fphys.2017.00632
31. WOOD, S.; SEBASTIAN, K.; SCHERR, S. 2000. Soil resource condition. In: Pilot analysis of global ecosystems: Agroecosystems. International Food Policy Research Institute and the World Resources Institute, Washington, D.C. p.45-54.
32. WU, X.; TANG, Y.; LI, C.; WU, C.; HUANG, G. 2015. Chlorophyll fluorescence and yield responses of winter wheat to waterlogging at different growth stages. *Plant Prod. Sci.* 18(3):284-294.
33. ŽIVČÁK, M.; OLŠOVSKÁ, K.; SLAMKA, P.; GALAMBOŠOVÁ, J.; RATAJ, V.; SHAO, H.B.; KALAJI, H.M.; BRESTIČ, M. 2014. Measurements of chlorophyll fluorescence in different leaf positions may detect nitrogen deficiency in wheat. *Zemdirbyste-Agriculture* 101:437-444.
34. ZOU, X.L.; ZENG, L.; LU, G.Y.; CHENG, Y.; XU, J.S.; ZHANG, X.K. 2015. Comparison of transcriptomes undergoing waterlogging at the seedling stage between tolerant and sensitive varieties of *Brassica napus* L. *J. Integr. Agr.* 14(9):1723-1734.

Recibido: Mayo 19 de 2017

Aceptado: Octubre 16 de 2017

#### Cómo citar:

Casierra-Posada, F.; Cutler, J. 2017. Photosystem II fluorescence and growth in cabbage plants (*Brassica oleracea* var. capitata) grown under waterlogging stress. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(2): 321-328.

# EXTRACTORES QUÍMICOS EN LA DETERMINACION DE SILICIO DISPONIBLE EN SUELOS ÁCIDOS, NEUTROS Y ALCALINOS

## CHEMICAL EXTRACTANTS IN THE EVALUATION OF AVAILABLE SILICON IN ACID SOILS, NEUTRAL AND ALKALINE

\*Enrique Combatt C.<sup>1</sup>, Daniel Palacio B.<sup>2</sup>, Jaime Mercado L.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>I.A. Ph.D., Departamento de Ingeniería Agronómica y Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Córdoba, carrera 6 No 76-103, Montería-Córdoba, Colombia, e-mail: \*ecombatt@correo.unicordoba.edu.co; <sup>2</sup>Químico, auxiliar de laboratorio. Carrera 6 No 76-103, Montería-Córdoba, Colombia; <sup>3</sup>Químico, M.Sc, Coordinador analítico del laboratorio de suelos. Universidad de Córdoba, carrera 6 No 76-103, Montería-Córdoba, Colombia

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 329-339, Julio-Diciembre, 2017

### RESUMEN

El contenido de silicio disponible, generalmente, se ha determinado en suelos ácidos, lo que ha descuidado su cuantificación en otros suelos, para poder realizar recomendaciones de este elemento, acorde a su contenido para cada suelo. El objetivo fue evaluar el silicio disponible por diferentes extractores químicos en suelos del departamento de Córdoba, en Colombia. Para ello, se colectaron, a la profundidad de 20cm, muestras de suelos ácidos, neutros y alcalinos, que fueron ingresados al laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Córdoba, para determinar el contenido de silicio disponible. Los extractores químicos fueron cloruro de calcio  $0,01\text{mol L}^{-1}$ , ácido acético  $0,5\text{mol L}^{-1}$ , acetato de amonio  $38,5\text{g L}^{-1}$ , tampón pH 4,0 ( $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2 + \text{CH}_3\text{COONa}$ ) y el método propuesto por los autores, denominado solución de cloruro de bario. Para la extracción, se pesaron 5g de suelo y se le adicionó 50mL de solución extractante y la mezcla fue agitada durante 1h, a 220rpm, filtrada y dejada en reposo por 12h. La cuantificación, se realizó en un espectrofotómetro, a una longitud de onda de 66nm y la determinación química, se efectuó en serie, con tres repeticiones, las cuales, fueron analizadas por correlación y contrastes. En general, de acuerdo a los resultados de mayor a menor concentración de silicio, se presentó en la siguiente secuencia de extracción, suelos alcalinos > neutros > ácidos. Mediante las pruebas estadísticas de Tukey y contrastes, se concluyó que el método solución de cloruro de bario se puede utilizar como alternativo al método de referencia en la determinación de silicio en los tres tipos de suelos. Además, para suelos alcalinos, se puede emplear el método de acetato de amonio  $38,5\text{g L}^{-1}$ , como alternativa para la determinación de silicio.

Palabras clave: Métodos químicos; reactivos; metodologías analíticas; elemento químico.

### SUMMARY

The available silicon content has generally been determined in acid soils, but neglected its quantification in other soils, to be able to make recommendations of this element according to its content for each soil. The objective of this research was to evaluate the available silicon in soils of the department of Córdoba, Colombia by means of different chemical extractors. Samples of acid, neutral and alkaline soils were collected at the depth of 20cm and sent to the Laboratory of Soils and Waters of the University of Córdoba to determine the available silicon content. The chemical extractors were  $0.01\text{mol L}^{-1}$  calcium chloride,  $0.5\text{mol L}^{-1}$  acetic acid,  $38.5\text{g L}^{-1}$  ammonium acetate, pH 4.0 buffer ( $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2 + \text{CH}_3\text{COONa}$ ) and the method proposed by the authors, named barium chloride solution. For extraction, 5g of soil were weighed and 50mL of extractant was added and the mixture was stirred for 1h at 220rpm, filtered and left standing for 12h. The quantification was performed in a spectrophotometer at a wavelength of 66nm and the chemical determination was performed in series with three replicates, analyzed by correlation and contrasts. In general, according to results of higher to lower concentration, silicon was presented in the following sequence of extraction, alkaline soils > neutral > acids. By means of the Tukey test and contrasts it was concluded that the barium chloride solution could be used as alternative to the reference method in the determination of silicon in the three types of soils. In addition, for alkaline soils, the ammonium acetate method  $38.5\text{g L}^{-1}$  can also be used as an alternative for the determination of silicon.

Key words: Chemical methods; reagents; analytical methodologies; chemical element.

## INTRODUCCIÓN

El silicio es un elemento esencial y benéfico para cultivos acumuladores de silicio, como arroz, caña de azúcar, cebada, maíz y trigo, que se siembran en suelos ácidos, neutros y alcalinos, en muchas regiones de mundo (Lima *et al.* 2011). Por lo tanto, es necesario implementar métodos o paquetes de métodos, que permitan un cambio crítico en el entendimiento de las fracciones funcionales hasta estructural y funcionalmente definidas de los elementos cuantificados (Condrón & Newman, 2011).

En Colombia, son pocos los estudios que se han realizado para determinar la concentración de este elemento, por consiguiente, la aplicación, como nutriente esencial, no se tiene en cuenta en el desarrollo de los cultivos, además la falta de investigación sobre la extracción, la cuantificación y la calibración de métodos analíticos, ha ocasionado el poco interés de productores e investigadores a estudiar las funciones de este elemento, en la nutrición de cultivos. Pulz *et al.* (2008) indican que los efectos benéficos del silicio han sido demostrados en varias especies vegetales, especialmente, cuando las plantas son sometidas a algún tipo de estrés, ya sea de carácter biótico o abiótico. Según Shetty *et al.* (2011), el efecto beneficioso de Si se ha demostrado, cuando las plantas sometidas a ataque de enfermedades y algunos insectos, los cultivos incrementan la actividad de enzimas involucradas en la defensa de las plantas, tales como peroxidasa, polifenoloxidasa, fenilalanina amoniocasa y lipoxigenasa. Fauteux *et al.* (2005) expone que, en el caso de un ataque de hongos patógenos, se desencadena un rápido y amplio despliegue de las defensas naturales de la planta, ya sea mediante el secuestro de cationes o directamente mediante el aumento de cierta actividad de las proteínas. Asimismo, la mayoría de los laboratorios de suelos en Colombia no determinan el elemento en sus rutinas analíticas, porque es un elemento poco utilizado en la nutrición de cultivos.

La extracción química del silicio, como nutriente, consiste en poder estimar la disponibilidad de este elemento en suelos, que pueda ser absorbido por los cultivos, pero esta extracción debe correlacionar con la cantidad del elemento que es asimilado por un cultivo, bajo unas condiciones químicas determinadas. Según Havlin *et al.* (2005), el extractor desplaza e intercambia una parte de la cantidad total del elemento, que está relacionada con la cantidad absorbida por las plantas y este análisis de extracción deberá reproducir la cantidad del nutriente que se encuentra en el suelo, ya sea en la solución, en la fase intercambiable, orgánica o mineral que son utilizadas por las plantas.

Existen diversos extractores de silicio disponible que han sido utilizados en varias partes del mundo, por diferentes investigadores. Lima *et al.* (2003) concluyeron que el extractor de acetato de sodio tamponado a pH 4,0, extrajo las mayores cantidades de Si y sobrestima la disponibilidad de silicio en el suelo. Snyder (2001) demostró que el extractor de ácido acético  $0,5\text{mol L}^{-1}$  es bastante práctico y eficiente, en identificar suelos con deficiencia de este elemento. Wang *et al.* (2004) indicaron que la acidez y los aniones podrían impactar de forma aditiva la liberación de Si de los suelos. Por su parte Lima *et al.* (2003) expone que las soluciones más eficientes son las ácidas en comparación con las soluciones neutras, debido a que los extractores ácidos sobreestiman los contenidos de silicio disponible y esto es relacionado con el pH de las soluciones extractoras.

Otro de los extractores que es utilizado actualmente es el cloruro de calcio  $0,01\text{mol L}^{-1}$ , el cual, según Vidal (2003) presenta las mayores correlaciones entre el silicio extraído en el suelo y la cantidad de silicio absorbido por la planta. Según Korndörfer *et al.* (2004), el extractor de silicio más utilizado es el cloruro de calcio  $0,01\text{mol L}^{-1}$ ; sin embargo, se necesitan más estudios sobre diferentes extractores para los diferentes suelos, ya que los resultados de extracción son diferentes y dependen de las características físicas y químicas de los suelos. Además, Berthelsen & Korndörfer (2005) indican que hay una gran diversidad de métodos de extracción de silicio disponible para las plantas y ningún extractor es igualmente eficaz, en todos los tipos de suelos, porque la cantidad extraída de silicio varía de acuerdo a la solución extractora y al tipo de suelo.

Como Córdoba, Colombia, es un departamento con una gran variedad de suelos y los estudios sobre la determinación de silicio disponible son escasos y su dinámica de extracción no es totalmente conocida, el objetivo de esta investigación fue evaluar la correlación que existe entre el método de referencia  $\text{CaCl}_2$   $0,01\text{mol L}^{-1}$  y cuatro extractores químicos de silicio disponible, entre los cuales, se encuentra la solución de cloruro de bario.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio fue realizado en el laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba. Fueron colectadas 18 muestras de suelo de 5kg, a una profundidad hasta 20cm, en zonas establecidas con pasto, donde seis fueron suelos ácidos (Municipio de Montelíbano), seis neutros (Municipio de Montería Moñito) y seis alcalinos (Municipio de Moñito). Estas muestras de suelos se secaron a temperatura ambiente y fueron sometidas a trituración, en un molino eléctrico, marca Thurm TGL-8394 y, posteriormente, pasadas por malla de 2mm, en tamices Soils test ASTM E-11, para lograr su homogenización. Finalmente, las



muestras fueron empacadas en recipientes plásticos, herméticamente cerrados, para evitar el exceso de humedad. Estas muestras fueron caracterizadas químicamente, de acuerdo a las metodologías del IGAC (2006), seguidas por el laboratorio, a excepción del boro disponible, que fue determinado por el método HCl 0,05mol L<sup>-1</sup> (Silva & Ferreyra, 1998), que se observan en la tabla 1.

**Métodos de extracción para la determinación de silicio disponible.** Para cuantificar el contenido de silicio disponible en los suelos, se utilizaron cinco extractores, empleando una relación de 5g de suelo, con 50mL de solución extrac-

tora, agitados por 1h, a 220rpm. Los métodos de extracción fueron cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>) 0,01mol L<sup>-1</sup>, denominado método de referencia, de acuerdo con Korndörfer *et al.* (2004); extracción con ácido acético (HC<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>) 0,5mol L<sup>-1</sup> (Korndörfer *et al.* 2004); extracción con acetato de amonio (CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>) 38,5g L<sup>-1</sup> (Pereira *et al.* 2007); extracción con tampón pH 4,0 (42mL HC<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub> + 14,8g de CH<sub>3</sub>COONa) (Korndörfer *et al.* 1999) y, por último, la extracción de silicio en 5g de suelo, con 49mL de agua + 1mL de BaCl<sub>2</sub> al 10%, denominada por los autores como solución de cloruro de bario, por introducir BaCl<sub>2</sub> al 10%, en la metodología de extracción solo con agua.

Tabla 1. Caracterización química de suelos ácidos, neutros y alcalinos, del departamento de Córdoba, Colombia.

Suelos	pH	MO	S	P	Ca	Mg	K	Na	Al+H	CICE	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	1:1	%	----mg kg <sup>-1</sup> ----		-----cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> -----						-----mg kg <sup>-1</sup> -----				
<b>SUELOS ÁCIDOS</b>															
1	4,24	2,07	23,80	2,40	4,50	4,40	0,27	0,20	5,20	14,47	4,60	50,40	3,90	14,40	0,12
2	4,72	0,86	12,70	1,40	0,10	0,20	0,03	0,07	0,92	1,32	0,40	56,00	0,60	2,60	0,10
3	5,35	0,17	7,00	0,20	3,50	3,90	0,10	0,15	4,22	11,87	1,00	30,40	0,50	4,40	0,08
4	5,32	0,52	8,20	1,00	1,20	2,10	0,12	0,17	2,16	5,75	1,40	18,40	0,90	12,00	0,09
5	5,94	1,03	13,60	2,20	4,50	1,40	0,17	0,22		6,29	1,50	50,00	1,00	16,00	0,16
6	5,83	0,34	7,90	3,00	1,50	0,70	0,05	0,10		2,35	0,40	32,00	1,90	8,00	0,12
<b>Promedio</b>	5,23	0,83	12,2	1,7	2,55	2,11	0,12	0,15	3,12	7,00	1,55	82,0	1,46	9,5	0,11
<b>SUELOS NEUTROS</b>															
1	6,30	1,71	97,20	3,80	22,50	6,90	0,37	0,23		30	1,30	71,60	1,60	55,58	0,15
2	6,42	0,51	20,50	7,20	18,40	6,80	0,22	0,23		25,65	1,80	40,40	1,60	48,00	0,14
3	5,97	1,87	8,40	2,20	14,70	15,80	0,22	0,36		31,08	0,70	16,80	0,92	22,80	0,13
4	6,74	2,73	15,50	9,40	47,50	7,20	0,41	0,98		56,09	0,20	3,00	1,00	8,80	0,31
5	6,17	1,20	7,60	3,80	6,80	3,20	0,11	0,53		10,64	1,10	53,20	1,00	35,60	0,12
6	6,56	3,10	7,00	5,30	21,60	18,30	0,47	0,48		40,85	0,20	2,64	3,08	18,00	0,36
<b>Promedio</b>	6,36	1,86	26,0	5,30	21,9	9,70	0,30	0,47		32,3	0,89	31,2	1,53	31,4	0,20
<b>SUELOS ALCALINOS</b>															
1	7,35	0,17	13,0	44,22	19,00	15,00	0,14	1,17		35,31	0,48	16,40	1,32	32,39	0,16
2	8,08	1,03	7,00	87,10	37,00	7,50	0,49	0,33		45,32	0,20	0,70	0,30	18,80	0,08
3	8,21	0,34	7,00	55,90	38,50	10,00	0,20	0,28		48,98	0,40	10,40	0,40	14,80	0,16
4	7,39	1,21	7,30	32,10	26,50	24,10	0,25	0,83		51,68	0,30	2,60	0,60	2,24	0,16
5	8,11	0,17	8,40	44,40	46,50	1,70	0,14	0,15		48,49	0,20	0,60	0,10	12,40	0,06
6	7,81	2,23	7,02	16,60	36,00	2,60	0,29	0,13		39,02	0,16	1,50	0,08	8,00	0,08
<b>Promedio</b>	7,83	0,86	8,30	46,72	33,92	10,15	0,25	0,48		44,80	0,28	5,37	0,46	14,77	0,12

pH: Relación suelo-agua 1:1. MO: Walkley – Black. S: Fosfato de calcio monobásico 0,008 mol L<sup>-1</sup>. P: Bray –II modificado. Ca-Mg-K-Na: Acetato de amonio 1,0mol L<sup>-1</sup> pH 7,0, Al+H: KCl 1,0mol L<sup>-1</sup>. CICE: Suma de bases. Cu-Fe-Zn Mn: Mehlich – 1, B: HCl 0,05mol L<sup>-1</sup>.

**Cuantificación del contenido de silicio disponible en los suelos.** Después de agregar las soluciones extractoras por separado, denominadas como tratamientos, a cada muestra de suelo y una vez transcurrida una hora de agitación, se filtraron las soluciones en papel número 42 y los filtrados se dejaron en reposo, por un periodo de 12h. Para la cuantificación de silicio disponible, se colectó una alícuota de 10mL del extracto filtrado de cada muestra y se colocó en un vaso plástico de 50mL; seguidamente, se adicionó al extracto 1mL de solución sulfomolibdica, para la formación del complejo  $\beta$ -molibdosilicato de color amarillo, que ocurre después de 5min, a pH 1,4 y 2,0. A excepción de la extracción con  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  38,5g  $\text{L}^{-1}$ , al cual, hubo la necesidad de disminuir el pH de la solución antes de la aplicación de la solución sulfomolibdica, adicionándole 3mL de ácido clorhídrico 1mol  $\text{L}^{-1}$  en 10mL de extracto. Después de transcurrido 1min de la adición de la solución sulfomolibdica fueron adicionados 2mL de ácido tartárico 200g  $\text{L}^{-1}$  utilizado, para acomplejar el fósforo de la solución.

Seguidamente, después de 5min, a las concentraciones de la curva y de cada solución extraída por los métodos, fueron adicionados 10mL de ácido ascórbico 3g  $\text{L}^{-1}$ , para que en la reducción del complejo  $\beta$ -molibdosilicato de color amarillo, pasara a azul de molibdeno y después de una 1h, se realizó la lectura, en un espectrofotómetro Perkim Elmer lambda XLS+ a 660 nm.

Para la extracción del silicio, se utilizaron 3 repeticiones, que fueron analizadas en bloque, denominadas como series en la realización de los análisis químicos. Los resultados de silicio disponible extraído por los métodos de extracción en los suelos evaluados fueron sometidos a correlaciones, pruebas de medias por la prueba de tukey y contrastes, a un nivel del 5% de probabilidad, en el Software estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 8.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización de los parámetros químicos de los suelos ratificó que presentaron características de suelos ácidos, neutros y alcalinos (Tabla 1). Los suelos ácidos expusieron, en promedio, un pH de 5,23; bajos contenidos de bases, alta concentración de acidez intercambiable, de 3,12cmol<sup>+</sup>kg<sup>-1</sup> y entre los elementos menores el hierro presentó los mayores contenidos 82,03mg kg<sup>-1</sup>. Para los suelos neutros, se observa que los contenidos de calcio y de magnesio aumentaron con respecto a los suelos ácidos, con promedio de 21,92 y 9,70mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Estos suelos, se caracterizaron por poseer un pH entre 5,97 y 6,74, contenidos medios de hierro de 31,2mg kg<sup>-1</sup> y contenidos bajos de fósforo, con 5,30mg kg<sup>-1</sup>. Para los suelos alcalinos, un pH de 7,83; bajo porcentaje de materia orgánica de 0,86% y bajos contenidos de fósforo, con 5,3mg kg<sup>-1</sup>; contenido de calcio y de magne-

sio en promedio de 33,92 y 10,15cmol<sup>+</sup>kg<sup>-1</sup>, alta capacidad de intercambio catiónico, con 44,8 cmol<sup>+</sup>kg<sup>-1</sup> y bajas concentraciones de elementos menores (Tabla 1).

### Extracción de silicio en suelos ácidos, neutros y alcalinos.

En estos suelos fue determinado que la extracción de silicio disponible en suelos ácidos de mayor a menor concentración se presentó en el siguiente orden:  $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$  0,5mol  $\text{L}^{-1}$  > Tampón pH 4,0 ( $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$  +  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) > solución de cloruro de bario >  $\text{CaCl}_2$ mol  $\text{L}^{-1}$  >  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  38,5g  $\text{L}^{-1}$ , con un promedio de extracción de 25,01; 20,82; 11,18; 8,37 y 4,04mg kg<sup>-1</sup>.

Para suelos neutros ( $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$  0,5mol  $\text{L}^{-1}$ ) > (Tampón pH 4,0 ( $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$  +  $\text{CH}_3\text{COONa}$ )) > (solución de cloruro de bario) > ( $\text{CaCl}_2$  mol  $\text{L}^{-1}$ ) > ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  38,5g  $\text{L}^{-1}$ ), con una extracción de 116,26; 83,67; 26,2; 24,95 y 15,19mg kg<sup>-1</sup> y para suelos alcalinos, se halló la misma tendencia en extracción de silicio, con 148,36; 112,85; 24,26; 21,18 y 16,97mg kg<sup>-1</sup> (Tabla 2), resultados que indican que la menor cantidad de silicio extraído se presentó en los suelos ácidos, porque estos suelos, con arcillas tipo 2:1, son los más evolucionados y debido a las condiciones de precipitación y de temperatura, que oscilan entre 1.500 y 3.000mm año<sup>-1</sup> y entre 30 y 40°C, hay lixiviación del elemento a los horizontes subsuperficiales. Harley & Gilkes, (2000) explican que la solución de suelo es un sistema abierto y la lixiviación y la difusión afectan a la disolución de productos durante el proceso de desgaste de minerales de silicato. Por otra parte, Stewart *et al.* (2001) explican que las tasas de agotamiento de minerales primarios y la formación de arcilla y óxido de metal secundario disminuyen progresivamente con la edad del suelo.

Con estos resultados fue constatado que el ácido acético a 0,5mol  $\text{L}^{-1}$  y la solución tampón de pH 4,0 tienen la capacidad de extraer silicio, que hace parte de compuestos insolubles, en los tres tipos de suelos. Además, a la alta acidez de las soluciones extractoras, que solubilizan el silicio, logran extraer los polímeros simples, que se encuentran en el suelo. Pereira *et al.* (2007) explican que el ácido acético también extrae silicio originario de polímeros simples, los cuales, son afectados por el cambio del pH de la solución y Korndörfer *et al.* (2004) indican que el ácido acético puede solubilizar pequeñas cadenas de Si polimerizado. Seron *et al.* (2007), al evaluar diferentes dosis de silicio y diferentes extractores encontraron que el ácido acético extrajo la mayor cantidad de silicio disponible. Pereira *et al.* (2004) encontraron que el ácido acético sobreestima el contenido de silicio en los suelos, principalmente, en los corregidos con cal agrícolas y en aquellos donde fueron aplicados fuentes ricas en aluminosilicatos.

Asimismo, las menores concentraciones de silicio fueron encontradas cuando se utilizaron las soluciones diluidas o

Tabla 2. Contenido de Si disponible por cinco métodos de extracción en suelos ácidos, neutros y alcalinos, del departamento de Córdoba, Colombia.

SUELOS ÁCIDOS					
Suelos	M1	M2	M3	M4	M5
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----				
	----				
1	12,35	27,13	4,89	18,94	17,49
2	3,87	12,84	3,92	10,74	3,67
3	9,84	33,38	2,81	25,87	12,84
4	12,58	39,50	4,20	29,47	17,07
5	8,85	31,97	4,43	31,92	12,30
6	2,73	5,24	3,97	7,96	3,72
<b>Promedio</b>	8,37	25,01	4,04	20,82	11,18
<b>Desvest</b>	4,20	13,20	0,70	9,94	6,17
SUELOS NEUTROS					
Suelos	M1	M2	M3	M4	M5
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----				
	----				
1	19,54	114,92	10,18	84,74	16,45
2	13,39	137,42	11,08	95,07	19,93
3	15,77	47,78	6,56	37,11	14,75
4	48,06	198,31	38,18	149,78	47,69
5	15,16	41,81	7,22	28,45	17,58
6	37,78	157,28	17,88	106,87	40,81
<b>Promedio</b>	24,95	116,26	15,19	83,67	26,20
<b>Desvest</b>	14,43	61,80	11,97	45,29	14,25
SUELOS ALCALINOS					
Suelos	M1	M2	M3	M4	M5
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----				
	----				
1	22,34	135,88	14,27	68,27	23,78
2	16,57	132,82	11,89	111,04	20,47
3	16,07	200,89	13,19	173,30	23,06
4	25,59	147,65	10,64	66,93	28,62
5	16,93	109,36	12,51	103,37	20,53
6	29,56	163,59	39,30	154,19	29,08
<b>Promedio</b>	21,18	148,36	16,97	112,85	24,26
<b>Desvest</b>	5,59	31,34	11,01	43,71	3,80

**M1:** CaCl<sub>2</sub> mol L<sup>-1</sup>, **M2:** HC<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup>, **M3:** CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> 38,5g L<sup>-1</sup>, **M4:** Tampón pH 4,0 (HC<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub> + CH<sub>3</sub>COONa), **M5:** solución de BaCl<sub>2</sub>. **Desvest:** desviación estándar.

salinas, como el cloruro de calcio  $0,01\text{mol L}^{-1}$  y acetato de amonio, que extraen la menor cantidad de silicio disponible, en estos suelos. La pequeña cantidad de silicio extraído por estos métodos está directamente relacionada con el pH de las soluciones, porque a este pH, no hay solubilización de compuestos insolubles. Berthelsen *et al.* (2001) indican que el agente de extracción más débil después del agua es el  $\text{CaCl}_2$ , que solo extrae la fracción de Si fácilmente soluble y Pereira *et al.* (2007), en un estudio de comparación de métodos de extracción de silicio en diferentes clases de suelos en Australia, encontraron que los extractores tienden a solubilizar el Si de diferentes componentes de la matriz del suelo.

Al analizar las correlaciones entre los contenidos de silicio extraído, entre los métodos estudiados y el método de re-

ferencia cloruro de calcio  $0,01\text{mol L}^{-1}$  en los suelos ácidos (Figura 1), se observa que el coeficiente de correlación ( $r$ ) fue altamente significativo ( $0,99^{**}$ ), cuando se comparó la extracción de silicio con el método de agua modificada y el método de referencia. Resultados que son diferentes cuando fueron evaluados los extractores, ácido acético  $0,5\text{mol L}^{-1}$ , solución tampón de pH 4,0 y el acetato de amonio  $38,5\text{g L}^{-1}$ , que presentaron coeficientes de correlación no significativos, debido a la capacidad de extraer silicio de compuestos insolubles. Xu *et al.* (2001) registraron que los extractantes ácidos, como acetato sódico y ácido cítrico, extraen las mayores cantidades de Si en suelos calcáreos, que son disueltos a partir de silicatos cálcicos, solubles en ácidos, pero no absorbidos fácilmente por las plantas.

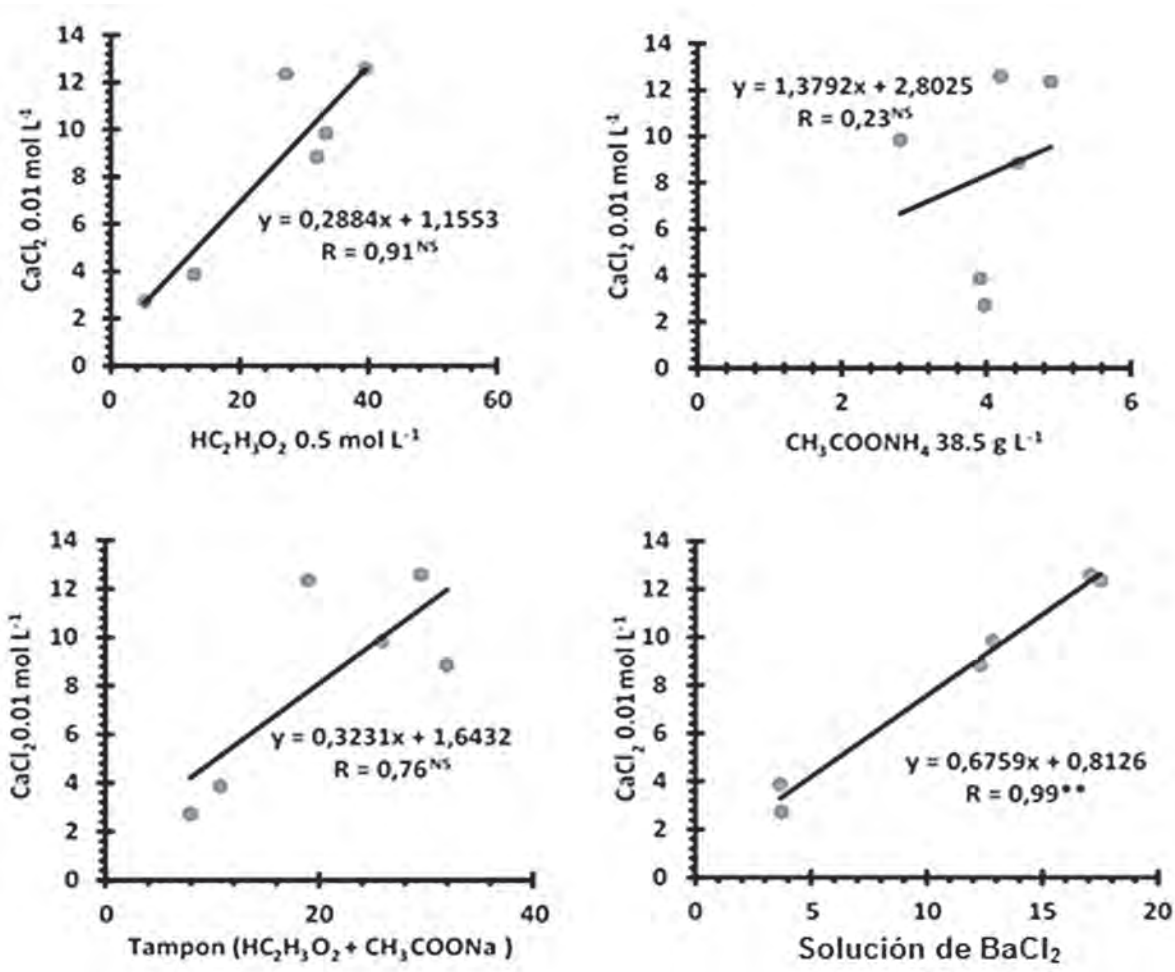


Figura 1. Relación entre el contenido de Si disponible, extraído por cloruro de calcio y por diferentes métodos de extracción, en suelos ácidos, neutros y alcalino, del departamento de Córdoba, Colombia.

Estas diferencias entre el método de referencia y agua modificado, se pueden explicar, porque el método de agua modificada solubiliza el silicio, que se encuentra en la fase coloidal del suelo. Además, estas soluciones tienen en común el mismo catión índice, que hace que funcioné como buen extractor de este elemento, por lo tanto, la cantidad de 1 mL de  $\text{BaCl}_2$  al 10% ocasiona una baja capacidad de extracción y, consecuentemente, no hay solubilización de los complejos de silicio formados por óxidos de hierro y de aluminio y pequeñas cadenas poliméricas de este elemento. Savenko (2015), al determinar la cantidad de Si disuelto en los suelos, halló que alcanza 6 al 20% de la sílice total, en la fase sólida.

Para los suelos neutros, también el extractante que presentó el mayor coeficiente de correlación fue el método solución de cloruro de bario, con referencia al método de cloruro de calcio  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ , ( $r = 0,97^*$ ), seguido por el acetato de amonio  $38,5 \text{ mg L}^{-1}$  ( $r = 0,92^*$ ). Estos resultados indican que estos extractores tienen la capacidad de extraer el silicio disponible que se encuentra en el suelo, en magnitudes similares al método de referencia, por lo tanto, estos métodos pueden ser considerados como alternativa para el proceso de extracción de silicio disponible en suelos neutros (Figura 2). Ferreira *et al.* (2010) recomiendan el uso de  $\text{CaCl}_2$  y ácido acético para la extracción de silicio, en suelos con altos contenidos de acilla.

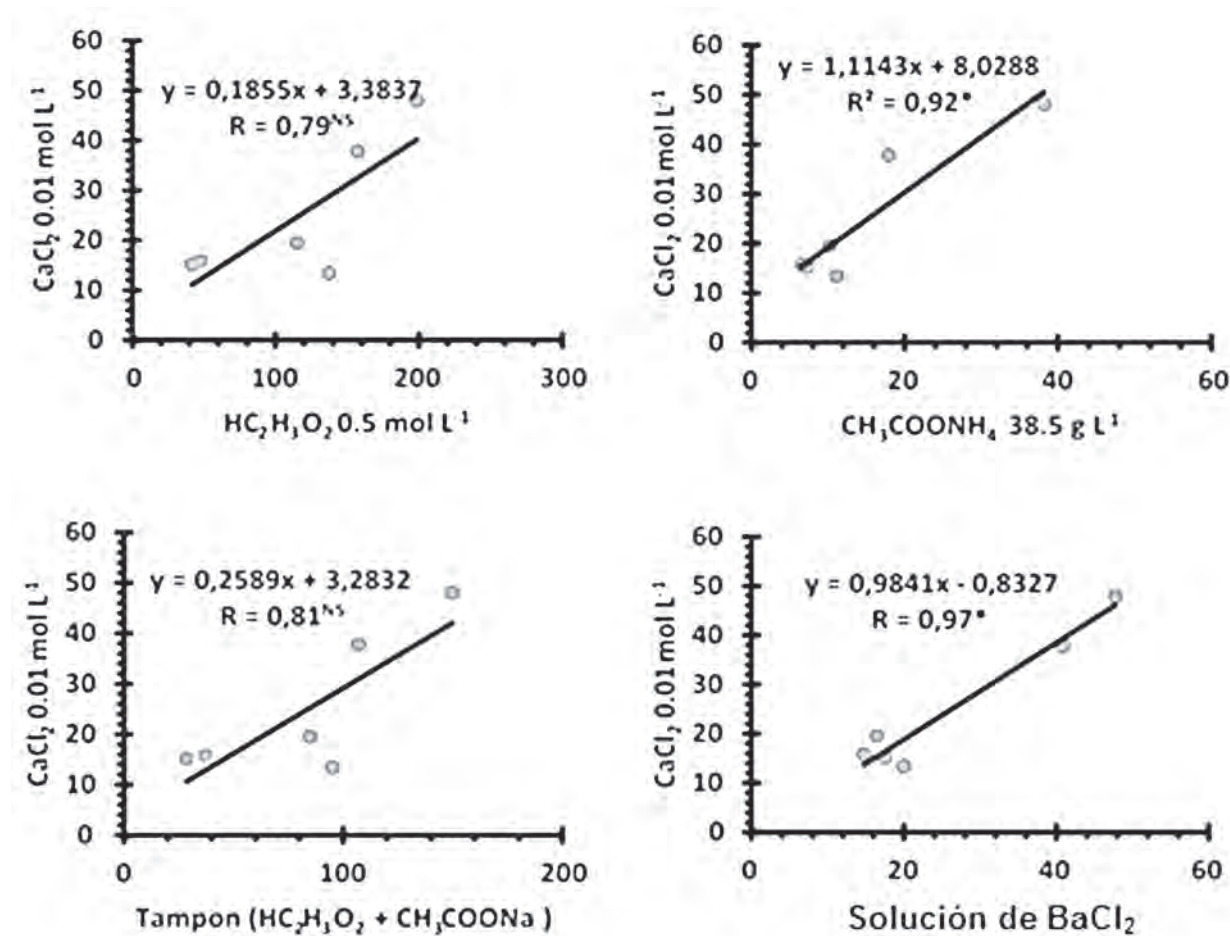


Figura 2. Relación entre el contenido de Si disponible, extraído por cloruro de calcio  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  y por diferentes métodos, en suelos neutros, del departamento de Córdoba, Colombia.

En la figura 3, se observa que en los suelos alcalinos también se presentó una correlación positiva entre el método de referencia y el método de agua modificada, con una correlación significativa ( $r = 0,93$ ), mientras que para el método de ácido acético ( $r = 0,09$ ), acetato de amonio ( $r = 0,71$ ) y tampón ( $r = 0,14$ ) presentaron coeficientes de correlación no significativos. El bajo coeficiente de correlación para estos métodos, se puede explicar por la alta extracción de silicio originarios de polímeros, que hacen parte de la estructura de minerales de arcilla 2:1, donde los cambios de pH consiguen solubilizar el silicio, que es insoluble en estas condiciones

químicas de suelos. Korndörfer *et al.* (2004) explican que el ácido acético es un ácido débil, capaz de extraer Si disponible para las plantas, sin atacar, de forma muy agresiva, los minerales de arcilla, con capacidad de solubilizar pequeñas cadenas de Si polimerizadas. Korndörfer *et al.* (2001) exponen que la extracción de silicio con ácido acético 0,5N fue desarrollado, específicamente, en estudios realizados sobre los suelos orgánicos y minerales de la región Sur de Florida que, por lo general, reflejan bajo contenido de arcilla, Al y Fe, sin conocer si esta solución era apropiada para otros tipos de suelo.

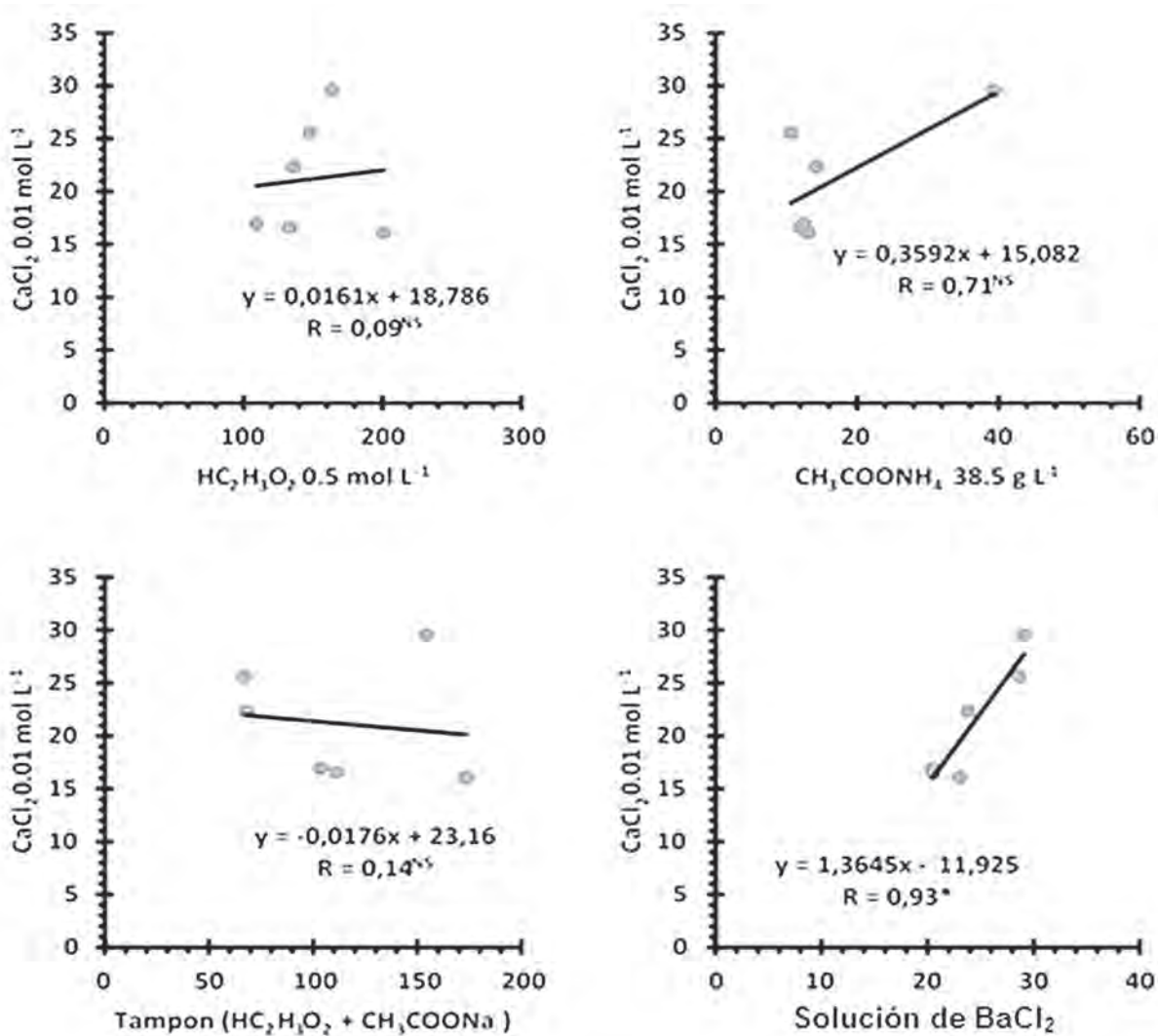


Figura 3. Relación entre el contenido de Si disponible, extraído por cloruro de calcio y por diferentes métodos, en suelos alcalinos, del departamento de Córdoba-Colombia.

Además, los resultados encontrados entre el método de una solución de cloruro de bario y el método cloruro de calcio  $0,01\text{mol L}^{-1}$ , se puede explicar, porque el poder de extracción de estas soluciones está en función de las interacciones catión índice y el elemento a desplazar (Si) y, químicamente, las reacciones que ocurren logran un equilibrio similar, con el cual, hay solubilización del silicio disponible del suelo. Wang *et al.* (2004) explican que la acidez y los aniones podrían impactar, de forma aditiva, la liberación de Si de los suelos. Asimismo, comparten características físico químicas parecidas, como la configuración electrónica, radio atómico, características no metálicas y también la atracción por sus estados de oxidación, particulares que influyen en estos extractores, para extraer el silicio disponible.

Estos resultados difieren con los estudios de correlación realizados por Pereira *et al.* (2007), en los cuales, el acetato de amonio  $38,5\text{g L}^{-1}$  presentó mejores coeficientes de correlación que la extracción con agua, lo que indica que este extractor es más confiable después del cloruro de calcio  $0,01\text{mol L}^{-1}$ .

Por otra parte, el extractor ácido acético  $0,5\text{mol L}^{-1}$  fue el extractor químico que presentó los coeficientes de correlación más bajos para los suelos neutros y alcalinos. Resultados que demuestran la capacidad de extraer silicio de compuesto de baja solubilidad, que se encuentran en los suelos, formando cadenas poliméricas de silicio, que promueven la polimerización y la formación de complejos de aluminosilicatos y, como consecuencia, se puede presentar una sobrestimación del silicio, disponible para las plantas. Xu *et al.* (2001) atribuyeron la disolución de silicato de calcio en suelos calcáreos, al alto contenido de silicio extraído con solución extractora

de ácido (pH 4) y, de acuerdo con Wang *et al.* (2004), la acidez y los aniones podrían impactar, de forma aditiva, la liberación de Si de los suelos. Gascho (2001) indica que no hay extractante universal que sea adecuado para determinar el Si disponible en todos los tipos de materiales y para todos los suelos y condiciones del suelo.

Para confirmar los resultados encontrados, se realizaron contrastes al 5% de probabilidad, con el objetivo de comparar las diferencias estadísticas entre todos los métodos de extracción de silicio disponible en suelos ácidos, neutros y alcalinos. En los suelos ácidos, se evidenció que existen diferencias altamente significativas en los contrastes C1, C2, C3, C5 y C6, pero para el contraste C4,  $\text{CaCl}_2$   $0,01\text{mol L}^{-1}$  vs solución de cloruro de bario, no hubo diferencias estadísticas significativas (Tabla 3). Resultados similares fueron encontrados en las correlaciones, por lo anterior estos métodos son alternativos.

Para los suelos neutros, los contrastes C1, C2, C3, C5 y C6 presentan diferencias altamente significativas y el contraste C4 no evidenció diferencias estadísticas. Además, para los suelos alcalinos, se encontró que los contrastes C4 y C2, no presentaron diferencias estadísticas. Babu *et al.* (2013) han detectado que las cantidades de Si determinadas, utilizando diferentes extractores, varían significativamente en suelo de Estados Unidos.

Con estos resultados, se constató que en los tres tipos de suelos se presentó extracción de silicio en magnitudes, estadísticamente iguales, entre el método de referencia y el método de solución de cloruro de bario, pero para los suelos alcalinos el  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  puede ser también una alternativa

Tabla 3. Contrastes para el contenido de silicio disponible, por cinco métodos de extracción, en suelos ácidos, neutros y alcalinos, del departamento de Córdoba- Colombia.

Contrastes	Métodos	Contenido de Si disponible		
		Ácidos	Neutros	Alcalinos
C1	$\text{CaCl}_2$ vs $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$	16.64**	91.31**	127.18**
C2	$\text{CaCl}_2$ vs $\text{CH}_3\text{COONH}_4$	-4.33**	-9.76**	-4.21 <sup>NS</sup>
C3	$\text{CaCl}_2$ vs Tampón ( $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2 + \text{CH}_3\text{COONa}$ )	12.44**	58.72**	91.67**
C4	$\text{CaCl}_2$ vs solución de $\text{BaCl}_2$	2.81 <sup>NS</sup>	1.25 <sup>NS</sup>	3.24 <sup>NS</sup>
C5	$\text{CaCl}_2$ vs $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2 + \text{CH}_3\text{COONH}_4$	12.31**	81.54**	122.97**
C6	$\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2 + \text{CH}_3\text{COONH}_4$ vs solución de $\text{BaCl}_2$	-6.68**	-79.04**	-116.47**

C1:  $\text{CaCl}_2$  Vs  $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$   $\text{H}_2\text{O}$ , C2:  $\text{CaCl}_2$  Vs  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ , C3:  $\text{CaCl}_2$  Vs Tampón ( $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2 + \text{CH}_3\text{COONa}$ ) C4:  $\text{CaCl}_2$  Vs solución de cloruro de bario; C5:  $\text{CaCl}_2$  Vs  $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2 + \text{CH}_3\text{COONH}_4$  C6:  $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2 + \text{CH}_3\text{COONH}_4$  Vs  $\text{H}_2\text{O}$  (Modificado); NS: no significativo, \* Significativo al 5% y \*\*significativo al 1%

de uso en la estimación de silicio. Snyder (2001) exponen que la extracción de silicio de los suelos con acetato solo extrae el silicio disuelto y algunos de los enlaces de silicio intercambiable de los suelos; igualmente, Barbosa *et al.* (2000) indican que, para conocer la necesidad de fertilización con silicio, es necesario desarrollar métodos eficientes de análisis de silicio disponible en los suelos, en las plantas y en los fertilizantes. Sauer *et al.* (2006) mencionaron que hay poco conocimiento sobre la extracción de Si y como resultado hay un creciente interés en seleccionar un método de extracción química, que pueda proporcionar estimaciones confiables y reproducible.

De la presente investigación, se puede destacar que la disponibilidad de silicio en los suelos se presentó en el siguiente orden: suelos alcalinos > neutros > ácidos. El ácido acético  $0,5\text{mol L}^{-1}$  fue el que más extrajo silicio en los suelos ácidos, neutros y alcalinos y el acetato de amonio fue el que presentó la menor extracción, en los tres tipos de suelos. Además, los resultados de las pruebas estadísticas realizadas indicaron que el método, con una solución de cloruro de bario, tiene la misma tendencia en la extracción de silicio disponible en los suelos ácidos, neutros y alcalinos, que el método de referencia  $\text{CaCl}_2$   $0,01\text{mol L}^{-1}$ , a excepción del método de acetato de amonio  $38,5\text{g L}^{-1}$ , que presenta igual comportamiento que el método de referencia en los suelos alcalinos.

**Agradecimientos:** Los autores agradecen al centro de investigaciones de la Universidad de Córdoba (CIUC), por el apoyo financiero para la ejecución del proyecto "Cuantificación de fracciones granulométricas y elementos nutricionales utilizando diferentes extractantes en suelos del departamento de Córdoba", además, a los analistas químicos del laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agrícolas. También, se recomienda seguir con el estudio de métodos analíticos para elementos benéficos, ya que son pocos los estudios realizados en nuestro país. 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

- BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; PRABHU, A.S.; DATNOFF, L.E.; KORNDÖRFER, G.H. 2000. Importância do silício para a cultura do arroz. Piracicaba: Potafos. Encarte técnico. 89p.
- BABU, T.; DATNOFF, L.; YZENAS, J.; TUBANA, B. 2013. Silicon status of Louisiana soils grown to different field crops. In: ASA-CSSA-SSSA International Annual Meetings. November 3–6, 2013. Tampa, FL.
- BERTHELSEN, S.; KORNDÖRFER, G. 2005. Methods for Si analysis in plant, soil and fertilizers. In: Silicon in agriculture conference, 3. Proceedings. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia. p.85-90.
- BERTHELSEN, S.; NOBLE, A.D.; GARSIDE, A.L. 2001. Silicon research down under: past, present and future. In: Datnoff, L.E.; Snyder, G.H.; Korndörfer, G.H. (eds). Silicon Deposition in Higher Plants. Silicon in Agriculture. Elsevier Science. p.241-255.
- CONDON, L.M.; NEWMAN, S. 2011. Revisiting the fundamentals of phosphorus fractionation of sediments and soils. J. Soil Sediment. 11:830-840.
- FAUTEUX, F.; REMUS-BOREL, W.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. 2005. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. FEMS Microbiol Lett. 249:1-6.
- FERREIRA, M.I.; SANTOS, G.R.; OSCAR, N.J. 2010. Avaliação de métodos de extração de silício e fósforo em amostras de solos. Rev. Caatinga, Mossoró. 23(4):75-83.
- GASCHO, G.J. 2001. Silicon Sources for Agriculture. In: Datnoff, L.E.; Snyder, G.H.; Korndörfer, G.H. (eds.). Silicon in Agriculture. Elsevier Science B.V. Amsterdam. The Netherlands. 424p.
- HARLEY, A.D.; GILKES, R.J. 2000. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: A geochemical overview. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 56:11-36.
- HAVLIN, L.; BEATON, J.; TISDALE, S.; NELSON, W. 2005. Soil fertility and fertilizers. 7. ed. Upper Saddle River: Pearson Education. 515p.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI –IGAC-. 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. VI Edición. Bogotá, Subdirección de Agrología. 499p.
- KORNDÖRFER, G.; COELHO, N.; SNYDER, G.; MIZUTANI, C. 1999. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. Rev. Bras. Cienc. Solo. 23(1):101-106.
- KORNDÖRFER, G.; PEREIRA, H.; NOLLA, A. 2004. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. 2. ed. Uberlândia: GPSi: ICIAG: UFU. (UFU. ICIAG. Bol. Técnico 2. 34p.



14. KORNDÖRFER, G.H.; SNYDER, G.H.; ULLA, M.; POWELL, G.; DATNOFF, L.E. 2001. Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. *J. Plant Nutr.* 24(7):1071-1084.
15. LIMA, R.L.; DAROUB, S.H.; RICE, R.W.; SNYDER, G.H. 2003. Comparison of three soil test methods for estimating plant-available silicon. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* 34(15-16):2059-2071.
16. LIMA, M.A.; CASTRO, V.F.; VIDAL, J.B.; ENÉAS-FILHO, J. 2011. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. *Rev. Ciência Agronômica.* 42(2):398-403.
17. PEREIRA, H.; KORNDÖRFER, S.; GASPAR, H.; VIDAL, A.; DE AQUINO, C.; SARTORI, M. 2004. Silicon sources for rice crop. *Scientia Agrícola.* 61(5):522-528.
18. PEREIRA, H.; BARBOSA, N.C.; CARNEIRO, M.; AURÉLIO, C.; KORNDÖRFER, G. 2007. Avaliação de fontes e de extratores de silício no solo. *Pesquisa Agropecuária Bras.* 42(2):239-247.
19. PULZ, A.L.; CRUSCIOL, C.; COSTA, A.; LEMOS, L.B.; SORATTO, R.P. 2008. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. *Rev. Bras. Cienc Solo.* 32(4):1651-1659.
20. SAVENKO, A.V. 2015. The possibility of phosphatization of silicates in the supergene zone. *Geochem. International.* 53(1):87-94.
21. SAUER, D.; SACCONI, L.; CONLEY, D.J.; HERRMANN, L.; SOMMER, M. 2006. Review of methodologies for extracting plant-available and amorphous Si from soils and aquatic sediments. *Biogeochemistry.* 80:89-108.
22. SERON, P.H.; CABRAL, B.N.; CARBONE, C.M.A.; KORNDÖRFER, G.H. 2007. Avaliação de fontes e de extratores de silício no solo. *Pesq. Agropec. Bras.* 42(2):239-247.
23. SHETTY, R.; FRETTE, X.; JENSEN, B.; SHETTY, N.P.; JENSEN, J.D.; ØRGENSEN, H.J.L.; NEWMAN, M.A.; CHRISTENSEN, L.P. 2011. Silicon-induced changes in antifungal phenolic acids, flavonoids, and key phenylpropanoid pathway genes during the interaction between miniature roses and the biotrophic pathogen *Podospaera pannosa*. *Plant Physiology.* 157:2194-2295.
24. SILVA, F.R.; FERREYRA H., F.F. 1998. Avaliação de extratores de boro em solos do Estado do Ceará. *Rev. Bras. Cienc. Solo.* 22:471-478.
25. SNYDER, G. 2001. Methods for silicon analysis in plants, soils, and fertilizers. In: Datnoff, L, Snyder, G. H.; Korndörfer, G. H. (Ed.). *Silicon in agriculture*. Amsterdam: Elsevier.p.185-196.
26. STEWART, B.W.; CAPO, R.C.; CHADWICK, O.A. 2001. Effects of rainfall on weathering rate, base cation provenance, and Sr isotope composition of Hawaiian soils. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 65:1087-1099.
27. VIDAL, A. 2003. Fontes de silício para a cultura do arroz. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia. 34p.
28. XU, G.; ZHAN, X.; CHUNHUA, L.; BAO, S.; LIU, X.; CHU, T. 2001. Assessing methods of available silicon in calcareous soils. *Commun.in Soil Sci. Plant Anal.* 32:787-801.
29. WANG, J.J.; DODLA, S.K.; HENDERSON, R.E. 2004. Soil silicon extractability with seven selected extractants in relation to colorimetric and ICP determination. *Soil Science.* 169:861-870.

Recibido: Octubre 3 de 2016

Aceptado: Agosto 8 de 2017

#### Cómo citar:

Combatt C., E.; Palacio B., D.; Mercado L., J. 2017. Extractores químicos en la determinación de silicio disponible en suelos ácidos, neutros y alcalinos. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(2): 329-339.



# ESTIMULACIÓN DE GERMINACIÓN Y COLONIZACIÓN RADICULAR DE *Diversispora trimulares* POR FLAVONOIDES DE EXUDADOS RADICULARES DE *Nicotiana glauca*

## STIMULATION OF GERMINATION OF SPORES AND ROOT COLONIZATION OF *Diversispora trimulares* BY FLAVONOIDS IN *Nicotiana glauca* ROOT EXUDATES

David Ramírez<sup>1</sup>, Blanca Naranjo<sup>2</sup>, Jéssica Duchicela<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Egresado, email: dmramirez@espe.edu.ec; <sup>2</sup> Dra. Química, M.Sc. Procesamiento de Alimentos, Docente investigador, email: bfnaranjo@espe.edu.ec; <sup>3</sup> Ph.D. Ecología, Evolución y Comportamiento, Docente investigador, Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura. Universidad de las Fuerzas Armadas – Espe, P.O.BOX 1715231B, Av. General Rumiñahui s/n, Sangolquí, Ecuador, email: jiduchicela@espe.edu.ec

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 341-351, Julio-Diciembre, 2017

### RESUMEN

Los metabolitos secundarios son señales importantes en la interacción planta-microorganismos; sin embargo, los datos que corroboran el rol de los flavonoides como señales entre plantas y la simbiosis micorrízica arbuscular son limitados y aún recientes. Este estudio tiene por objetivo evaluar el efecto de flavonoides presentes en exudados radiculares de *Allium porrum* L., *Nicotiana glauca* y *Brassica oleracea* var. *Italica*, en la germinación de esporas y establecimiento de colonización radicular de *Diversispora trimulares*. Se detectaron miricetina y canferol en exudados de *A. porrum*, con un contenido total de flavonoides de  $23,80\mu\text{g g}^{-1}$ , de raíz seca; quercetina, en *N. glauca*, con  $23,35\mu\text{g g}^{-1}$  y crisina, en *B. oleracea*, con  $14,71\mu\text{g g}^{-1}$ . Quercetina estimuló la germinación y la vitalidad de esporas (24%, 40%), a diferencia de crisina, que presentó un efecto inhibitorio (4%, 20%). *A. porrum* y *N. glauca* incrementaron la germinación de esporas (54%, 56%) y porcentaje de colonización de micorriza arbuscular (72%, 75%). Los resultados de la investigación mostraron una evidencia sólida del efecto de los flavonoides como moléculas estimulantes en los procesos de germinación de esporas y colonización de micorriza arbuscular.

Palabras clave: Micorriza arbuscular, exudados radiculares, flavonoides, germinación, quercetina.

### SUMMARY

Secondary metabolites are important signals that could determine the outcome of the plant soil microbial interactions, however, the data available that support the

leading role of flavonoids in the communication of arbuscular mycorrhizal symbiosis are recent and limited. The present study examines the effect of flavonoids detected in root exudates from *Allium porrum*, *Nicotiana glauca* y *Brassica oleracea* var. *italica* on spore germination and mycorrhizal root colonization of *Diversispora trimulares*. Myricetin and kaempferol were detected in *A. porrum* root exudates with a total flavonoid content of  $23.80\mu\text{g g}^{-1}$  dried root, quercetin in *N. glauca* with  $23,35\mu\text{g g}^{-1}$  and chrysin in *B. Oleracea* with  $14.71\mu\text{g g}^{-1}$ . Quercetin increased the spore germination and vitality (24%, 40%). In contrast, chrysin showed an inhibitory effect (4%, 20%). *A. porrum* and *N. glauca* increased spore germination (54%, 56%) and root mycorrhizal colonization (72%, 75%). This results evidence the effect of flavonoids on the stimulation of spore germination and establishment of root colonization of arbuscular mycorrhizal fungi.

Key words: Arbuscular mycorrhiza, root exudates, flavonoids, germination, viability

### INTRODUCCIÓN

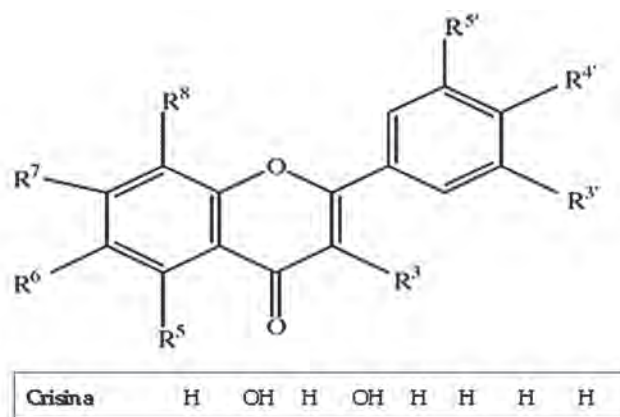
El sistema radicular libera un amplio rango de componentes, los cuales, lideran comunicaciones complejas en procesos de la rizósfera. Entre estos compuestos, se incluyen polisacáridos, aminoácidos, ácidos aromáticos, enzimas, reguladores del crecimiento y otros metabolitos secundarios. Adicionalmente, se conoce que los hongos del suelo responden a los exudados radiculares; sin embargo, el conocimiento del efecto de los metabolitos secundarios en la rizósfera, aún es limitado.

El presente estudio, se enfoca en un tipo de exudado radicular, que ha sido identificado como clave en las señales moleculares de las interacciones entre plantas y hongos del suelo, los flavonoides (Cesco *et al.* 2010), metabolitos secundarios que se derivan de vías biosintéticas mixtas (Ferrer *et al.* 2008). En plantas, se han identificado diferentes flavonoides, que incluyen chalconas, flavonas, flavonoles, antocianinas, proantocianidinas y auronas (Ferrer *et al.* 2008). Se presentan en varias familias vegetales, entre las que se encuentran especies del género *Solanum* (Medina-Medrano *et al.* 2015); sin embargo, aún no se han reportado flavonoides presentes en exudados radiculares de *Nicotiana glauca*, miembro de la familia Solanaceae, especie vegetal naturalizada, presente en zonas áridas de los valles interandinos del Ecuador. Esta especie es utilizada como portainjerto para producción de frutales, por su resistencia a *Fusarium* sp. y nematodos, así como su potencial asociación con micorriza arbuscular (Viera *et al.* 2017).

El establecimiento de la simbiosis micorrízica, entre los hongos del Phylum Glomeromycota y 80% de las plantas vasculares (Smith & Read, 2010), requiere una compleja comunicación entre las raíces de acogida y los hongos glomeromycetes (Vierheilig, 2004). Las primeras señales que perciben los glomeromycetes son la exudación de compuestos, a través de la raíz, entre los que se tiene a los flavonoides (Mierziak *et al.* 2014). Los reportes del efecto de los flavonoides en el desarrollo de micorriza arbuscular son contrastantes. Estudios realizados por Buee *et al.* (2000) re-

portan que los exudados radiculares de *Daucus carota* indujeron a la germinación de esporas de *Gigaspora gigantea*; no obstante, Vierheilig (2004) analizó exudados de algunas especies de Brassicaceae que inhibieron la germinación y el desarrollo de hifas de esporas de *Glomus mosseae*. Estos estudios sugieren que los exudados radiculares pueden alterar la susceptibilidad de plantas a ser micorrizadas ya que tienen la capacidad de promover o inhibir la germinación de esporas, mientras que Ponce *et al.* (2004) identificaron flavonoides, como: quercetina, miricetina y canferol, en los exudados radiculares que interactúan en la simbiosis planta-micorriza. Scervino *et al.* (2005) y Lum & Hirsch (2003) estudiaron estos metabolitos y reportaron que la influencia en la germinación y en el crecimiento de hifas de esporas de micorriza arbuscular está provocada por la presencia de un grupo hidroxilo en el C<sub>3</sub> del núcleo del flavonoide. Además, Scervino *et al.* (2006) encontraron que quercetina (flavonoide con hidroxilos en C<sub>4</sub> y C<sub>5</sub>) originó mayor germinación en comparación con miricetina (flavonoide trihidroxilado en C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> y C<sub>5</sub>) y canferol (flavonoide monohidroxilado en C<sub>4</sub>), mientras que crisina (flavonoide sin hidroxilos en C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> y C<sub>5</sub>) inhibió la germinación de esporas (Tabla 1). Estos estudios sostienen que el efecto estimulante o inhibitorio de los flavonoides puede variar en dependencia de la especie vegetal que lo produce (Scervino *et al.* 2006) y de la concentración de flavonoides (Miean *et al.* 2001). El objetivo de este estudio fue determinar los flavonoides presentes en los exudados radiculares de *N. glauca* y evaluar su efecto en la germinación de esporas de *D. trimulares*.

Tabla 1. Estructuras de flavonoides encontrados en los exudados radiculares.



Compuesto	R <sup>3</sup>	R <sup>5</sup>	R <sup>6</sup>	R <sup>7</sup>	R <sup>8</sup>	R <sup>3'</sup>	R <sup>4'</sup>	R <sup>5'</sup>
Quercetina	OH	OH	H	OH	H	H	OH	OH
Canferol	OH	OH	H	OH	H	H	OH	H
Miricetina	OH	OH	H	OH	H	OH	OH	OH
Crisina	H	OH	H	OH	H	H	H	H

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Obtención de exudados radiculares.** Semillas comerciales de *Nicotiana glauca* (tabaquillo), *Allium porrum* L. (cebolla) y *Brassica oleracea* var. *italica* (brócoli) fueron colocadas por separado en contenedores plásticos con sustrato estéril (tierra negra y cascajo relación 2:1). A los tres meses de edad, se extrajeron las plantas con sus raíces y se lavaron con agua corriente. Se introdujeron en Erlenmeyers con agua destilada y después de 48 horas, los exudados se recolectaron, se filtraron y se conservaron a  $-14^{\circ}\text{C}$ , hasta su análisis (Prikryl & Vancura, 1980).

**Cuantificación de flavonoides totales.** A través del método espectrofotométrico, descrito por Zhishen *et al.* (1999), se determinó el contenido total de flavonoides, usando rutina como estándar ( $0,1\text{mg mL}^{-1}$ ), a una longitud de onda de 510nm y se expresaron los resultados en  $\mu\text{g}$  de rutina  $\text{g}^{-1}$  de raíz seca.

**Preparación de la curva de calibración.** Aplicando el método reportado por Zhishen *et al.* (1999), se elaboró la curva de calibración de flavonoides, usando una solución estándar de rutina. Se emplearon diferentes volúmenes de esta solución (100, 300, 500, 700, 850 y  $1000\mu\text{L}$ ) y se completó con metanol hasta un volumen de  $1250\mu\text{L}$ ; se adicionó  $75\mu\text{L}$  de nitrato de sodio ( $\text{NaNO}_3$ ) al 5%, reposo de 6min y  $150\mu\text{L}$  de cloruro de aluminio ( $\text{AlCl}_3$ ) al 10%, con  $500\mu\text{L}$  de hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) 1N; finalmente, se completó con agua destilada hasta un volumen de 2,5mL. La medición, se realizó en espectrofotómetro (UV-VIS Genesys 10S), a una longitud de onda de 510nm.

**Análisis de muestras.** Las muestras, se prepararon siguiendo el método de Zhishen *et al.* (1999), sobre  $500\mu\text{L}$  de cada exudado, en tubos de ensayo. Se evaluó la absorbancia a 510nm, en un espectrofotómetro (UV-VIS Genesys 10S). Se cuantificó los flavonoides exudados por gramo de raíz y se expresó en microgramos equivalentes de rutina por gramo de muestra seca.

**Análisis de los exudados radiculares por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).** La identificación de los flavonoides presentes en los exudados radiculares de *A. porrum*, *N. glauca* y *B. oleracea*, se analizaron mediante HPLC, en un equipo Varian ProStar 320 y como estándares se usaron: naringina, hesperidina, diosmina, catequina, quercetina, miricetina, daidzeina, canferol, apigenina, morina, hidroxiflavona, baicaleina, luteolina, naringenina, genisteina, hiperósido, crisina, epigallocatequina, silibina y rutina. Las muestras, se prepararon por filtración con membranas milipore ( $0,45\mu\text{m}$ ), previo al análisis cromatográfico. La fase móvil estuvo constituida de una mezcla de solventes: A (agua-ácido fórmico 95:5) y B (metanol) y una fase estacionaria: sílica

de fase reversa  $\text{C}_{18}$ , en columna de 150 x 4,6mm (Varian), diámetro de partícula de  $5\mu\text{m}$ . El gradiente de solventes A y B fue 65:35 – 25min, 50:50 – 10min, 20:80 – 5min, 10:90 – 5min y 65:35 – 15min. Se utilizó un flujo de  $1,0\text{mL min}^{-1}$ , examinado a 280nm, con un volumen de inyección de  $20\mu\text{L}$ . Se analizó el tiempo de retención de las bandas de absorción de cada exudado radicular y se comparó con los estándares.

**Dilución de exudados radiculares.** Para aplicar los tratamientos, se tomó el exudado radicular puro, como concentración de 100% y, a partir de éste, se realizó diluciones al 50, 20 y 0%.

**Diseño experimental.** Las variables experimentales la constituyeron los exudados radiculares provenientes de *A. porrum*, *N. glauca*, *B. oleracea*, aplicados por separado, en tres concentraciones de exudado radicular (0, 20, 50, 100%), resultando 12 tratamientos, los cuales, se ubicaron siguiendo un diseño completamente al azar factorial  $3 \times 4$ , con tres réplicas y originando 36 unidades experimentales, donde los tratamientos con *A. porrum* constituyeron el control positivo (Mukherjee & Ane, 2011), *B. oleracea*, el control negativo (Javaid, 2007) y agua estéril, el control absoluto.

**Experimento 1. Evaluación de las concentraciones de flavonoides de exudados radiculares en la germinación de esporas de *D. trimulares*, en condiciones de laboratorio.** Se colocaron 40 esporas de *D. trimulares* en membranas milipore dentro de una caja Petri, que contenía 20g de arena estéril; 2mL de cada exudado se aplicaron en las cajas. Los tratamientos, se colocaron conforme al diseño experimental descrito y, finalmente, las cajas se sellaron e incubaron en oscuridad a  $27^{\circ}\text{C}$ , por 30 días.

**Experimento 2. Evaluación de las concentraciones de flavonoides de exudados radiculares en la colonización radicular de *D. trimulares* en plántulas de *Avena sativa*, en condiciones de invernadero.** Se utilizó 100g de un inóculo de *D. trimulares* de 4 esporas/g seco de sustrato, colocado en 400g de suelo estéril, en contenedores plásticos. En cada contenedor, se ubicó una plántula de 30 días de edad de *Avena sativa*, los tratamientos se aplicaron siguiendo un diseño de bloques completamente al azar, colocando 40mL de exudado en las unidades experimentales. El experimento, se mantuvo en condiciones de invernadero, a una temperatura de  $21^{\circ}\text{C}$  y con humedad relativa del 62%, por 60 días.

Para determinar el porcentaje de germinación de esporas de micorrizas, se observaron las esporas de micorriza arbuscular a los 3, 5, 10, 15 y 30 días, posteriores a la aplicación de los exudados, con la ayuda de un estereomicroscopio Olympus SZ61. Se consideró una espora germinada cuando presentaba crecimiento del tubo germinativo. La evaluación de este índice en el experimento *in vitro*, se realizó colocando

las cajas petri directamente en el estéreo-microscopio. Para el experimento en invernadero, se tomó 50mL de sustrato del contenedor y se aisló las esporas mediante el método de tamizado húmedo, de Gerdemann & Nicolson (1963). La cuantificación del número de esporas, se realizó utilizando el estéreo-microscopio.

La vitalidad de esporas, se determinó al finalizar el experimento, utilizando el método de tinción vital (Bansal *et al.* 1991), como se describe. Se preparó una solución madre de 0,5mM de diacetato de fluoresceína (FDA), adicionando 1,04mg de FDA en 5mL de dimetilsulfóxido (DMSO), sonicando por una hora hasta disolución completa y almacenándola en congelación, a -14°C. La solución de ensayo fue preparada con 0,25mL de FDA, aforada a 5mL de una disolución 60mM de buffer fosfato salino (PBS), a un pH de 7,4, obteniendo una concentración de 25 $\mu$ M; se sonicó durante una hora y se filtró en membranas milipore de 0,2 $\mu$ m. Las esporas de cada tratamiento, se colocaron en un vidrio reloj y se añadió 5 $\mu$ L de la solución de ensayo, se dejó reposar por 15min en oscuridad; luego, las esporas fueron colocadas en un portaobjetos con una gota de PBS y observadas en un microscopio de fluorescencia (Olympus IX53), con un filtro de excitación de 450-490nm y un filtro de emisión de 520nm. Se realizaron tres réplicas por cada tratamiento, las esporas que fluorescieron en color verde fueron tomadas como esporas vivas y las que no tuvieron fluorescencia, se consideraron muertas.

El porcentaje de colonización del experimento en invernadero fue determinado utilizando una muestra fresca de raíz de cada uno de las unidades experimentales, las cuales, fueron teñidas, empleando el método de Phillips & Hayman (1970). En un portaobjetos y con agujas de disección, se colocaron segmentos de raíz de, aproximadamente, 1cm, en forma paralela, hasta cubrir toda la placa y se observó en microscopio óptico, siguiendo el método descrito por McGonigle *et al.* (1990); se realizaron tres réplicas por cada tratamiento. El porcentaje de colonización, se calculó a partir del número de campos positivos (presencia de hifas, esporas, arbusculos y vesículas), sobre el número de campos visuales totales, multiplicados por 100.

**Análisis estadístico.** Se realizó una prueba de bondad de ajuste para comprobar que los datos sigan una distribución normal. Se llevó a cabo un análisis de varianza ANOVA (Analysis of Variance, según terminología inglesa), con el software estadístico INFostat, para observar las diferentes respuestas en función de la presencia o ausencia del exudado radicular. Se utilizó la prueba de LSD (Least Significant Difference, según terminología inglesa) de Fisher ( $p > 0,05$ ), cuando se registraron diferencias estadísticas para los tratamientos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Cuantificación de flavonoides totales.** El contenido total de flavonoides expresados en  $\mu$ g de rutina por g de muestra seca, detectados en exudados de *N. glauca* fue de 23,35  $SD \pm 0,57 \mu g g^{-1}$ ; *A. porrum* fue de 23,80  $SD \pm 1,16 \mu g g^{-1}$  y en *B. oleracea* 14,71  $SD \pm 1,53 \mu g g^{-1}$ . El exudado radicular de *N. glauca* presentó concentraciones de flavonoides totales similar a *A. porrum* y al comparar con *B. oleracea*, aumento 1,5 veces; este resultado está dentro de lo esperado, ya que *B. oleracea* es el control negativo. Mian *et al.* (2001) reportaron algunas especies vegetales, como *B. oleracea*, con 197,0 $\mu$ g  $g^{-1}$ ; *A. sativum*, con 957,0 $\mu$ g  $g^{-1}$  y *S. melongena*, con 219,5 $\mu$ g  $g^{-1}$  de muestra seca. Estos resultados, se obtuvieron de extractos de plantas; sin embargo, se observa que el contenido de flavonoides es mayor que el detectado en los exudados radiculares, confirmando que la cantidad de estos metabolitos difiere según la parte de planta de donde se obtienen y la especie analizada.

**Dilución de exudados.** Para aplicar los tratamientos las diluciones de los exudados a concentraciones (100, 50, 20 y 0%) fueron equivalentes a concentraciones de flavonoides de *N. glauca* (23,35; 11,68; 4,67 y 0 $\mu$ g  $g^{-1}$ ), *A. porrum* (23,80; 11,90; 4,76 y 0 $\mu$ g  $g^{-1}$ ) y *B. oleracea* var. *italica* (14,71; 7,36; 2,95 y 0 $\mu$ g  $g^{-1}$ ).

**Análisis de los exudados radiculares por HPLC.** Comparando los tiempos de retención ( $t_R$ ) de los cromatogramas a las condiciones descritas y comparadas con los estándares de flavonoides y los exudados radiculares, *N. glauca* mostró presencia de quercetina ( $t_R = 6,58$ min); *A. porrum* presencia de miricetina ( $t_R = 4,54$ ) y canferol ( $t_R = 4,93$ min). Danesh *et al.* (2016) mencionan la influencia de quercetina, como un flavonoide estimulante de la germinación; mientras que Cesco *et al.* (2012) y Ponce *et al.* (2004) reportaron, con la misma actividad, a miricetina y canferol. En *B. oleracea* var. *italica*, se reportó una banda de absorción, a un  $t_R$  de 4,99min, correspondiente a crisina; Abdel-Lateif *et al.* (2012), la reportan como flavona que inhibe la germinación de esporas de *Glomus* sp.

**Experimento 1. Evaluación de las concentraciones de flavonoides de exudados radiculares en la germinación de esporas de *D. trimulares* en condiciones de laboratorio.**

Se observó que el porcentaje de germinación de esporas expuestas a exudados radiculares de *N. glauca* fue de 24% y de *A. porrum*, de 31%. *N. glauca* (23,35 $\mu$ g  $g^{-1}$ ) incrementó el porcentaje de germinación 6 veces, en comparación a *B. oleracea* (14,71 $\mu$ g  $g^{-1}$ ) y 2,4 veces, en comparación con el control (0 $\mu$ g  $g^{-1}$ ). *A. porrum*, a la concentración de 23,80 $\mu$ g  $g^{-1}$ , incrementó 2,8 veces el porcentaje de germinación de esporas frente al control. Se observa que a una concentración de 14,71 $\mu$ g  $g^{-1}$  de *B. oleracea*, el porcentaje de ger-

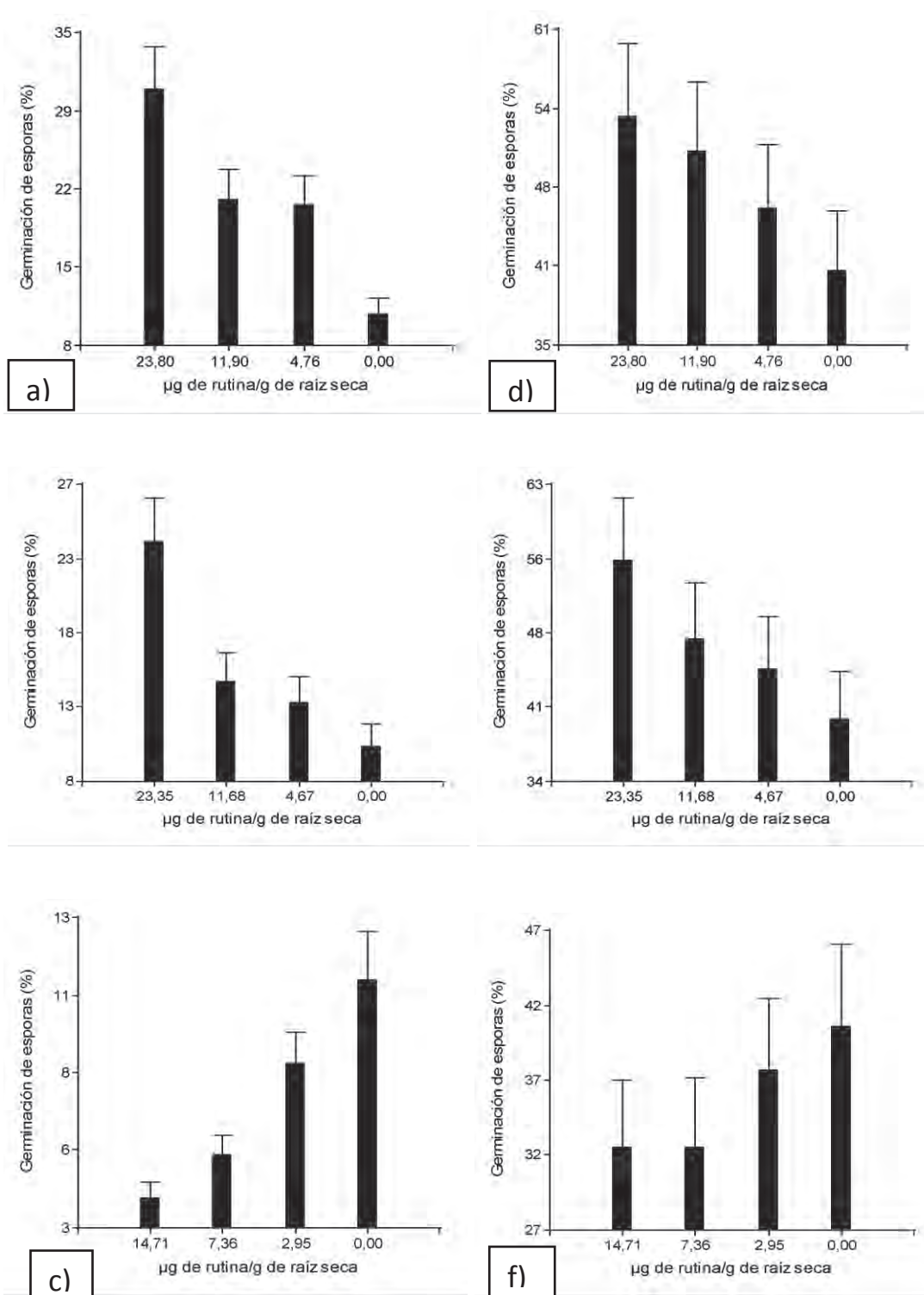


Figura 1. Porcentaje de germinación de esporas de *D. trimulares*, en presencia de exudados radiculares de: a) *A. porrum*; b) *N. glauca*; c) *B. oleracea*, en condiciones de laboratorio y d) *A. porrum*; e) *N. glauca*; f) *B. oleracea*, en condiciones de invernadero, a los 30 días de la aplicación de los tratamientos.

minación disminuyó 2,7 veces, al comparar con el control (Figura 1a, 1b, 1c). Las diferencias observadas, se pueden atribuir a los flavonoides identificados en los exudados de *N. glauca* (quercetina) y *A. porrum* (miricetina y canferol), que incrementaron la germinación de esporas. Según Becard *et al.* (1992) y Lum & Hirsch (2003), los hidroxilos en C<sup>3</sup>, C<sup>4</sup> y C<sup>5</sup> de la estructura de los flavonoides (quercetina, miricetina y canferol) producen un efecto estimulante en la germinación de esporas. En contraste con el efecto inhibitorio producido por el exudado radicular de *B. oleracea*, que es atribuido al bajo contenido de flavonoides y la identificación de crisina, que según Scervino *et al.* (2006) es un flavonoide que no posee grupos hidroxilos en C<sup>3</sup>, C<sup>4</sup> y C<sup>5</sup>, por tanto, inhibe la germinación de esporas.

Según Requena *et al.* (2007), las señales químicas de los exudados, tales como los flavonoides que poseen estos hidroxilos son, posiblemente, reconocidos por proteínas receptoras de las micorrizas, que cambian e interactúan con componentes aguas abajo, como el factor Gin1, que se modifica mediante señales de la planta; a través de su actividad ATPasa, Gin1 puede transmitir señales al núcleo, lo que produce la transcripción de genes, que son fundamentales en la germinación y en la simbiosis.

La figura 2a revela el porcentaje de germinación de *D. trimulares*, comparado con el tiempo, desde la aplicación de los tratamientos. Se observó un incremento en la germinación de esporas durante los primeros 15 días; posterior a este período, la germinación de esporas no tuvo cambio significativo, según la prueba de LSD Fisher ( $p > 0,05$ ).

Las esporas a las que se aplicó los exudados radiculares de *N. glauca* y *A. porrum* respondieron positivamente a la tinción vital realizada (se tiñeron de color verde) y, en algunos casos, se pudo visualizar núcleos (Figura 3). El exudado de *N. glauca* ( $23,35\mu\text{g g}^{-1}$ ) incrementó la vitalidad de esporas 2,2 veces, en comparación al control ( $0,00\mu\text{g g}^{-1}$ ) y 4,4 veces, en comparación a *B. oleracea* ( $14,71\mu\text{g g}^{-1}$ ). Al comparar con *A. porrum* no hubo diferencia significativa (Figura 4).

## Experimento 2. Evaluación de las concentraciones de flavonoides de exudados radiculares en la colonización radicular de *D. trimulares*, en plántulas de *Avena sativa*, en condiciones de invernadero.

Los exudados de *N. glauca* reportan 56% de germinación a la concentración de  $23,35\mu\text{g g}^{-1}$ , mayor que la reportada para *A. porrum*, que fue 54%. *N. glauca* ( $23,35\mu\text{g g}^{-1}$ ) incrementó el porcentaje de germinación de esporas 1,2 veces, al comparar con el control ( $0,00\mu\text{g g}^{-1}$ ) y 1,8 veces, en comparación a *B. oleracea* ( $14,71\mu\text{g g}^{-1}$ ) (Figura 1d, 1e, 1f). El porcentaje de germinación de *N. glauca*, en condiciones de invernadero, fue mayor que *A. porrum*; la diferencia entre

estos resultados, se atribuye al efecto sinérgico que tiene la quercetina con el CO<sub>2</sub>, tal como lo reportan Chabot *et al.* (1992) y Becard *et al.* (1992), quienes probaron el efecto de flavonoides (quercetina, miricetina y canferol) en presencia de CO<sub>2</sub> al 2%, obteniendo el mayor porcentaje de germinación con quercetina, al ser comparado con miricetina y con canferol.

A todas las concentraciones estudiadas en el experimento en invernadero, se observó un incremento de tres veces el porcentaje de germinación, en comparación con los resultados observados en el experimento en condiciones de laboratorio. Según García *et al.* (2008), la presencia de CO<sub>2</sub> estimula el crecimiento y la ramificación de hifas de esporas de micorrizas arbusculares. Adicionalmente, la presencia de minerales (N, K Y P) en el sustrato ayudan a estimular la capacidad biosintética de las esporas (Bücking *et al.* 2008). En la naturaleza, otro factor que influye en la germinación de esporas es la interacción de micorrizas con las bacterias que se encuentran en el suelo, las cuales, estimulan la germinación, a través de la producción de factores de crecimiento y de detoxificación de sustancias antagónicas, que poseen las esporas (Frey-Klett *et al.* 2007). Este factor fue eliminado en el experimento, ya que se utilizó sustrato estéril.

En la figura 2b, se observa el porcentaje de germinación de *D. trimulares*, comparada con el tiempo después de la aplicación de los tratamientos, en condiciones de invernadero. Se observó un comportamiento similar al obtenido en condiciones de laboratorio; sin embargo, los porcentajes de germinación obtenidos fueron superiores.

El exudado de *N. glauca* ( $23,35\mu\text{g g}^{-1}$ ) incrementó el porcentaje de colonización micorrízica de raíz 1,2 veces, en comparación al control y 1,9 veces, frente a *B. oleracea* ( $14,71\mu\text{g g}^{-1}$ ). Comparando con *A. porrum* ( $23,80\mu\text{g g}^{-1}$ ), no hubo una diferencia significativa (Figura 5). En los exudados radiculares se han identificado flavonoides (quercetina, miricetina, canferol), que son moléculas de señalización, para que la espóra reconozca a la raíz y la pueda colonizar; sin embargo, Scervino *et al.* (2005) reportaron que, flavonas como crisina, impiden la colonización de raíces por *Glomus mosae*, *Glomus rosea* y *Gi. margarita*.

Del presente estudio, se concluye que la eficiencia de colonización de hongos micorrízicos arbuscular a las plantas depende de la aptitud de las esporas de desarrollarse rápidamente, germinar en el suelo y producir colonización en su planta hospedera. Los resultados de la investigación mostraron una evidencia sólida del efecto de los flavonoides, como estimulantes de la germinación de esporas y proceso de colonización de micorriza arbuscular. En particular, quercetina, detectada en exudados radiculares de *N. glauca*, miricetina y canferol en exudados de *A. porrum*, estimularon la germina-



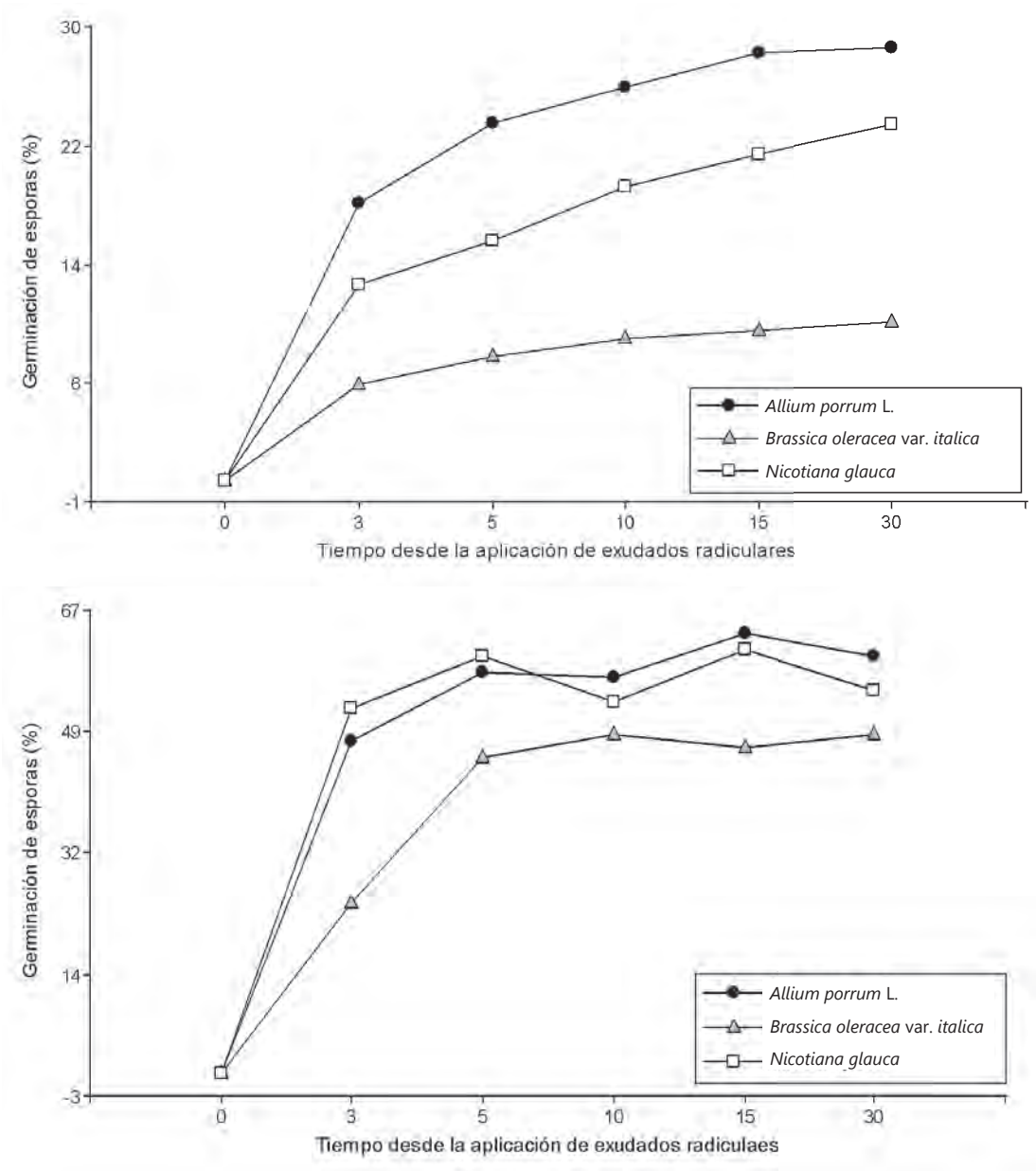


Figura 2. Porcentaje de germinación de *Diversispora trimulares* comparada con el tiempo, desde la aplicación de exudados radiculares. a) Condiciones de laboratorio y b) Condiciones de invernadero.

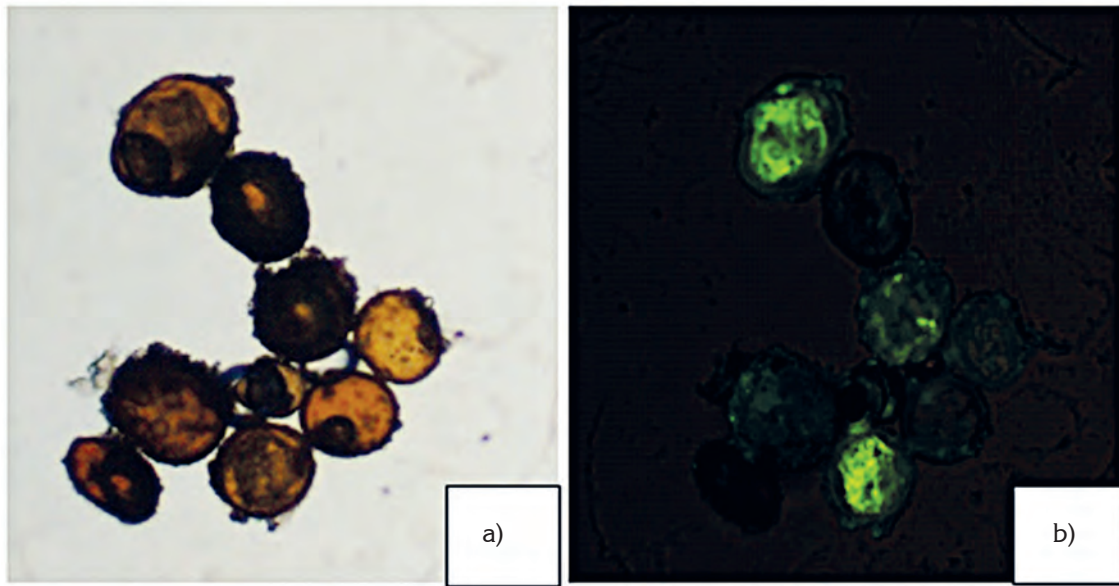


Figura 3. Tinción vital para esporas de *Diversispora trimulares*, en condiciones de laboratorio. a) Esporas en campo claro (4X); b) Esporas en campo oscuro (4X), esporas viables presentan fluorescencia y muertas no muestran fluorescencia.

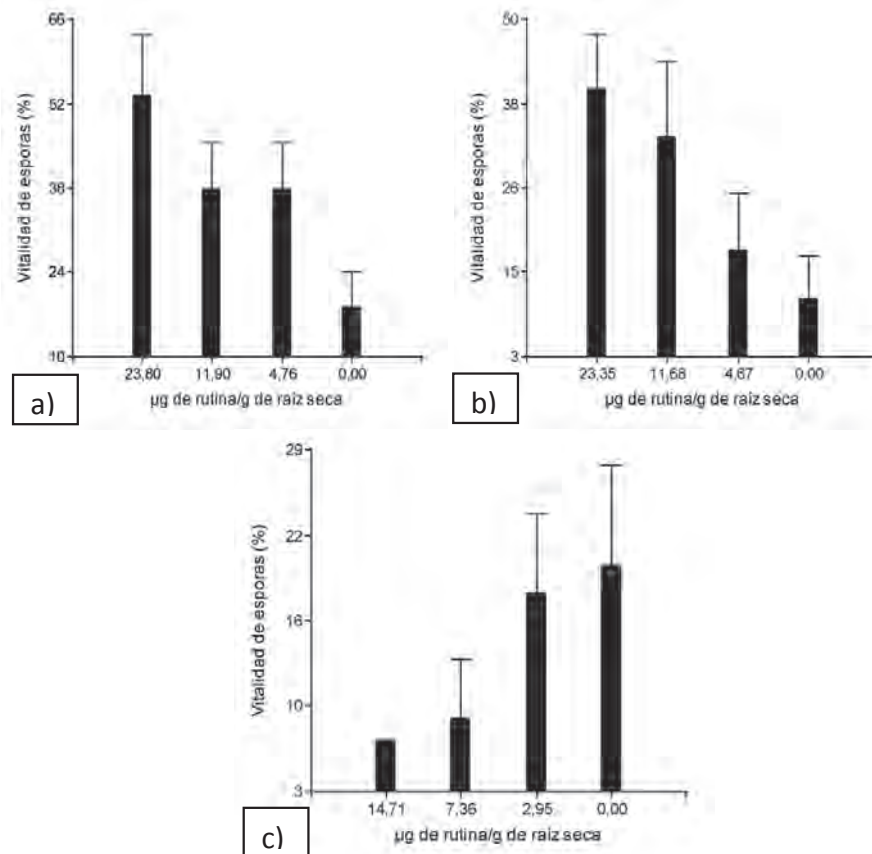


Figura 4. Porcentaje de vitalidad de esporas de *Diversispora trimulares*, en presencia de exudados radiculares de: a) *A. porrum*; b) *N. glauca*; c) *B. oleracea*, posterior a 30 días de aplicación de los tratamientos, en condiciones de laboratorio.

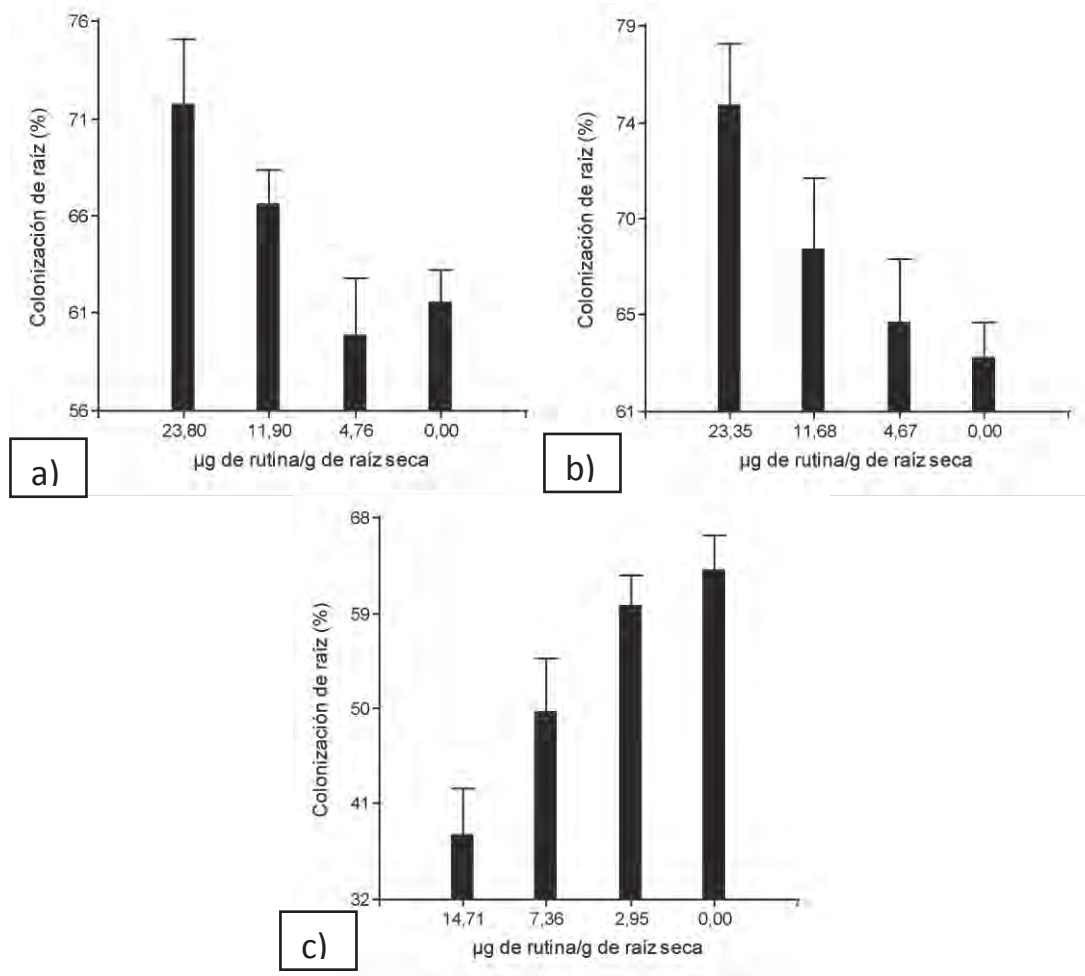


Figura 5. Colonización de raíz de esporas de *Diversispora trimulares*, en presencia de exudados radiculares, en condiciones de invernadero. a) *A. porrum*; b) *N. glauca* y c) *B. oleracea*.

ción y la vitalidad de esporas, a diferencia de crisis, detectada en el exudado radicular de *B. oleracea*, el cual, mostró un efecto inhibitorio en germinación y en colonización radicular de micorriza arbuscular. Adicionalmente, en el experimento en invernadero, se evidencia un efecto sinérgico entre los flavonoides identificados en los exudados radiculares y el CO<sub>2</sub>, que incrementaron la germinación de esporas y colonización de raíz de micorriza arbuscular, en mayor proporción, que las observadas en condiciones de laboratorio. Todas las respuestas observadas en función de la aplicación de los flavonoides directamente en las esporas y en la interacción planta-HMA son claras respuestas funcionales del efecto que tienen en la estimulación de una rápida germinación y proceso de colonización radicular de micorriza arbuscular en la planta, lo cual, permitirá ventajas en la adquisición de recursos y un efecto directo, en desarrollo de la misma.

**Agradecimientos:** Agradecemos al Laboratorio de Biotecnología Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana, por su colaboración para realizar los análisis de HPLC; al laboratorio de Microscopía y Biotecnología Humana de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por el apoyo prestado en el transcurso de esta investigación y al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP-Granja Experimental Tumbaco, por facilitar el uso de los invernaderos. **Conflicto de intereses:** Los autores declaramos que el manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores y que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ABDEL-LATEIF, K.; BOGUSZ, D.; HOCHER, V. 2012. The role of flavonoids in the establishment of plant roots endosymbioses with arbuscular mycorrhiza

- fungi, rhizobia and Frankia bacteria. *Plant Signaling & Behavior*. (Estados Unidos). 7(6):636-641.
2. BANSAL, M.; JAGPAL, R.; MUKERJI, K. 1991. Viability of VAM fungal spores. *Recent Advances in Applied Sciences*. (Estados Unidos). 6:65-68.
  3. BECARD, G.; DOUDS, D.; PFEFFER, P. 1992. Extensive *in vitro* hyphal growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in the presence of CO<sub>2</sub> and flavonols. *Applied and Environmental Microbiology*. (Estados Unidos). 58(3):821-825.
  4. BÜCKING, H.; ABUBAKER, J.; GOVINDARAJULU, M.; TALA, M.; PFEFFER, P.E.; NAGAHASHI, G.; SHACHAR-HILL, Y. 2008. Root exudates stimulate the uptake and metabolism of organic carbon in germinating spores of *Glomus intraradices*. *New Phytologist*. (Reino Unido). 180(3):684-695.
  5. BUEE, M.; ROSSIGNOL, M.; JAUNEAI, A.; RANJEVA, R.; BECARD, G. 2000. The Pre-Symbiotic Growth of arbuscular mycorrhizal fungi is induced by a branching factor partially purified from plant root exudates. *The American Phytopathological Society*. (Estados Unidos). 13(6):693-698.
  6. CHABOT, S.; BEL-RHLID, R.; CHENEVERT, R.; PICHÉ, Y. 1992. Hyphal growth promotion in vitro of the VA mycorrhizal fungus, *Gigaspora margarita* Becker & Hall, by the activity of structurally specific flavonoid compounds under CO<sub>2</sub>-enriched conditions. *New Phytologist*. 122(3):461-467.
  7. CESCO, S.; MIMMO, T.; TONON, G.; TOMASI, N.; PINTON, R.; TERZANO, R.; NANNIPIERI, P. 2012. Plant-borne flavonoids released into the rhizosphere: impact on soil bio-activities related to plant nutrition. A review. *Biology and Fertility of Soils*. (Italia). 48(2):123-149.
  8. CESCO, S.; NEUMAN, G.; TOMASI, N.; PINTON, R.; WEISSKOPF, L. 2010. Release of plant-borne flavonoids into the rhizosphere and their role in plant nutrition. *Plant and Soil*. (Holanda). 329(1-2):1-25.
  9. DANESH, Y.R.; NAJAFI, S.; DEMIR, S. 2016. Investigation of the life cycle of arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) *Glomus intraradices* using *in vitro* culture technique. *J. Centenary College Agr. Sci.* (Turquia). p.161-167.
  10. FERRER, J.L.; AUSTIN, M.B.; STEWART, C.; NOEL, J.P. 2008. Structure and function of enzymes involved in the biosynthesis of phenylpropanoids. *Plant Physiology and Biochemistry*. (Holanda). 46(3):356-370.
  11. FREY-KLETT, P.; GARBAYE, J.A.; TARKKA, M. 2007. The mycorrhiza helper bacteria revisited. *New Phytologist*. 176(1):22-36.
  12. GARCÍA, M.; OVASAPYAN, T.; GREAS, M.; TRESEDER, K. 2008. Mycorrhizal dynamics under elevated CO<sub>2</sub> and nitrogen fertilization in a warm temperate forest. *Plant and Soil*. (Holanda). 303(1-2):301-310.
  13. GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. 1963. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological society*. 46(2):235-244.
  14. JAVAID, A.R. 2007. Allelopathic interactions in mycorrhizal associations. *Allelopathy Journal*. (India). 20(1): 29-42.
  15. LUM, M.R.; HIRSCH, A.M. 2003. Roots and their symbiotic microbes: strategies to obtain nitrogen and phosphorus in a nutrient-limiting environment. *J. Plant Growth Regulation*. (Estados Unidos). 21(4):368-382.
  16. MCGONIGLE, T.P.; MILLER, M.H.; EVANS, D.G.; FAIRCHILD, G.L.; SWAN, J.A. 1990. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular—arbuscular mycorrhizal fungi. *New phytologist*. 115(3):495-501.
  17. MEDINA-MEDRANO, J.R.; ALMARAZ-ABARCA, N.; GONZÁLEZ-ELIZONDO, M.S.; URIBE-SOTO, J.N.; GONZÁLEZ-VALDEZ, L.S.; HERRERA-ARRIETA, Y. 2015. Phenolic constituents and antioxidant properties of five wild species of *Physalis* (Solanaceae). *Botanical Studies*. (Taiwan). 56(24):13p.
  18. MIEAN, K.H.; MOHAMED, S. 2001. Flavonoid (myricetin, quercetin, kaempferol, luteolin, and apigenin) content of edible tropical plants. *J. Agricultural and Food Chemistry*. (Estados Unidos). 49(6):3106-3112.
  19. MIERZIAK, J.; KOSTYN, K.; KULMA, A. 2014. Flavonoids as important molecules of plant interactions with the environment. *Molecules*. (Suiza). 19(10):16240-16265.
  20. MUKHERJEE, A.; ANE, J.M. 2011. Germinating spore exudates from arbuscular mycorrhizal fungi: molecular and developmental responses in plants and their regulation by ethylene. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. (Estados Unidos). 24(2):260-270.

21. PHILLIPS, J.M.; HAYMAN, D.S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions British Mycological Soc.* 55(1):158-161.
22. PONCE, M.A.; SCERVINO, J.M.; ERRA-BASSELLS, R.; OCAMPO, J.A.; GODEAS, A.M. 2004. Flavonoids from shoots and roots of *Trifolium repens* (white clover) grown in presence or absence of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *Phytochemistry*. (Reino Unido). 65(13):1925-1930.
23. PRIKRYL, Z.; VANCURA, V. 1980. Root exudates of plants. *Plant and Soil*. (Holanda). 57(1):69-83.
24. REQUIENA, N.; SERRANO, E.; OCÓN, A.; BREUNINGER, M. 2007. Plant signals and fungal perception during arbuscular mycorrhiza establishment. *Phytochemistry*. (Reino Unido). 68(1):33-40.
25. SCERVINO, J.M.; PONCE, M.A.; ERRA-BASSELLS, R.; BOMPADRE, M.J.; VIERHEILIG, H.; OCAMPO, J.A.; GODEAS, A. 2005. Arbuscular mycorrhizal colonization of tomato by *Gigaspora* and *Glomus* species in the presence of root flavonoids. *J. Plant Physiology*. (Reino Unido). 162(6):625-633.
26. SCERVINO, J.M.; PONCE, M.A.; ERRA-BASSELLS, R.; BOMPADRE, M.J.; VIERHEILIG, H.; OCAMPO, J.A.; GODEAS, A. 2006. Glycosidation of apigenin results in a loss of its activity on different growth parameters of arbuscular mycorrhizal fungi from the genus *Glomus* and *Gigaspora*. *Soil Biology and Biochemistry*. (Reino Unido). 38:2919-2922.
27. SMITH, S.E.; READ, D.J. 2010. *Mycorrhizal symbiosis*. Ed. Academicpress (Londres). 145p.
28. VIERA, W.; CAMPAÑA, D.; LASTRA, A.; VÁSQUEZ, W.; VITERI, P.; SOTOMAYOR, A. 2017. Micorrizas nativas y su efecto en dos portainjertos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). *Bioagro* (Venezuela). 29(2):105-114.
29. VIERHEILIG, H. 2004. Regulatory mechanisms during the plant - arbuscular mycorrhizal fungus interaction. *Canadian J. Botany*. (Canada). 82(8):1166-1176.
30. ZHISHEN, J.; MENGCHENG, T.; JIANMING, W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*. (Reino Unido). 64(4):555-559.

Recibido: Junio 26 de 2017

Aceptado: Agosto 21 de 2017

#### Cómo citar:

Ramírez, D.; Naranjo, B.; Duchicela, J. 2017. Estimulación de germinación y colonización radicular de *Diversispora trimulares* por flavonoides de exudados radiculares de *Nicotiana glauca*. *Rev. U.D.C.A Act. & Div.Cient.* 20(1): 341-351.



# CARDIAC GLYCOSIDES, PHENOLIC COMPOUNDS AND ANTIOXIDANT ACTIVITY FROM PLANT CELL SUSPENSION CULTURES OF *Thevetia peruviana*

## PRODUCCIÓN DE GLÍCOSIDOS CARDIOTÓNICOS, COMPUESTOS FENÓLICOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN CULTIVOS DE CÉLULAS VEGETALES EN SUSPENSIÓN DE *Thevetia peruviana*

Juan Pablo Arias<sup>1\*</sup>, Karol Zapata<sup>2</sup>, Benjamín Rojano<sup>3</sup>, Mariana Peñuela<sup>4</sup>, Mario Arias<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero Biológico, Magister en Biotecnología y Candidato a Doctor en Biotecnología. Integrante de los Grupos de Investigación Biotecnología Industrial y Bioprocesos adscritos a la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín y la Universidad de Antioquia, respectivamente. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Facultad de Ciencias. Calle 59A. No 63-20 Bloque 19A-313 Medellín Colombia; e-mail: jpariase@unal.edu.co \* corresponding autor; <sup>2</sup> Ingeniera Biológica, Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos y Candidata a Doctora en Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Facultad de Ciencias. Calle 59A. No 63-20 Bloque 19A-211; e-mail: kzapata@unal.edu.co; <sup>3</sup> Químico, Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos y Doctor en Ciencias Químicas. Profesor titular. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Facultad de Ciencias. Calle 59A. No 63-20 Bloque 19A-211; e-mail: brojano@unal.edu.co; <sup>4</sup> Ingeniera Química, Magister y Doctora en Tecnología de Procesos Químicos y Bioquímicos. Docente Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Calle 70 No. 52 - 21. Bloque 18-405. Medellín, Colombia. mariana.penuela@udea.edu.co; <sup>5</sup> Ingeniero Químico, Magister en Tecnología de Procesos Químicos y Bioquímicos, Doctor en Ingeniería Química. Docente Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Facultad de Ciencias. Calle 59A. No 63-20 Bloque 19A-313. Medellín Colombia. E-mail: marioari@unal.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.20(2): 353-362, Julio-Diciembre, 2017

### SUMMARY

Cell suspension cultures of *Thevetia peruviana* were established under dark for 19 days to investigate kinetic behavior related to biomass, substrate, cardiac glycoside, polyphenols, reactive oxygen species and anti-oxidant activity. The results showed high biomass production (18.80gDW/L) as well as sucrose consumption in 7 days. Preferential glucose over fructose consumption was observed. Intracellular production of cardiac glycosides reached 2.58mg DE/gDW at day 19. Highest extracellular production was reached between day 2 and 7 (6.19mg DE/L). Highest extracellular phenolic content was  $80.61 \pm 5.16$ mg GAE/L at day 7. Intracellular phenolic content increased to  $2.76 \pm 0.14$ mg GAE/gFW at day 7 and remained constant until day 19. ROS production at day 7 could be related to sucrose and glucose total consumption. Pearson Product-Moment Correlation Coefficient ( $\rho$ ) showed that the phenolic compounds in cell suspension cultures of *T. peruviana* were responsible for the observed anti-oxidant activity. All together, these results give the first steps in metabolic behavior in cell suspension cultures of *T. peruviana*.

Key words: Plant metabolites, Anti-oxidant activity, Reactive Oxygen Species, Phenols, Plant cell suspension culture, *Thevetia peruviana*.

### RESUMEN

Se establecieron cultivos en suspensión de la especie vegetal *Thevetia peruviana* en oscuridad, durante 19 días, para estudiar el comportamiento cinético de producción de biomasa, consumo de sustrato, producción de glicósidos cardiotónicos, polifenoles, especies reactivas de oxígeno y actividad antioxidante. Los resultados mostraron una alta producción de biomasa (18,80g PS/L), al igual que consumo total de sacarosa, a los 7 días de cultivo. Se observó un consumo preferencial de glucosa sobre fructosa durante todo el cultivo. La producción de glicósidos cardiotónicos intracelulares alcanzó valores de 2,58mg ED/g PS, al día 19. La mayor producción extracelular (6,19mg ED/L), se alcanzó entre los días 2 y 7. El mayor contenido de compuestos fenólicos extracelular fue de  $80,61 \pm 5,16$ mg GAE/L, en el día 7. El contenido de compuestos fenólicos intracelulares incrementó a  $2,76 \pm 0,14$ mg AGE/gPF, al día 7 y se mantuvo

constante, hasta el día 19. La producción de EROs, al día 7, puede estar relacionada con el consumo total de sacarosa y glucosa. El coeficiente de correlación producto-momento de Pearson ( $\rho$ ) indicó que los compuestos fenólicos en cultivos celulares en suspensión de *T. peruviana* eran los responsables de la actividad antioxidante observada. En conjunto, estos resultados brindan las primeras bases relacionadas al comportamiento metabólico de cultivos celulares en suspensión, de *T. peruviana*.

Palabras clave: Metabolitos de plantas, Actividad antioxidante, Especies reactivas de oxígeno, Fenoles, Cultivo de células vegetales en suspensión, *Thevetia peruviana*.

## INTRODUCTION

In recent years, plant cell cultures have become an important platform for secondary metabolite production (Ochoa *et al.* 2016). *Thevetia peruviana* (Pers.) K.Schum. (Apocynaceae) also called "Lucky nut" is recognized for the presence of several biological active compounds. Among these compounds cardiac glycosides (Kohls *et al.* 2012) which are used during heart failure treatment stand out (Zibbu & Batra, 2011). However, most studies with this plant species had been focused on the antimicrobial activity of plant extracts and their toxicity (Reddy, 2009; Gezahegn *et al.* 2015; Bhoyar & Biradar, 2014; Rahman *et al.* 2014; Kareru *et al.* 2010a; 2010b; Hassan *et al.* 2011). Although the identification of other compounds and their respective activity has also been investigated (Tewtrakul *et al.* 2002; Amaringo *et al.* 2011; Miyagawa *et al.* 2009).

Polyphenols are an important family of plant metabolites with a powerful anti-oxidant activity derived from its free radical/reactive oxygen species (ROS) scavenging activity (Fang *et al.* 2002). ROS are extremely dangerous to living organisms including plants, as they can damage all major bio-polymers (i.e. lipids, proteins, nucleic acids) resulting in the organism dysfunction. In consequence plants have developed numerous ROS-scavenging systems to minimize the cytotoxic effects of ROS (Demidchik, 2014). One of the strategies to overcome an oxidative stress is the production of polyphenols and other non-enzymatic antioxidants such as ascorbic acid, glutathione, proline, polyamines, certain flavonoids and several secondary metabolites (Zhao *et al.* 2005).

Due to the importance of antioxidant molecules for the plants and as a biotechnology product, the production of phenolic compounds by cell suspension cultures of *T. peruviana* have been studied before. Arias *et al.* (2016) observed a detrimental effect on phenolic compounds production under different light wavelength; the highest phenolic content and anti-oxidant activity was obtained under

darkness condition. However, to date there are no studies describing in detail the kinetic behavior of cell suspensions cultures of *T. peruviana* and their metabolite production. In addition to the phenolic compounds found in *T. peruviana*, the cell suspension cultures of this plant showed the ability to produce extracellular peruvoside (Arias *et al.* 2009), which is a type of cardiac glycoside with high potential in biomedical applications. Nonetheless, the kinetic behavior of the production of peruvoside is currently unknown.

Therefore, the aim of this work was to study the kinetics of biomass, cardiac glycosides, phenolic compounds and ROS production by cell suspension cultures of *T. peruviana* under darkness condition during 19 days. In addition, sugar consumption and anti-oxidant activity was also analyzed, in order to enhance our understanding of the metabolism of this promising *in vitro* culture.

## MATERIALS AND METHODS

Plant material and cell suspension cultures. The protocol for establishment of the *in vitro* cultures of *T. peruviana* from pulp has already been described in detail (Arias *et al.* 2009). Briefly, fruits were initially disinfected using ethanol (70% v/v), sodium hypochlorite (10% w/v) and sterile distilled water. Next, fresh explants were extracted aseptically and sowed in solid Schenk and Hildebrandt (SH) medium supplemented with 30g/L sucrose, 2mg/L of 2,4-D and 0.5mg/L of kinetin. Friable callus (4g) were transfer to 250mL Erlenmeyer flask with SH liquid medium. Cell suspension cultures were maintained at 25°C, constant agitation (110rpm) and darkness condition. All cell suspension cultures used in the experiments were in exponential growth phase.

Study was carried out in 100mL Erlenmeyer flask with 18mL of cell suspension at the same maintenance conditions. Every 2-3 days during 19 days of culture, three Erlenmeyer flasks were taken out to be analyzed according to the described below methods.

Cell growth determination. Cell growth was determined by dry weight (DW). Cell culture aliquots were subjected to vacuum filtration through a pre-dried (60°C-24h) filter paper Whatman 595 (Sigma-Aldrich Bogotá, Colombia). Next, the retained sample was washed 3 times with distilled water and dried in a convection oven until it reached constant weight after 24h at 60°C.

Sugar quantification. Extracellular sucrose, fructose and glucose concentration were analyzed using a Shimadzu Prominence High Pressure Liquid Chromatography (HPLC) system with a pumping system LC-20 CE coupled to a refractive index detector RID-10A and the Solution LC software was used (Shimadzu Scientific Instruments, Inc.



USA). Separation and quantification of sugars was carried out using a reverse phase amino column RP-NH<sub>2</sub> NUCLEODUR 100-5 (Macherey-Nagel Inc. PA. USA.) and mobile phase acetonitrile/water (79:21 v/v ratio), with a flow 2mL/min and a sample size of 10 $\mu$ L at 35°C.

Metabolite extraction and analysis. Cardiac glycosides production and phenolic content was determined from medium culture and cells, as follows: extracellular samples (cardiac glycosides, phenolic content and anti-oxidant activity) were prepared by microfiltration (0.2 $\mu$ m) of cells free medium. Intracellular cardiac glycoside samples were obtained from 100mg of fresh biomass collected by filtration and resuspended in 1mL of ethanol (96% v/v). The cells were dispersed and lyzed in an ultrasound bath for 30 minutes (40 KHz–20°C). The remaining cells and cell debris were eliminated by centrifugation at 10000rpm for 10 min at 4°C. Intracellular phenolic content and anti-oxidant activity samples were obtained from 100mg of fresh biomass collected by filtration and resuspended in 1mL of phosphate buffer (pH 4). Cells extracts (extra and intracellular) were stored at -20°C until use.

Cardiac glycoside determination using HPLC analysis. Cardiac glycosides extracted were analyzed using a Shimadzu Prominence HPLC system with a pumping system LC- 20 CE coupled to a Diode Array Detector (SPD-20A) at 220nm, thermostated at 30°C with a Column Oven (CTO – 20A). Chromatographic data were collected and processed using the Solution LC software (Shimadzu Scientific Instruments, Inc. USA). The column used was a LiChrospher® 100RP-18 (4 $\times$ 250mm, 5 $\mu$ m). Solvents were acetonitrile/water (79:21 v/v ratio), flow rate was set to 1mL/min and the injection volume was 10 $\mu$ L. For total cardiac glycosides quantification, the sum of the areas of the peaks detected at 220nm with close retention time to the standards (Digoxin – T<sub>R</sub>: 9.431min and Peruvoside - T<sub>R</sub>: 10.944min) was calculated. Total cardiac glycosides were expressed as mg Digoxin Equivalents (DE)/L on the basis of a calibration curve prepared with commercial Digoxin (Sigma-Aldrich, USA).

Phenolic content. The phenolic content was determined by the adapted Folin-Ciocalteu method (Singleton & Rossi, 1965). Cell extracts (25 $\mu$ L) were mixed with 70 $\mu$ L of Folin-Ciocalteu solution and 200 $\mu$ L of sodium carbonate solution (7.1% w/v). The resulting solution was brought to a final volume of 500 $\mu$ L with distilled water. This solution was stirred and stored at 25°C for 30 min in darkness, and the absorbance was measured at 760nm. The absorbance values were compared with the standard (Aqueous solutions of Gallic Acid) and the results were expressed as mg Equivalent Gallic Acid /g Dry Weight (mg GAE/DW) and mg Equivalent Gallic Acid /L (mg GAE/L) for intra and extracellular samples, respectively.

Antioxidant activity of cell extracts. Total antioxidant capacity was measured by ABTS method. This technique determines the capacity of a sample to trap the cationic radical ABTS and discolor the probe 2,2-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic) acid (ABTS). 20 $\mu$ L of each extract were added to 1980 $\mu$ L of ABTS solution and after 30 min the absorbance at 732nm was measured. The absorbance values were compared to the reference curve prepared with Trolox as a primary standard. The results were expressed in  $\mu$ mol of Trolox/gDW.

Reactive oxygen species (ROS) production. Generation of ROS during the cell growth was evaluated using 2',7'-dichlorofluorescein diacetate (DCFDA), a ROS-sensitive dye. The reagent DCFDA, is a fluorogenic dye that measures hydroxyl, peroxy and other ROS activity within the cell. After diffusion inside the cell, DCFDA is deacetylated by cellular esterases to a non-fluorescent compound, which is later oxidized by ROS into 2',7'-dichlorofluorescein (DCF). DCF is a highly fluorescent compound which can be detected by fluorescence spectroscopy. The protocol employed was proposed by Martín-Romero *et al.* (2008) much less is known regarding the contribution of culture media to the oxidative stress of gametes during assisted reproductive techniques. This study measured the generation of ROS by culture media during IVF procedures and its effects on human oocytes. Commercially supplied culture media generated ROS at various rates, depending on the composition, whereas follicular fluid generated ROS at a much lower level. The incubation of cumulus-oocyte complexes (COC and it is described below. Aliquots of 30 $\mu$ L of sample were warmed to 37°C before addition of 270 $\mu$ L of DCFDA (40 $\mu$ mol/L) in phosphate buffer. The kinetics of fluorescence emission was measured at excitation and emission wavelengths of 490 and 530nm respectively, for 3000 seconds. The rate of DCFDA oxidation was calculated from the slope of emission of fluorescence during the time interval. DCFDA oxidation rate can be assumed as an index of ROS production, i.e., higher oxidation rate indicates higher ROS production as indicated by several studies (Grzelak *et al.* 2001; Samhan-Arias *et al.* 2004).

Experiments on antioxidant activity (Phenols, ABTS and ROS) were performed in triplicate. The data are presented as the mean  $\pm$  the standard error. To establish significant differences between the samples One-Way ANOVA was made ( $p < 0.05$ ). Pearson correlation coefficient was estimated to determine the relationship between two response variables; all the statistical analysis and coefficients were calculated using the Statgraphics Centurion V statistical package (Statgraphics, USA) for Windows.

## RESULTS AND DISCUSSION

**Cell growth and substrate consumption.** Cell suspension cultures of *T. peruviana* under darkness condition (Figure 1) showed a similar behavior than the reported in previous studies regarding to sugar uptake and growth (Arias *et al.* 2016). However, faster sucrose consumption, when compared to Arias *et al.* (2016), 7 days instead of 10 days, was due to higher inoculum size (5.75gDW/L), which also slightly increased the final biomass concentration to 18.80gDW/L.

Sucrose concentration during culture decreased from 25 to 0.4g/L at day 7. This fast consumption of sucrose is related to the metabolic use of sucrose by cells, which involves two different pathways. In the first pathway sucrose can be hydrolyzed to hexoses (fructose and glucose) by cell-wall invertases and then transported into cells through hexose transporters. While in the second pathway, sucrose can be directly imported into cells through sucrose transporters (Shiratake, 2007). In the case of glucose and fructose their concentration increased until day 2 ( $1.9 \pm 0.03$  g/l) and day 7 ( $4.9 \pm 1.4$  g/L), respectively, with higher accumulation of

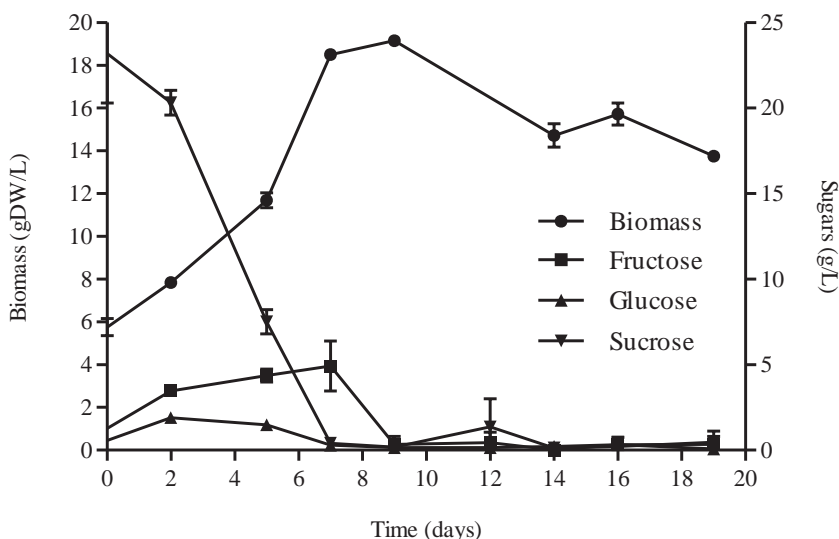


Figure 1. Cell growth and sugar uptake curves for cell suspension cultures of *T. peruviana* under darkness condition. Results are presented as average  $\pm$  SD (n=3).

fructose. Then by day 7 and day 9 the concentration of both sugars were highly reduced.

Accumulation of fructose in the extracellular medium during cell growth has been reported for transgenic rice (Trexler *et al.* 2002), *Daucus carota* (Krook *et al.* 2000) and other plant species cultured *in vitro*, similarly as observed in this study for *T. peruviana*. In addition, there was a preferential consumption of glucose over fructose during all culture as indicated by the fast consumption of glucose in figure 1. Likewise, preferential use of glucose over fructose had also been reported for several plant species where a better growth in the presence of glucose was observed (Fowler, 1982; Mukherjee *et al.* 2000; Krook *et al.* 2000; Shinde *et al.* 2009).

**Cardiac glycosides production.** Figure 2 presents the kinetics of extra and intracellular cardiac glycosides production over 19 days of culture. Cardiac glycosides in cell suspensions

cultures of *T. peruviana* showed a production associated with both primary (day 0 – day 9) and secondary (day 9 – day 19) metabolism. Intracellular production of cardiac glycosides started with 0.54 mg Digoxin Equivalent (DE)/gDW at day 0 and reached 2.58mgDE/gDW at day 19. The highest extracellular production was reached between day 2 and 7 (6.19mgDE/L), then it was observed a continue decrease until day 19 (0.91mgDE/L). Extracellular cardiac glycoside content was comparable with the reported by Arias *et al.* (2009) taking into account that they worked with elicited suspension cultures of *T. peruviana*, reaching peruvoside production of 8.93mg/L in the presence of 100mg/L of Methyl Jasmonate.

Our study is the first that has measured the intracellular production of cardiac glycoside from cell suspension culture of *T. peruviana*, while a previous study only reported extracellular production of peruvoside (Arias *et al.* 2009).

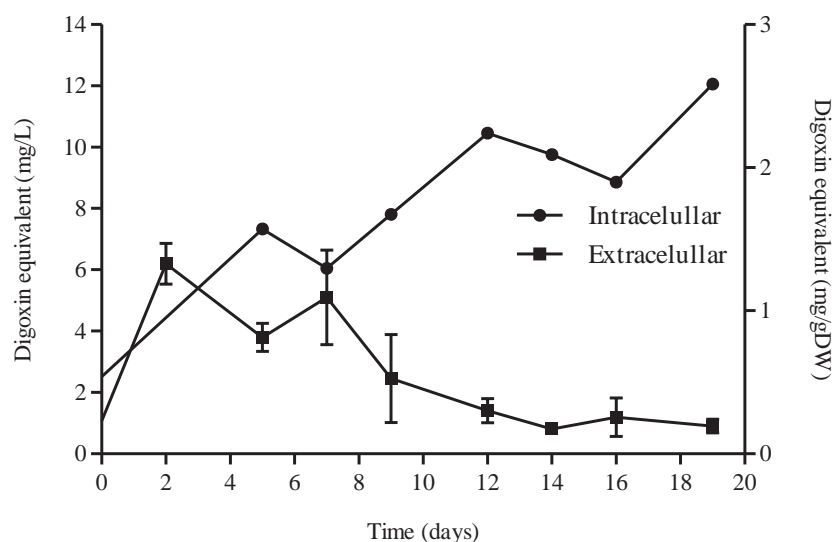


Figure 2. Cardiac glycoside production expressed as mg Digoxin equivalent/L (Extracellular) and mg Digoxin equivalent/gDW (Intracellular) in cell suspension cultures of *T. peruviana* under darkness condition. Results are presented as average  $\pm$  SD (n=3).

Interestingly, the values for cardiac glycosides obtained here are higher than the reported values obtained in other *in vitro* species of *Thevetia*. For example, callus cultures of *T. nerifolia* and *T. thevetioides* reported values of the cardiac glycoside Thevetin B, of 0.085 and 0.047mg/gDW, respectively. Additionally, when all the cardiac glycosides for *T. nerifolia* and *T. thevetioides* callus (thevetin B, digitoxigenin, peruvoside and nerifolin) are added, the total cardiac glycosides value reached 0.145 and 0.123mg/gDW, respectively (Taha *et al.* 2010). In comparison our study showed an increase of almost 18 times (2.58mg/gDW) of cardiac glycosides, highlighting the potential of the cell suspension cultures in the production of these molecules.

Around 15-18 types of cardiac glycosides are present in different parts of the plants (Nesy & Mathew, 2015). Kohls *et al.* (2012), identified six *Thevetia* cardiac glycosides isolated from the seeds using LC-ESI-MS(/MS) analysis among which was Thevetin A, B, C and Digitoxin. Nesy & Mathew (2015), obtained a profile of cardiac glycosides presents in leaf extracts, with a good amount of peruvoside in single or in two isomeric forms. There have been few studies which identify the exact cardiac glycoside metabolites produced in *in vitro* cultures of *T. peruviana*. Taha *et al.* (2010; 2011) identified cardiac glycosides (i.e. digitoxigenin and thevetin B) in callus from immature seeds of two *Thevetia* species (*T. nerifolia* and *T. thevetioides*).

Phenolic content and antioxidant capacity. The extra/intracellular phenolic content and antioxidant activity (ABTS

value) of cell suspension cultures of *T. peruviana* are presented in figure 3. The results showed a fast production stage from day 0 to 7, for both extra and intracellular phenols. The highest extracellular phenolic content was  $80.61 \pm 5.16$ mgGAE/L at day 7, followed by a decline around 50mgGAE/L during the rest of the culture (Figure 3a).

Intracellular phenolic content increased to  $2.76 \pm 0.14$ mgGAE/gFW at day 7 and remained constant until day 19 (Figure 3b). If we express our data in base of dry weight, assuming 90% of cell humidity; production of polyphenols by cell suspensions cultures of *T. peruviana* in this work was 10 times higher (27.6 mgGAE/gDW) in comparison to the reported by the plants cultivated in field (2.14mgGAE/g dry leaf) (Zibbu & Batra, 2011), *in vitro* callus and Methyl Jasmonate elicited callus, 0.95 and 2.8mgGAE/gDW, respectively (Rincón *et al.* 2016). The highest polyphenol content reported until now from *T. peruviana* was 33.59 mg GAE/gDW obtained from fruit methanol extracts (Dixit *et al.* 2015). However, it is important to note that the difference observed in phenolic content could be related due to the extraction processes used or the type of culture being investigated.

Correlations between phenolic content and ABTS activity extra/intracellular were calculated. The values in both case were positives and close to the unity (value  $\rho$ ),  $\rho=0.970$  and  $\rho=0.973$ , for extra and intracellular respectively. This means that there is a high correlation between the two variables. Therefore, the antioxidant activity is an expression of the

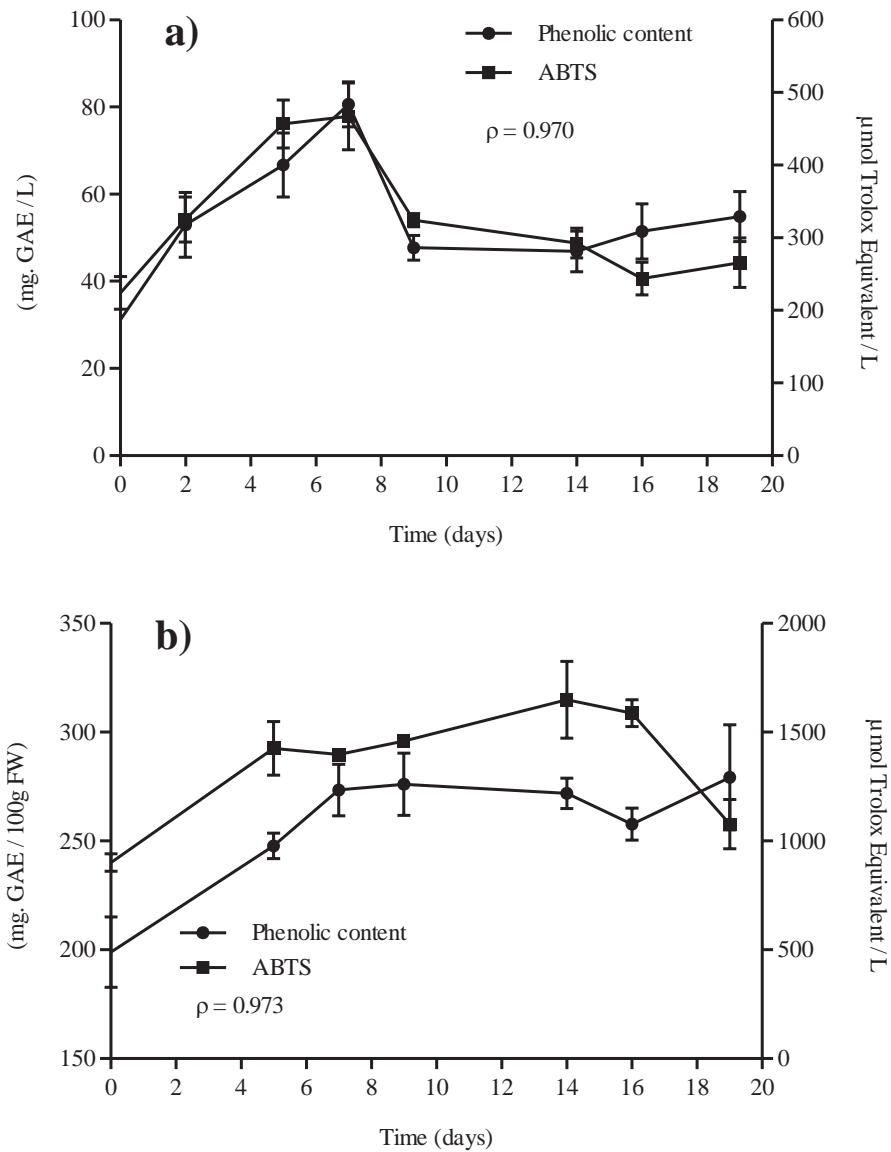


Figure 3. Extracellular: (a) and intracellular, (b) total phenolic content and 2,2'-azino-bis (3-ethyl benzothiazoline-6-sulphonic) acid (ABTS) capacity of cell suspension cultures of *T. peruviana* under darkness condition. Pearson Product-Moment Correlation Coefficient ( $\rho$ ). Results are presented as average  $\pm$  SD (n=3).

phenolic content of the evaluated samples, indicating that the phenolic compounds in cell suspension cultures of *T. peruviana* were largely responsible for the observed antioxidant activity. Similarly, this correlation had been reported for other plant cell cultures. For instance, Lim *et al.* (2013) revealed that there was a positive correlation ( $\rho=0.961$ ) between the total phenolic content with antioxidant activity for cell suspension cultures of *Orthosiphon stamineus*; this correlation value was similar to the calculated for this work.

Reactive oxygen species (ROS) production. The fluorescent dye DCFDA is sensitive to a wide range of ROS, and it has been previously used to monitor the generation of ROS in buffers (Grzelak *et al.* 2001; Martín-Romero *et al.* 2008) and in cell cultures (Martín-Romero *et al.* 2002; Samhan-Arias *et al.* 2004). In this study the oxidation rate of DCFDA during cell suspension growth of *T. peruviana* cells was analyzed in both, intracellular and extracellular extracts. This approach provided an index of ROS generation within the cells as well as in the surroundings during cell growth.

Intracellular ROS rate production (Figure 4) in *T. peruviana* is almost constant during growth. However, intracellular ROS production might not be a reliable indication of the entire ROS been produce because the reactive species might be migrating to the extracellular medium. Consequently, the entire ROS production will be determined mainly by the content in the extracellular fluid. In addition, it has been shown that extracellular oxidation rates of different ROS-sensitive dyes are significantly higher than those measured within the intracellular compartment (Burton *et al.* 2002; Martín-Romero *et al.* 2008). However, these data should not be understood as a higher rate of total ROS generation in the extracellular fluid. The difference in the dye oxidation rate in both sections can be explained in terms of the lack of antioxidants in the extracellular fluid, yielding a higher oxidation rate of the dye (Martín-Romero *et al.* 2008).

Extracellular ROS production over cultivation time showed a rapid increase between day 5 and day 7 followed by an exponential decrease. This behavior could be related to sucrose and glucose total consumption at day 7. The depletion of sucrose could generates a stress condition to the cells (Couée *et al.* 2006), associated with a decrease in ADP regeneration rate (Brouquisse *et al.* 1991), and reduced electron transfer triggering an overproduction of ROS (Braidot *et al.* 1999).

This study showed an increased production of phenolic compounds (intra and extracellular) with anti-oxidant activity acting as a non-enzymatic response to the stress condition during the first 7 days. This behavior can be related to the ROS production observed during the same time frame. It is important to note that our study is the first that has measured

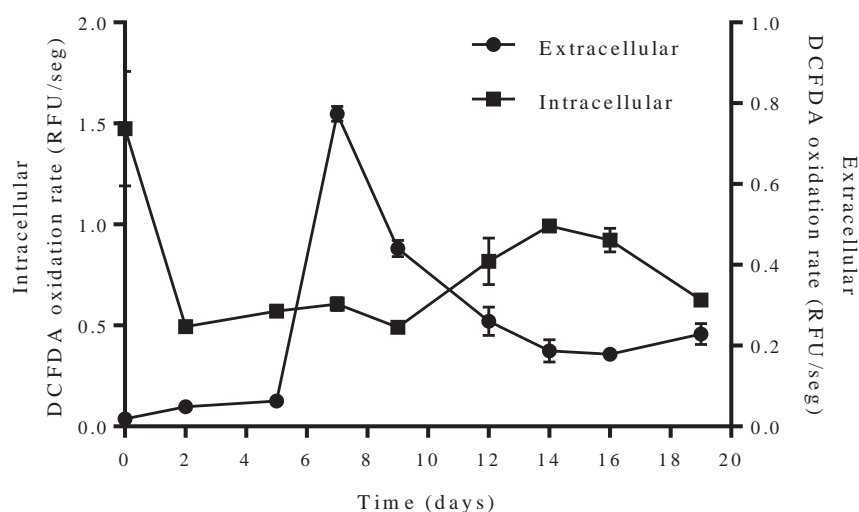


Figure 4. Extra and intracellular production of reactive oxygen species (ROS) in cell suspension cultures of *T. peruviana* under darkness condition expressed as 2',7'-dichlorofluorescein diacetate oxidation rate in Relative Fluorescence Units (RFU)/seg. Results are presented as average  $\pm$  SD (n=3).

ROS production over time and at the same time correlated this process with phenol compounds in the cell suspension cultures of *T. peruviana*. Finally, this work contributes with the first steps in the elucidation of the non-enzymatic response to ROS production and the metabolic behavior of cell suspension cultures of *T. peruviana*, which will provide the bases for the optimization in the production of secondary metabolites of high added value at shake flask scale and subsequent scaling.

Further studies should be focused on the elucidation and structural identification of produced phenolic and cardiotoxic

compounds as well as the evaluation of the biological activity of these metabolites.

**Acknowledgments:** The authors are grateful to the Facultad de Ciencias of Universidad Nacional de Colombia, Medellín, and Colciencias for the scholarship granted to Juan Pablo Arias. **Conflicts of Interest:** The manuscript was prepared and reviewed with the participation of all authors, who declare that there is no conflict of interest that jeopardizes the validity of the presented results. **Financing:** This study was funded by the Facultad de Ciencias of Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

## BIBLIOGRAPHY

1. AMARINGO, F.V.; HORMANZA, A.; ARIAS, M. 2011. Thevetin B : Glicósido cardiotónico predominante en *Thevetia peruviana*. *Scientia et Technica*. 49:298-303.
2. ARIAS, J.P.; ZAPATA, K.; ROJANO, B.; ARIAS, M. 2016. Effect of light wavelength on cell growth, content of phenolic compounds and antioxidant activity in cell suspension cultures of *Thevetia peruviana*. *J. Photochemistry & Photobiology, B: Biology* 163:87-91.
3. ARIAS, M.; ANGARITA, M.J.; RESTREPO, J.M.; CAICEDO, L.M.; PEREA, M. 2009. Elicitation with methyl-jasmonate stimulates peruvoside production in cell suspension cultures of *Thevetia peruviana*. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*. 46(3):233-338.
4. BHOYAR, S.; BIRADAR, S.D. 2014. Antibacterial activity of root extract of *Thevetia peruviana* (Pers.) Shum. *Int. Res. J. Pharmacy*. 5(6):468-470.
5. BRAIDOT, E.; PETRUSSA, E.; VIANELLO, A.; MACRÍ, F. 1999. Hydrogen peroxide generation by higher plant mitochondria oxidizing complex I -or complex II substrates." *FEBS Letters*. 45 (3):347-350.
6. BROUQUISSE, R.; JAMES, F.; RAYMOND, P; PRADET, A. 1991. Study of glucose starvation in excised maize root tips. *Plant Physiology*. 96:619-626.
7. BURTON, G.J.; HEMPSTOCK, J.; JAUNIAUX, E. 2002. Oxygen, early embryonic metabolism and free radical-mediated embryopathies. *Reproductive Biomedicine Online*. 6(1):84-96.
8. COUÉE, I.; SULMON, C.; GOUESBET, G.; AMRANI, E.A. 2006. Involvement of soluble sugars in reactive oxygen species balance and responses to oxidative stress in Plants." *J. Experimental Botany*. 57(3):449-459.
9. DEMIDCHIK, V. 2014. Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology. *Environmental and Experimental Botany* 109: 212-228.
10. DIXIT, A.; SINGH, H.; SHARMA, R.A.; SHARMA, A. 2015. Estimation of antioxidant and antibacterial activity of crude extracts of *Thevetia peruviana* (Pers.) K. Schum. *Int. J. Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 7(2):55-59.
11. FANG, Y.-Z.; YANG, S.; WU, G. 2002. Free radicals, antioxidants, and nutrition. *Nutrition*. 18(10):872-879.
12. FOWLER, M.W. 1982. Substrate utilisation by plant-cell cultures. *J. Chemical Technology and Biotechnology*. 32(1):338-346.
13. GEZAHEGN, Z.; AKHTAR, M.S.; WOYESSA, D.; TARIKU, Y. 2015. Antibacterial potential of *Thevetia peruviana* leaf extracts against food associated bacterial pathogens. *J. Coastal Life Medicine*. 3(2):150-157.
14. GRZELAK, A.; RYCHLIK, B.; BARTOSZ, G. 2001. Light-dependent generation of reactive oxygen species in cell culture media. *Free Radical Biology & Medicine*. 30(12):1418-1425.
15. HASSAN, M.M.; SAHA, A.K.; KHAN, S.A.; ISLAM, A.; MAHABUB-UZ-ZAMAN, M.; AHMED, S.S.U. 2011. Studies on the antidiarrhoeal, antimicrobial and cytotoxic activities of ethanol-extracted leaves of Yellow Oleander (*Thevetia Peruviana*). *Open Veterinary J*. 1:28-31.
16. KARERU, P.G.; KERIKO, J.M.; KENJI, G.M.; GACHANJA, A.N. 2010a. Anti-termite and antimicrobial properties of paint made from *Thevetia peruviana* (Pers.) Schum. oil extract. *African J. Pharmacy and Pharmacology*. 4(2):87-89.
17. KARERU, P.G.; KERIKO, J.M.; KENJI, G.M.; THIONG'O, G.T.; GACHANJA, A.N.; MUKIIRA, H.N. 2010b. Antimicrobial activities of skincare preparations from plant extracts. *African J. Traditional, Complementary and Alternative Medicines*. 7(3):214-218.
18. KOHLS, S.; SCHOLZ-BÖTTCHER, B.M.; TESKE, J.; ZARK, P; RÜLLKÖTTER, J. 2012. Cardiac glycosides from Yellow Oleander (*Thevetia peruviana*) seeds. *Phytochemistry*. 75:114-127.
19. KROOK, J.; VREUGDENHIL, D.; VAN DER PLAS, L.H.W. 2000. Uptake and phosphorylation of glucose and fructose in *Daucus carota* cell suspensions are differently regulated. *Plant Physiology and Biochemistry*. 38(7-8):603-612.

20. LIM, F.L.; YAM, M.F.; ASMAWI, M.Z.; CHAN, L.-K. 2013. Elicitation of *Orthosiphon stamineus* cell suspension culture for enhancement of phenolic compounds biosynthesis and antioxidant activity. *Industrial Crops and Products*. 50:436-442.
21. MARTÍN-ROMERO, F.J.; GARCÍA-MARTÍN, E.; GUTIÉRREZ-MERINO, C. 2002. Inhibition of oxidative stress produced by plasma membrane NADH oxidase delays low-potassium-induced apoptosis of cerebellar granule cells. *J. Neurochemistry*. 82(3):705-715.
22. MARTÍN-ROMERO, F.J.; MIGUEL-LASOBRAS, E.M.; DOMÍNGUEZ-ARROYO, J.A.; GONZÁLEZ-CARRERA, E.; ÁLVAREZ, I.S. 2008. Contribution of culture media to oxidative stress and its effect on human oocytes. *Reproductive BioMedicine Online*. 17(5):652-661.
23. MIYAGAWA, T.; OHTSUKI, T.; KOYANO, T.; KOWITHAYAKORN, T.; ISHIBASHI, M. 2009. Cardenolide glycosides of *Thevetia peruviana* and triterpenoid saponins of *Sapindus emarginatus* as Trail Resistance-Overcoming compounds. *J. Natural Products*. 72:1507-1511.
24. MUKHERJEE, S.; GHOSH, B.; JHA, S. 2000. Establishment of forskolin yielding transformed cell suspension cultures of *Coleus forskohlii* as controlled by different factors. *J. Biotechnology*. 76(1):73-81.
25. NESY, E.A.; MATHEW, L. 2015. HPTLC Profiling on cardiac glycosides of *Thevetia peruviana* leaf extracts of three morphovariant plants grown in Kerala, India. *Int. J. Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 7(6):191-195.
26. OCHOA-VILLAREAL, M.; HOWAT, S.; HONG, S.; JANG, M.O.; JIN, Y.W.; LEE, E.K.; LOAKE, G.J. 2016. Plant cell culture strategies for the production of natural productus. *BMB Reports*. 49(3):149-158.
27. RAHMAN, N.; MAHMOOD, R.; RAHMAN, H.; HARIS, M. 2014. Spectrophotometric screening of potent bactericidal property of *Thevetia peruviana* Schum. Leaf and fruit rind extracts on clinical and plant pathogens. *Int. Applied Sciences and Biotechnology*. 2(4):451-459.
28. REDDY, B. 2009. Antimicrobial activity of *Thevetia peruviana* (Pers.) K. Schum. and *Nerium indicum* Linn. *The Internet J. Pharmacology*. 8(2).
29. RINCÓN-PÉREZ, J.; RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, L.; RUÍZ-VALDIVIEZO, V.M.; ABÚD-ARCHILA, M.; LUJÁN-HIDALGO, M.C.; RUIZ-LAÚ, N.; GONZÁLES-MENDOZA, D.; GUTIÉRREZ-MICELI, F.A. 2016. "Fatty acids profile, phenolic compounds and antioxidant capacity in elicited callus of *Thevetia peruviana* (Pers.) K. Schum. *J. Oleo Science* 318(4):311-318.
30. SAMHAN-ARIAS, A.K.; MARTÍN-ROMERO, F.J.; GUTIÉRREZ-MERINO, C. 2004. Kaempferol blocks oxidative stress in cerebellar granule cells and reveals a key role for reactive oxygen species production at the plasma membrane in the commitment to apoptosis. *Free Radical Biology & Medicine*. 37(1):48-61.
31. SHINDE, A.N.; MALPATHAK, N.; FULZELE, D.P. 2009. Studied enhancement strategies for phytoestrogens production in shake flasks by suspension culture of *Psoralea corylifolia*. *Bioresource Technology* 100(5):1833-1839.
32. SHIRATAKE, K. 2007. Genetics of sucrose transporter in plants. *Genes, Genomes and Genomics*. 1:73-80.
33. SINGLETON, V.L.; ROSSI, J.A.Jr. 1965. Colorimetric of total phenolics with phosphomolybdic-phosphtungstic acid reagents. *Amer. J. Enol. Viticult.* 16:144-158.
34. TAHA, H.S.; FARAG, K.A.; SHAMS, N.S.; ABDEL-AZIM, N.S.; SEIF EL-NASR, M.M. 2011. *In vivo* and *in vitro* studies on *Thevetia* species growing in Egypt II. Establishment of *in vitro* tissue culture system and production of cardiac glycosides. *J. American Science*. 7(3):1-2.
35. TAHA, H.S.; FARAG, K.A.; SHAMS, N.S.; ABDEL-AZIM, N.S.; HANNA, G.A.; SEIF EL-NASR, M.M. 2010. *In vivo* and *in vitro* studies on *Thevetia* species growing in Egypt I: Isolation, Identification, and Quantification of cardiac glycosides in *in vivo* and *in vitro* cultures of immature seeds. *J. American Science*. 6(11):390-395.
36. TEWTRAKUL, S.; NAKAMURA, N.; HATTORI, M.; FUJIWARA, T.; TANOMJIT, S. 2002. Flavanone and flavonol glycosides from the leaves of *Thevetia peruviana* and their HIV-1 reverse transcriptase and HIV-1 integrase inhibitory activities. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin*. 50(5):630-635.

37. TREXLER, M.M.; McDONALD, K.A.; JACKMAN, A.P. 2002. Bioreactor production of human alpha(1)-Antitrypsin using metabolically regulated plant cell cultures. *Biotechnology Progress*. 18(3):501-508.
38. ZHAO, J.; DAVIS, L.C.; VERPOORTE, R. 2005. Elicitor signal transduction leading to production of plant secondary metabolites. *Biotechnology Advances*. 23(4):283-333.
39. ZIBBU, G.; BATRA, A. 2011. *Thevetia peruviana* (Pers.) Schum.: A Plant with enormous therapeutic potential. *J. Pharmacy Research*. 4(12):4461-4464.

Recibido: Junio 5 de 2017

Aceptado: Noviembre 22 de 2017

#### Cómo citar:

Arias, J.P.; Zapata, K.; Rojano, B.; Peñuela, M.; Arias, M. 2017. Cardiac glycosides, phenolic compounds and antioxidant activity from plant cell suspension cultures of *Thevetia peruviana*. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(2): 353-362.



# MANEJO INTEGRADO DE LA MARCHITEZ VASCULAR DEL TOMATE [*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (SACC.) W.C. SNYDER & H.N. HANSEN]: UNA REVISIÓN

## INTEGRATED DISEASE MANAGEMENT OF FUSARIUM WILT OF TOMATO [*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (SACC.) W.C. SNYDER & H.N. HANSEN]: A REVIEW

Luisa Mayens Vásquez-Ramírez<sup>1</sup>, Jairo Castaño-Zapata<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingeniera Agrónoma, c.M.Sc. Fitopatología, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas, Calle 65 No. 26-10, Manizales, Colombia, e-mail: luisamayens@gmail.com; <sup>2</sup>Ingeniero Agrónomo, Fitopatólogo. 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. 20(2): 363-374, Julio-Diciembre, 2017

### RESUMEN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más consumidas en el mundo y es atacada por numerosas enfermedades, entre las cuales, está la marchitez vascular, causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. El patógeno, por ser habitante del suelo, es difícil de manejar. Una vez el suelo se infesta puede permanecer con el patógeno por tiempo indefinido. Debido al cultivo sucesivo de tomate en el mismo lugar, la población del hongo aumenta y, por ende, la incidencia de la enfermedad. Aún no se han establecido umbrales de daño económico ni sistemas de predicción, pero se conocen algunas condiciones del suelo, que pueden disminuir la incidencia de la enfermedad, como pH alto o una población alta de microorganismos antagonistas. Se han reportado numerosas prácticas de manejo enfocadas, especialmente hacia el suelo; sin embargo, son pocos los reportes acerca del manejo integrado de la enfermedad. Para la preparación de este documento, se revisó la literatura mundial y se analizó la naturaleza del patógeno, su ciclo de vida y diseminación, conocimiento primordial para realizar un manejo adecuado de la enfermedad; también las diferentes prácticas de manejo y, finalmente, la combinación de estas prácticas. El objetivo de esta revisión fue reunir la información más relevante generada en los últimos años, en torno al manejo integrado de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*, enfocando cada práctica dentro del modelo logístico de Van der Plank, que permite darles una interpretación cuantitativa.

Palabras clave: Hyphomycetes, marchitamiento, hongos, protección, modelo logístico.

### SUMMARY

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the most consumed vegetables in the world and is attacked by numerous diseases, including the vascular wilt, caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. The pathogen, being an inhabitant of the soil is difficult to manage. Once the soil is infested, it can remain with the pathogen indefinitely. Due to the successive cultivation of tomato in the same field the population of the fungus increases and, consequently, the incidence of the disease. No thresholds for economic damage or prediction systems have yet been established, but some soil conditions are known to reduce the incidence of the disease, such as high pH or a high population of antagonistic microorganisms. Numerous management practices have been reported, especially focused toward the soil; however, there are few articles on integrated management of the disease. For the preparation of this document, the world literature was reviewed and addressed the nature of the pathogen, its life cycle and dissemination, essentials to carry out an adequate management of the disease; also, the different management practices and finally the combination of these practices. The objective of this review was to gather the most relevant information generated in recent years on the integrated management of *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*, focusing each practice within the logistic model of Van der Plank, which allows giving to each one a quantitative interpretation.

Key words: Hyphomycetes, tomato wilt, fungi, protection, logistic model.

## INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más consumidas en el mundo, su producción en el 2014 fue de 170.750.767 t (FAOSTAT, 2014). Se cultiva en más de 100 países para consumo fresco e industrial; el 76% de la producción, se concentra en China, India, Estados Unidos, Turquía, Egipto, Irán, Italia, España, Brasil y México (FAOSTAT, 2014). El consumo promedio en países desarrollados es de 86g diarios *per capita* y en vía de desarrollo, 27g. Colombia produjo 606.151t en el 2014, con un rendimiento promedio de 36,98t/ha. El rendimiento promedio mundial es de 33,98t/ha, cifra por debajo de la obtenida en áreas con mayor rendimiento y alta tecnificación, como Países Bajos, 505,618t/ha; Bélgica, 498,6t/ha; Reino Unido, 424,569t/ha y Noruega, con 362,18t/ha (FAOSTAT, 2014).

Su origen es América, lo que explica el elevado número de enemigos naturales en Colombia, que como es conocido, se convierten en plagas y en enfermedades, cuando se establecen monocultivos. Se reportan 48 enfermedades importantes, entre las cuales, está la marchitez vascular y el mal del talluelo, causados por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) W.C. Snyder & H.N. Hansen, una de las más de 100 formas especiales que se conocen de *Fusarium oxysporum*, de amplia distribución mundial y, del cual, no se conoce su teleomorfo (Gordon, 2017).

La enfermedad causa pérdidas entre 21 y 47% en cultivos a libre exposición y bajo cubierta (Ramayabharathi *et al.* 2012; Enespa & Dwivedi, 2014); en Colombia, aún no se tienen datos de pérdidas por esta enfermedad. Cuando este patógeno ataca plántulas ocasiona mal del talluelo, que es favorecido por la carencia de lignina en el tallo, lo que las hace más susceptibles, permitiendo que el patógeno alcance rápidamente los vasos del xilema, causando la destrucción y el colapso del tejido (Agrios, 2005). El tejido vascular de una planta enferma se torna de color pardo oscuro, siendo más notable en el punto de unión del peciolo con el tallo. Este color es característico de la enfermedad y se emplea para su identificación; la médula permanece sana y, ocasionalmente, ocurre infección en el fruto, que se puede detectar por la decoloración del tejido vascular dentro de él (Jones, 1991).

Cuando el hongo ataca a plantas adultas, la enfermedad se conoce como marchitez vascular. Las plantas muestran amarillamiento, que comienza por las hojas bajas y, por lo general, mueren (Figura 1A); la base del tallo adquiere un color oscuro (Figura 1C) y los haces vasculares se tornan de color pardo oscuro (Figura 1B). Una o varias ramas pueden mostrar síntomas; en ocasiones, las hojas presentan marchitez en los folíolos de un lado del peciolo, mientras que los del lado opuesto se ven sanos. La marchitez del follaje es más notable después de la floración y cuajamiento de los frutos

y durante los períodos más calurosos del día. Los síntomas son exacerbados por temperaturas altas, alrededor de 28°C, por pH bajo del suelo y uso de fertilizantes amoniacales (Mc Govern & Datnoff, 1992).

El hongo produce clamidosporas, microconidios y macroconidios (Figura 1D). Los macroconidios se han relacionado con la diseminación aérea, lo que sugiere una fase policíclica, no común en patógenos habitantes del suelo (Katan *et al.* 1997). El micelio sobrevive en residuos vegetales, como saprófito y en hospedantes alternos. Las clamidosporas permiten al hongo sobrevivir por largo tiempo; se producen a partir de la modificación de hifas o células conidiales. La formación de clamidosporas está relacionada con factores de estrés, como la ausencia del hospedante, agotamiento de nutrientes y ambientes adversos (Smith, 2007). Las clamidosporas germinan en condiciones favorables, incluyendo la presencia de exudados radicales; se ha demostrado que las clamidosporas resisten temperaturas altas y sobreviven más tiempo en el suelo que los conidios, además que causan síntomas más severos que los microconidios (Mc Govern, 2015).

La forma especial (f. sp.) *lycopersici* infecta solo a plantas de tomate susceptibles (Inami *et al.* 2014); no obstante, Fassihiani (2000) comprobó que esta forma especial es capaz de colonizar las raíces de plantas pertenecientes a otros géneros, como *Oryzopsis*, *Digitaria*, *Amaranthus* y *Malva*; además de plantas de zanahoria, trigo, varias especies de pastos, berenjena y ají. Según este investigador, aunque el patógeno puede colonizar a varias especies, solo se observaron síntomas de retraso en el crecimiento, no de marchitez, en algunas especies del género *Malva*, en berenjena y ají, estas últimas pertenecientes a la familia Solanaceae.

El hongo también sobrevive en el suelo, como saprófito o en restos vegetales, donde se mantiene viable hasta 10 años (Kant *et al.* 2011). Cuando una planta sana crece en suelo infestado por el hongo, el contacto con las raíces induce la germinación de los conidios, el tubo germinativo de la espora o el micelio penetra directamente por el ápice de las raíces o ingresa a éstas, a través de heridas o de los puntos de formación de las raíces laterales. El micelio avanza por medio del córtex de las raíces intercelularmente y cuando alcanza los vasos del xilema entra por los extremos. El micelio permanece en los vasos y se trasloca a través de ellos, principalmente, hacia arriba, hacia el tallo y la corona de la planta (Agrios, 2005). En los vasos, el micelio se ramifica y produce microconidios, que son liberados y llevados hacia el ápice en la corriente de la savia. Los microconidios germinan en el punto en donde el movimiento se detiene, el micelio penetra la pared superior del vaso y se producen más microconidios en el próximo vaso. El micelio también avanza lateralmente, dentro de los vasos adyacentes, penetrando por los extre-

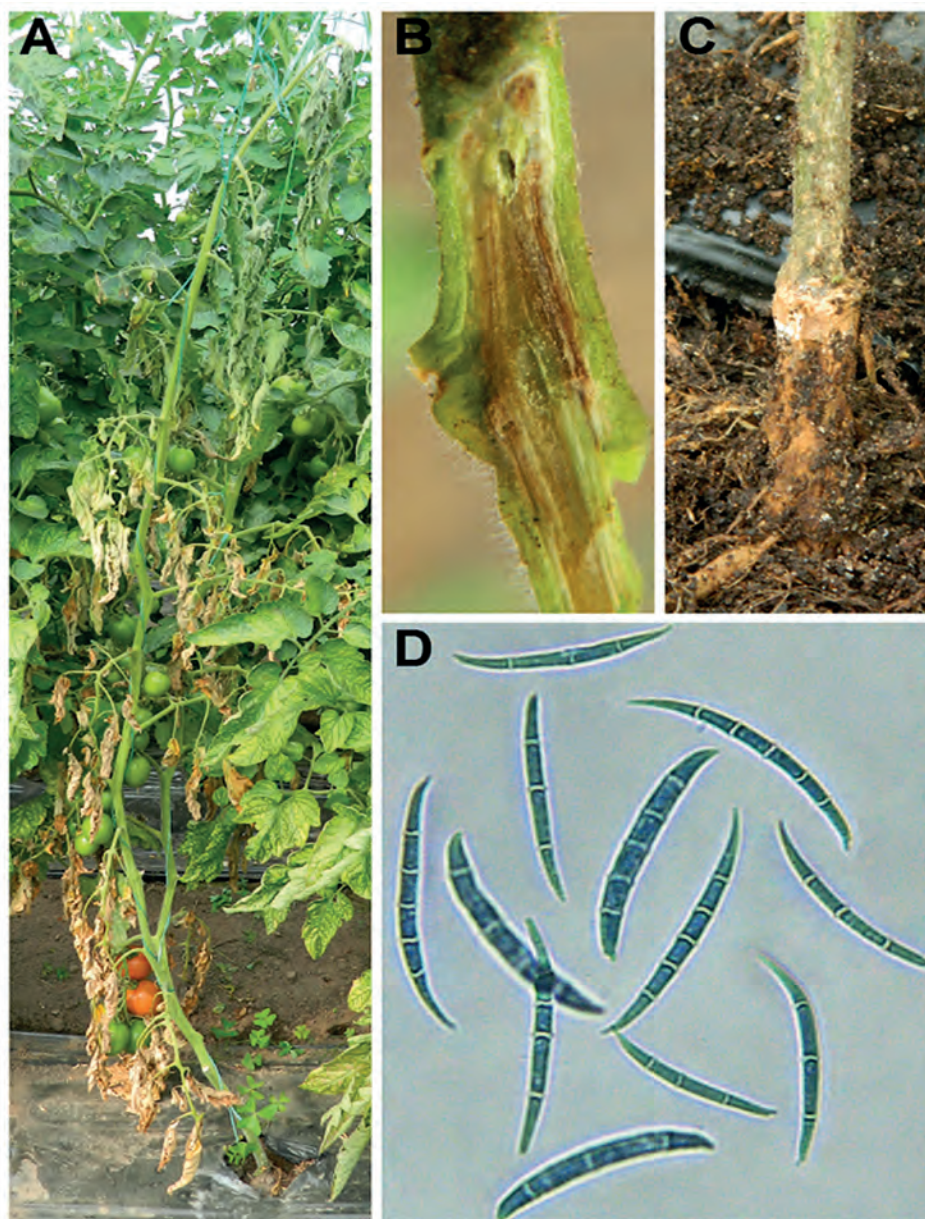


Figura 1. A. Síntoma del marchitamiento vascular causado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* en una planta de tomate; B. Síntoma en detalle de la obstrucción del xilema; C. Síntoma detallado de la enfermedad en la base de una planta de tomate; D. Macroconidios de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Cortesía de Juan Manuel Pineda y Agustín Calderón.

mos. La combinación de estos procesos, llamado taponamiento de los vasos por micelio, esporas, gel, gomas y tálidos y el aplastamiento de los vasos por proliferación de células adyacentes de parénquima, es la responsable de la marchitez (Yadeta & Thomma, 2013). Luego, el hongo invade todos los tejidos vegetales, alcanza la superficie externa de la planta muerta y allí esporula. Las esporas pueden ser diseminadas a nuevas plantas por el viento, el agua y así, sucesivamente.

*Fusarium*, se disemina a distancias cortas, mediante el agua, equipos agrícolas y herramientas infestadas por el hongo y a distancias largas, por medio de plantas enfermas o suelo adherido a ellas. Una vez el suelo es infestado, permanece así indefinidamente (Dixon & Tilston, 2010).

Debido a que el hongo se establece como endófito en células y tejidos vasculares, se dificulta su control (Hossain *et al.* 2013), lo que sugiere un manejo integrado, que permita

reducir la población del patógeno y obtener los rendimientos necesarios para tener un cultivo rentable.

Dentro de las estrategias de manejo están la aplicación de fumigantes, como N-metil ditiocarbamato de sodio, desinfección de semilla con ácido clorhídrico al 1%, uso de cultivares resistentes, como Torrano, Débora Max F1, Débora Plus F1, Calima y Carguero, entre otros y prácticas culturales, como embolsado conteniendo suelo esterilizado, solarización, rotación de cultivos y desinfección de estacones.

La desinfección del suelo con bromuro de metilo era la práctica más común hasta que su uso fue proscrito, debido a que, en 1993, el Protocolo de Montreal clasificó a este producto como degradador del ozono clase I, ordenando su retiro del mercado, en el 2005 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Rural, 2006).

El uso de variedades resistentes reduce la incidencia de la enfermedad; sin embargo, la emergencia de nuevas razas del hongo y de nuevos biotipos dentro de las razas, supera su resistencia, conllevando a la búsqueda de nuevas estrategias (Horinouchi *et al.* 2011).

Se han identificado tres razas del hongo, conocidas como razas 1, 2 y 3 o 0, 1 y 2, las cuales, se han identificado en los loci: I-1, I-2 e I-3, confirmando resistencia al patógeno, a través de genes dominantes (Scott *et al.* 2004; Panthee & Chen, 2010). Según Inami *et al.* (2012), la raza 2 de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* emergió de la raza 1, por la pérdida del gen *avr1* o a través de la pérdida de la función del gen, por la inserción de un trasposón, mientras que la raza 3 emergió cuando un punto de mutación ocurrió en el gen *avr2*. Diferentes razas del hongo portan en varias combinaciones tres genes de avirulencia, a saber: *avr1*, *avr2* y *avr3*, que activan respuestas de defensa contra el hongo, al ser reconocidos por los correspondientes genes de resistencia en tomate.

La presión por prácticas sostenibles transversales a los organismos reguladores y el creciente problema de la resistencia a los plaguicidas, están obligando a hallar alternativas a los agroquímicos. El control biológico, se está utilizando en nichos específicos de la agricultura y puede ser efectivo, si se tiene una comprensión clara del agroecosistema y sus limitaciones; un ejemplo son las bacterias promotoras de crecimiento vegetal que tienen gran potencial, porque además de promover el crecimiento de las plantas, reducen la severidad de enfermedades e inducen mecanismos de resistencia (Antoun, 2013).

La Fitoepidemiología, se ha convertido en una estrategia para el manejo sostenible de los agroecosistemas. La sos-

tenibilidad no implica necesariamente bajos insumos, sino el uso óptimo de los mismos. El control de las enfermedades, por ejemplo, depende en gran parte de las prácticas agrícolas, que reduzcan la incidencia o severidad de una enfermedad (Cook & Yarham, 2006). El manejo integrado de la marchitez vascular del tomate involucra la aplicación de principios epidemiológicos y puede ser visto como la aplicación práctica de los conceptos expresados por Van der Plank (1963):  $X = X_0 e^{rt}$ , en donde  $X$  = enfermedad;  $X_0$  = inóculo inicial;  $e$  = constante universal (2,718281);  $r$  = tasa de desarrollo de la enfermedad; y  $t$  = tiempo.

Esta revisión, se realizó con el objetivo de reunir la información más relevante en el ámbito nacional e internacional en relación con el manejo integrado de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*, indicando los factores epidemiológicos, que pueden afectar a cada una de las prácticas de manejo, según el modelo logístico de Van der Plank. Asimismo, enfatizar en la integración de las prácticas de manejo indicadas, que conlleven a reducir aplicaciones indiscriminadas de productos de síntesis química.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se consultaron las bases de datos Scopus, Science Direct, Springerlink, Annual Reviews, Scielo y Google Académico, FAOSTAT, al igual que artículos científicos y libros. Además, se revisaron obras clásicas de las décadas del 60 y 70, como: "Plant diseases: epidemics and control", de Van der Plank (1963) y "The Genus *Fusarium*", de Booth (1971), hasta la información más reciente sobre el tema, como: "Integrated management strategies for tomato *Fusarium* wilt", de Ajillogba & Babalola (2013); "Management of tomato diseases caused by *Fusarium oxysporum*", de Mc Govern (2015); "Management strategies of *Fusarium* wilt disease of tomato incited by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.)", de Bawa (2016) y *Fusarium oxysporum* and the *Fusarium* wilt syndrome (Gordon, 2017). Las palabras clave utilizadas fueron: *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, marchitez vascular, manejo integrado de *Fusarium*, tomate. Se incluyeron artículos de revisión, notas técnicas, estudios experimentales, publicados en idioma inglés y español.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diseminación y sobrevivencia del hongo: *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* se puede diseminar a través del agua (Xu *et al.* 2006), por esta razón, el riego por gravedad aumenta la incidencia de la marchitez vascular y la tasa de desarrollo de la enfermedad ( $r$ ) (Castaño-Zapata, 2002). Asimismo, puede hacerlo a través de semilla (Mc Govern, 2015), aumentando el inóculo inicial ( $X_0$ ) (Castaño-Zapata, 2002).

El hongo también puede sobrevivir y diseminarse por medio de herramientas, maquinaria y la infraestructura usada para el cultivo, invernaderos y postes de tutorado, que sirven como reservorio de inóculo inicial (Weststeijn, 1973; Mc Govern, 2015; Neshev, 2008).

Insectos, como la mosca de las riberas [*Scatella stagnalis* (Diptera, Ephydriidae)] pueden diseminar a *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* y f. sp. *radicis-lycopersici* (Corbaz & Fisher, 1994; Van Eppenhuisen *et al.* 2001). Se ha demostrado que *Meloidogyne incognita* puede causar pérdida de resistencia en tomate a la raza 1 de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Mc Govern, 2015). Si *Meloidogyne incognita* ataca simultáneamente o antes del ataque de *Fusarium*, no afecta la resistencia a las razas 1 o 2 (Jones *et al.* 1976). Abawi & Barker (1984), indican que la resistencia a la raza 1 no es afectada por este nematodo, pero sí hay un daño aditivo de los dos patógenos en variedades susceptibles de tomate, como Bonny best.

**Manejo integrado de la marchitez vascular:** Los principales componentes del MIP son: prevención, monitoreo, diagnóstico correcto de la enfermedad, desarrollo de umbrales de daño económico y selección óptima de las estrategias de manejo. La prevención y el manejo comprenden una serie de prácticas, que serán explicadas a continuación.

**Culturales:** Incluyen prácticas que ayudan a reducir la incidencia y la severidad de la enfermedad. Son principalmente preventivas y un buen conocimiento de la naturaleza, comportamiento y condiciones ambientales de crecimiento del hongo es esencial. Dentro de este control está el uso de prácticas que conduzcan a un ambiente desfavorable para *Fusarium* (Ajillogba & Babalola, 2013); por ejemplo, subir el pH entre 6,5 y 7,5 y emplear una fuente de nitrógeno en forma de nitrato en lugar de amoniacal (Jones *et al.* 1982) y la siembra de plántulas en eras elevadas, mejoran el drenaje, afectando adversamente la tasa de desarrollo de la enfermedad (*r*) (Castaño-Zapata, 2002). El arado profundo mejora las características físicas del suelo, modifica la porosidad del suelo, aumenta la retención de agua, la oxigenación y temperatura, acelera la descomposición de residuos vegetales al reducir su tamaño inactivando parte del inóculo presente en ellos y, en consecuencia, disminuyendo la incidencia de la enfermedad (Neshev, 2008). La población del hongo también puede ser reducida mediante cultivos de cobertura, usados como fuente de carbono (Butler *et al.* 2012b).

La rotación de cultivos es recomendable y se debe hacer por un periodo de 5 a 7 años (Jones *et al.* 1982). Esta práctica reduce el inóculo inicial ( $X_0$ ) y, por consiguiente, la incidencia de la enfermedad (Castaño-Zapata, 2002). Es de resaltar que se debe escoger con cuidado el cultivo con el cual se va a rotar, evitando especies de la familia Solanaceae. El descan-

so del terreno tiene un efecto semejante al de la rotación, reduciendo el inóculo inicial. Esta práctica es más efectiva cuando la temperatura del suelo es alta, por lo que se recomienda realizarla en épocas de verano. El suelo se debe mantener libre de plantas y ararse frecuentemente en seco, para ayudar a destruir la población del hongo (Ajillogba & Babalola, 2013).

Se debe mantener la sanidad del cultivo, retirando plantas enfermas, residuos de podas, frutos enfermos y residuos de cosecha, junto con arvenses y sus residuos, especialmente solanáceas. Su destrucción es crucial, debido a que reducen la fuente de inóculo inicial. Las herramientas se deben limpiar y desinfectar. El empleo de ropa y de botas desinfectadas durante las labores de campo ayudan a prevenir el transporte de suelo infestado con el hongo, de un sitio a otro (Neshev, 2008).

Heridas hechas a las plantas durante el tutorado, raleo, poda y ploteo, aumentan la susceptibilidad a la enfermedad, mediante el incremento de la tasa de desarrollo (Ajillogba & Babalola, 2013).

**Desarrollo de variedades resistentes:** La resistencia genética es el método más eficiente, económico y ecológico de manejo de la enfermedad, pero las interacciones planta-patógeno están lejos de ser simples. La analogía de una carrera armamentista se ha usado para explicar la coevolución de las plantas y sus patógenos; las plantas desarrollan mecanismos, los patógenos desarrollan estrategias para vencer la resistencia de las plantas, las plantas sucesivamente desarrollan nuevas tácticas de defensa, las cuales, seleccionan para más cambios en el patógeno.

Hay dos tipos de resistencia: la poligénica, horizontal o de genes menores, que no reconoce razas específicas del patógeno y la vertical, monogénica o de genes mayores, que reconoce razas específicas e imparte un alto nivel de resistencia. La resistencia poligénica, generalmente, se basa en múltiples genes, que actúan para crear barreras físicas o químicas que impiden la invasión del patógeno. Se ha identificado este tipo de resistencia al hongo en variedades de tomate, como Homestead y Marglobe, pero no han sido de interés para el desarrollo de variedades comerciales, con este tipo de resistencia (Gao *et al.* 1995). La resistencia poligénica es más estable y afecta la tasa de desarrollo de la enfermedad (*r*), mientras que la resistencia vertical, afecta el inóculo inicial ( $X_0$ ) (Castaño-Zapata, 2002).

Las variedades de tomate resistentes a las razas 1 y 3 de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* han sido mejoradas, mediante la introgresión de genes de sus parientes silvestres, como *Solanum pennellii* y *S. pimpinellifolium*. Muchas variedades de tomate mejoradas convencionalmente tienen resistencia

a las razas 1 o 2; varias también poseen una combinación de resistencia a las razas 1 y 2; pocas poseen resistencia a todas las razas del hongo, reportadas hasta ahora (Mc Govern, 2015).

**Modificación genética:** Se ha avanzado en la modificación genética del tomate contra el hongo, usando genes derivados de otras especies; por ejemplo, se han utilizado genes de *Medicago sativa* y *Wasabia japonica* mostrando mayor resistencia a la enfermedad, que las plantas no transformadas (Abdallah *et al.* 2010). Líneas transgénicas, a partir de quitinasa de trigo, expresan alto nivel resistencia al hongo, siendo el rasgo heredable para la primera y la segunda generación (Girhepuje & Shinde, 2011). También, se ha demostrado que la transformación del tomate con quitinasa derivada de arroz reduce significativamente la incidencia de la marchitez vascular (Abdallah *et al.* 2010).

**Resistencia inducida:** La resistencia sistémica adquirida –RSA- y resistencia sistémica inducida –RSI- han sido bien estudiadas. La RSA es inducida por la exposición de una planta a elicitores abióticos (químicos) o bióticos (microorganismos patogénicos o no patogénicos), es dependiente de la producción de ácido salicílico y está asociada con la acumulación de proteínas relacionadas con la patogénesis, PR; por otra parte, la RSI es activada por la exposición de las raíces a aislamientos específicos de BPCV, en particular *Bacillus spp.* y *Pseudomonas spp.* (Vallad & Goodman, 2004).

**Injertación:** Es el uso de injertos tienen como principal ventaja que no contaminan al ambiente, además, incrementan la tolerancia a temperaturas altas y bajas, a la salinidad del suelo o agua y a sequía; asimismo, aumenta el vigor de las plantas y el rendimiento, como resultado de mayor absorción de nutrientes y contenido mineral en la parte aérea. Esta tecnología ha sido exitosa en tomate, pimiento, sandía, melón y berenjena (INTAGRI, 2017). El empleo de tomate injertado se ha acelerado, por la prohibición del bromuro de metilo, pero la adopción de esta práctica ha sido lenta, debido a la percepción de su alto costo (Mc Govern, 2015).

**Control químico:** Existen diferentes tipos de químicos que ayudan a prevenir o a manejar a la enfermedad. A continuación, se describen los diferentes químicos usados:

**Desinfestantes:** Debido a la gran capacidad de supervivencia del hongo en diferentes sustratos, incluyendo semillas de tomate, agua de riego, recipientes, estacas y estructuras de soporte, la eliminación de los propágulos de *Fusarium*, a través de la desinfestación, es esencial para su manejo (Agrios, 2005). Se usan compuestos oxidantes fuertes, como el NaOCl, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, que inactivan el patógeno, por medio de la ruptura de los ácidos nucleicos. Otros desinfestantes, como los alcoholes y las sales cuaternarias de amonio, causan de-

naturación de proteínas y ruptura de las membranas celulares (Mc Govern, 2015). El formaldehído mata los macroconidios del hongo depositados en las estructuras y paredes de los invernaderos (Weststeijn, 1973).

**Fungicidas:** Aunque hay fungicidas efectivos contra el hongo, se usan con menos frecuencia que los fumigantes y otras estrategias de manejo, excepto en sistemas bajo invernadero. Se ha demostrado que bromuconazole y procloraz, cuando se aplican al suelo, son más efectivos en reducir la incidencia de la marchitez vascular, que azoxystrobin, benomil, carbendazim y fluidioxonil (Amini & Sidovich, 2010), afectando la tasa de desarrollo (r) de la enfermedad (Castaño-Zapata, 2002). El uso indiscriminado de fungicidas puede causar el desarrollo de nuevas cepas patogénicas resistentes, la reducción de especies benéficas, problemas de salud en los operarios, acumulación de residuos en el suelo, fuentes de agua y alimentos (Castro & Ramos, 2004). Actualmente, se emplean productos de poca toxicidad, pero su uso inadecuado puede causar daños severos al ambiente y a los seres vivos; además, se requiere tomar precauciones, para evitar toxicidad en las plantas (INTAGRI, 2017).

**Fumigantes:** Después de la resistencia genética, la fumigación en presiembra ha sido la estrategia de manejo más común para controlar la marchitez vascular, afectando el inóculo inicial (X<sub>0</sub>) (Castaño-Zapata, 2002). El bromuro de metilo en combinación con tricloronitrometano ha sido el tratamiento estándar para controlar esta y otras enfermedades causadas por patógenos, cuyo hábitat es el suelo; sin embargo, como se mencionó previamente, el bromuro de metilo ha sido eliminado en conformidad con el Protocolo de Montreal (Watson *et al.* 1992). Otras sustancias, como dicloropropeneb, β cloropicrin, cloropicrin, metil isotiocianato, entre otras, también reducen la incidencia de la enfermedad (Mc Govern, 2015).

**Desinfestación anaeróbica del suelo:** La aplicación de materia orgánica seguida por irrigación y cobertura del suelo con polietileno crean condiciones de anaerobiosis (Mc Govern, 2015). La reducción de la población de patógenos habitantes del suelo, como *Fusarium*, se atribuye a condiciones anaeróbicas, temperaturas altas, generación de ácidos orgánicos, acumulación de compuestos volátiles y liberación de iones metálicos (Mc Govern, 2015).

**Nutrición vegetal y química del suelo:** La nutrición de las plantas puede influenciar su susceptibilidad a enfermedades (Datnoff *et al.* 2007), afectando la tasa de desarrollo (r) (Castaño-Zapata, 2002). El hidróxido de calcio reduce la incidencia y la tasa de desarrollo de la marchitez vascular y se atribuye su efecto al aumento del pH del suelo (7,5-8,0) y no a la acumulación de calcio. El incremento del pH reduce la disponibilidad de micronutrientes, como el hierro, mangane-

so y zinc, esenciales para el hongo. Se sugiere que *Fusarium* es más sensible a baja disponibilidad de nutrientes que las plantas de tomate, y que esta es la base de su manejo, a través de nutrición. La ceniza, rica en dióxido de silicio y de calcio, también disminuye la población del hongo.

**Control biológico:** Últimamente, ha crecido el interés sobre el manejo del hongo a través del control biológico (Mc Spadden *et al.* 2002). Los biocontroladores incluyen bacterias, como *Pseudomonas fluorescens* y *Burkholderia cepacia* y hongos, como *Trichoderma* spp., *Gliocladium virens* y aislamientos no patogénicos de *Fusarium* spp. Hay formulaciones comerciales a base de *Gliocladium virens* (Soil-Gard®) y *Trichoderma harzianum* (RootShield®), altamente efectivas para controlar al hongo (Larkin & Fravel, 1998). Las interacciones que ocurren entre los biocontroladores y patógenos son complejas, como son la interacción de la microbiota del suelo, en general, y puede involucrar antibiosis, competencia por nutrientes, en especial, hierro, a través de la producción de sideróforos y sitios de colonización, inducción de resistencia, hiperparasitismo y predación (Pal & Mc Spadden, 2006).

El manejo de la marchitez vascular abarca un amplio rango de microorganismos solos o en combinación, en donde se incluyen diferentes aislamientos de la misma especie bacteriana, diferentes géneros de bacterias y de hongos y mezclas de éstos. Varios biocontroladores reducen la producción de esporas, la germinación y la supervivencia de *F. oxysporum* f. sp. *Lycopersici*, por antibiosis, competencia y resistencia inducida. En general, los biocontroladores disminuyen significativamente la marchitez vascular y, en algunos casos, pueden ser superiores al efecto de los fungicidas. En la mayoría de los casos, las combinaciones de biocontroladores son más efectivas que sus componentes individuales, lo que sugiere que el incremento en la diversidad microbiana es benéfico en el manejo de la enfermedad (Mc Govern, 2015).

**Control físico:** Las técnicas que usan calor para inactivar o debilitar a los patógenos incluyen vapor, solarización y compostaje (Mc Govern, 2015), afectando el inóculo inicial ( $X_0$ ) (Castaño-Zapata, 2002). Las últimas dos técnicas también afectan a los patógenos, mediante el aumento de microorganismos antagonistas o benéficos e incremento de nutrientes, disponibles para las plantas (Mc Govern, 2015).

El vapor fue el desinfectante de suelo más común en cultivos de hortalizas y ornamentales de alto valor que crecían bajo invernadero; sin embargo, el alto costo de los combustibles condujo a los agricultores a utilizar otros métodos, como los fumigantes de menor costo. El vapor aireado es preferible, debido a que reduce las densidades del patógeno a temperaturas más bajas (60 a 70°C / 30 min), que las del vapor no aireado (cerca de 100°C) y evita la eliminación total

de microorganismos benéficos (Mc Govern, 2015). Según Weststeijn (1973), el empleo de vapor a 80°C durante 12 h bajo cubiertas de lona en invernadero es tan efectivo como cloropicrina y bromuro de metilo en la reducción de la marchitez vascular.

La solarización puede reducir la densidad del patógeno, mediante la inactivación térmica, el incremento de microorganismos antagónicos termofílicos y termotolerantes, acumulación de compuestos volátiles y cambios en la composición de gases del suelo (Mc Govern, 2015). Una de las limitaciones de la solarización es que sus mayores efectos no superan los 30 cm de profundidad del suelo (Mc Govern & Mc Sorley, 2012). La solarización del suelo durante 8 semanas puede reducir la población del hongo, entre 91 y 98%, siendo tan efectiva como el bromuro de metilo, aumentando significativamente el rendimiento del cultivo del tomate (Ioannou, 2000).

El compostaje involucra la degradación microbiana controlada de materia orgánica y es más común de forma aeróbica. Además de calor, el compostaje aeróbico produce amonio, dióxido de carbono y agua, mientras la descomposición anaeróbica produce CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y muchos compuestos orgánicos intermedios (Bernal *et al.* 2009). A menos que sea controlado por liberación deliberada de calor, a través de ventilación, la temperatura del compostaje suele ser a 80°C; sin embargo, la actividad microbiana para la descomposición del sustrato requiere que la temperatura del compostaje sea mantenida por debajo de 60°C (Mc Govern, 2015).

**Tratamiento del agua:** Las técnicas físicas para desinfección del agua de riego recirculada y soluciones nutritivas, incluyen filtración, calor y radiación UV; por ejemplo, la filtración del agua para la remoción del patógeno o inóculo inicial puede involucrar baja percolación, a través de materiales, como arena fina, lana de roca, entre otros o movimiento más rápido, por medio de membranas (ultrafiltración). También la filtración lenta tiene un componente biológico y un biofilm microbiano, que se forma sobre la superficie del material de filtración, siendo incompatible con la desinfección química. Si el agua contiene grandes cantidades de arcilla y de sólidos solubles, ambos sistemas requieren un paso de prefiltración.

La mayoría de patógenos de plantas, incluyendo a *F. oxysporum*, pueden morir a 54°C por 15 seg (Runia & Amsing, 2001); por consiguiente, la pasteurización se convierte en una opción para matar los conidios del hongo, requiriendo que el agua o solución nutritiva sea calentada a 95°C por 30 min (Newman, 2004).

#### **Combinación de prácticas:**

**Biológicas y culturales:** *Bacillus subtilis* CRB20 en combinación con quitina promueve el crecimiento de las plantas y

la supresión de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Hariprasad *et al.* 2011). Asimismo, la combinación de la desinfección anaeróbica del suelo con solarización reduce, en mayor grado, la sobrevivencia del hongo, si se compara con el bromuro de metilo (Butler *et al.* 2012a). *Pseudomonas* spp., *Trichoderma harzianum* y *Glomus intraradices* tienen la capacidad de reducir hasta en un 67% la incidencia de la marchitez vascular, reducción que se puede incrementar hasta un 74%, cuando se añade una enmienda orgánica (Srivastava *et al.* 2010).

La combinación de micorizas arbusculares y cultivos intercalados, como el puerro [*Allium ampeloprasum* var. *porrum* (L.) J.Gay], también disminuye la incidencia de la marchitez vascular del tomate (Hage-Ahmed *et al.* 2013).

El sustrato obtenido del compostaje de orujo de uva (*Vitis vinifera* L.) puede reducir el área bajo la curva del desarrollo de la marchitez, en un 92%. Este sustrato tiene la característica de subir el pH hasta 7,9, acompañado de una alta actividad de  $\beta$ -glucosidasa (110,04  $\mu$ g de p-nitrofenol/cm<sup>3</sup>), condiciones adversas para *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Borrero *et al.* 2004).

**Biológicas y químicas:** La aplicación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal, como *Pseudomonas fluorescens* en combinación con una dosis reducida de benomil es más efectiva en la reducción del área bajo la curva de la marchitez vascular del tomate (Someya *et al.* 2006). Igual resultado se ha obtenido con *Azotobacter* sp., *Bacillus cereus* y *B. megaterium*, en combinación con ácido húmico (Abdel-Monaim *et al.* 2012).

**Culturales y físicas:** El uso de vapor caliente para desinfectar el suelo combinado con la aplicación de formaldehído en las estructuras de los invernaderos puede inhibir por completo la germinación de los macroconidios del hongo. Otras prácticas, como la desinfección de tuberías surtidoras de riego, la eliminación de plantas enfermas, desinfección de sitios y equipos de trabajo infestados con el patógeno y el uso de material vegetal sano cuando se establece un cultivo de tomate, son muy eficientes para el manejo de la enfermedad (Weststeijn, 1973).

El uso de enmiendas orgánicas reduce la incidencia de la marchitez vascular y la siembra de tomate con franjas de pasto bahía (*Paspalum notatum* Fluggee), es una práctica favorable para suprimir al hongo. Asimismo, la rotación de tomate con cultivos de *P. notatum* durante 4 años puede disminuir hasta un 6% la incidencia de la enfermedad, a través de la destrucción de las estructuras reproductivas del hongo (Chellemi *et al.* 2012).

**Efecto epidemiológico de las prácticas de manejo:** El control de enfermedades involucra la aplicación práctica de medidas expresadas, mediante el modelo logístico de Van der Plank (1963):  $X = X_0 e^{rt}$ . El manejo de la enfermedad consiste en retardar el desarrollo de la epidemia, a través de la interacción de varias prácticas. Este retardo depende de la reducción de inóculo inicial ( $X_0$ ), de la tasa de desarrollo de la enfermedad ( $r$ ) y tiempo ( $t$ ) (Castaño-Zapata, 2002; Cook & Yarham, 2006), como se ha visto en esta revisión y se resume en la tabla 1.

Tabla 1. Prácticas de manejo de la marchitez vascular del tomate y su efecto sobre cada uno de los parámetros del modelo logístico de Van der Plank.

ESTRATEGIAS	FACTOR EPIDEMIOLÓGICO
<b>PRÁCTICAS CULTURALES</b>	
Rotación de cultivos	$X_0$
Sanidad	$X_0$
Fertilización	$r$
Encalado	$r$
Solarización	$X_0$
Barbecho	$X_0$
Coberturas	$r$
Riego	$r$
Manejo de arvenses	$X_0$
Siembra en camas elevadas	$r$
Época de siembra y cosecha	$t$
Cultivos intercalados	$X_0$



Continuación Tabla 1.

CONTROL GENÉTICO	
Resistencia monogénica	X <sub>0</sub>
Resistencia poligénica	r
Modificación genética	X <sub>0</sub>
Resistencia sistémica	r
Injertación	X <sub>0</sub>
CONTROL BIOLÓGICO	
Hongos	X <sub>0</sub>
Bacterias	X <sub>0</sub>
Bacterias promotoras de crecimiento vegetal	r
CONTROL QUÍMICO	
Desinfestantes	X <sub>0</sub>
Fungicidas	r
Fumigantes	X <sub>0</sub>

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Aunque el control más efectivo de la enfermedad ha sido mediante la aplicación de productos de síntesis química, causando problemas de resistencia en el hongo, intoxicación de los operarios y contaminación del medio ambiente, se puede evitar, integrándolos con otras prácticas. El manejo efectivo de la marchitez vascular solo se puede lograr, a través del empleo de diferentes prácticas que incidan sobre los factores que determinan el desarrollo de una epidemia y enfocadas dentro del modelo logístico de Van der Plank. Se debe priorizar la investigación en el desarrollo de materiales resistentes, como estrategia más efectiva y económica dentro del manejo integrado de la marchitez vascular.

**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. ABAWI, G.S.; BARKER, K.R. 1984. Effects of cultivar, soil temperature, and levels of *Meloidogyne incognita* on root necrosis and Fusarium wilt of tomatoes. *Phytopathology*. 7:433-438.
2. ABDALLAH, N.A.; SHAH, D.; ABBAS, D.; MADKOUR, M. 2010. Stable integration and expression of a plant defensin in tomato confers resistance to Fusarium wilt. *GM Crops*. 1(5):344-350.
3. ABDEL-MONAIM, M.F.; ABDEL-GAID, M.A.; EL-MORSY, M.; EL-MORSY, A. 2012. Efficacy of rhizobacteria and humic acid for controlling Fusarium wilt disease and improvement of plant growth, quantitative and qualitative parameters in tomato. *Sci J. Plant Pathol*. 1:39-48.
4. AGRIOS, G.N. 2005. *Plant pathology*. Fifth Ed. Academic Press, Burlington. 635p.
5. AJILOGBA, C.F.; BABALOLA, O.O. 2013. Integrated management strategies for tomato Fusarium wilt. *Biocontrol Science*. 18(3):117-127.
6. AMINI, J.; SIDOVICH, D.F. 2010. The effects of fungicides on *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* associated with Fusarium wilt of tomato. *J. Plant Prot. Res.* 50:172-178.
7. ANTOUIN, H. 2013. Plant-growth-promoting rhizobacteria. In: Maloy, S.; Hughes K. (eds.). *Brenner's Encyclopedia of Genetics (Second Edition)*. Academic Press, San Diego. p.353-355.
8. BAWA, I. 2016. Management strategies of Fusarium wilt disease of tomato incited by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.): A review. *Int. J. of Advanced Academic Research*. 2(5):32-42.
9. BERNAL, M.P.; ALBURQUERQUE, J.A.; MORAL, R. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*. 100(22):5444-5453.

10. BOOTH, C. 1971. The genus *Fusarium*. Published by Commonwealth Agricultural Bureaux, for the Commonwealth Mycological Institute. Surrey, Inglaterra. 237p.
11. BORRERO, C.; TRILLAS, M.I.; ORDOVÁS, J.; TELLO, J.C.; AVILÉS, M. 2004. Predictive factors for the suppression of *Fusarium* wilt of tomato in plant growth media. *Phytopathology*. 94(10):1094-1101.
12. BUTLER, D.M.; KOKALS-BURELLE, N.; MURAMOTO, J.; SHENNAN, C.; MC COLLUM, T.G.; ROSSKOPF, E.N. 2012a. Impact of anaerobic soil disinfestation combined with soil solarization on plant-parasitic nematodes and introduced inoculum of soilborne plant pathogens in raised-bed vegetable production. *Crop Protection*. 39:33-40.
13. BUTLER, D.M.; ROSSKOPF, E.N.; KOKALIS-BURELLE, N.; ALBANO, J.P.; MURAMOTO, J.; SHENNAN, C. 2012b. Exploring warm-season cover crops as carbon sources for anaerobic soil disinfestation (ASD). *Plant Soil*. 355:149-165.
14. CASTAÑO-ZAPATA, J. 2002. Principios básicos de fitoepidemiología. Editorial Universidad de Caldas (Colombia). 396p.
15. CASTRO, P.A.; RAMOS, J.P. 2005. Determinación de residuos de plaguicidas organofosforados en muestras de tomate de la ciudad de Bogotá (Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia). Disponible desde Internet en: [http://www.guaica.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/661/1/mi\\_1106.pdf](http://www.guaica.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/661/1/mi_1106.pdf) (con acceso 24/10/2017).
16. CHELLEMI, D.O.; WU, T.; GRAHAM, J.H.; CHURCH, G. 2012. Biological impact of divergent land management practices on tomato crop health. *Phytopathology*. 102(6):597-608.
17. CORBAZ, R.; FISCHER, S. 1994. The shore fly *Scatella stagnalis* Fall. Diptera, Ephydriidae responsible for transmitting *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in soilless tomato crops. *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 26(6):383-385.
18. COOK, R.J.; YARHAM, D.J. 2006. Epidemiology in sustainable systems. In: Cooke, B.M.; Jones, D.G.; Kaye, B. (Eds.). *The epidemiology of plant diseases*. Dordrecht: Springer. p.309-334.
19. DATNOFF, L.E.; ELMER, W.H.; HUBER, D.M. 2007. Mineral nutrition and plant disease. APS Press, St. Paul, MN. 278p.
20. DIXON, G.R.; TILSTON, E.L. 2010. Soil-borne pathogens and their interactions with the soil environment. In: Dixon, G.R.; Tilston, E.L. (Eds) *Soil microbiology and sustainable crop production*. Ed. Springer. (Netherlands): p.197-271.
21. ENESPA ; DWIVEDI, S.K. 2014. Effectiveness of some Antagonistic fungi and botanicals against *Fusarium solani* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* infecting brinjal and tomato plants. *Asian J. Plant Path.* 8(1):18-25.
22. FAOSTAT. 2014. Statistical Databases. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. Italia. Disponible desde Internet en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> (con acceso 27/06/2017).
23. FASSIHIANI, A. 2000. Symptomless carriers of the causal agent of tomato wilt pathogen. *J. Agric. Sci. Tech.* 2:27-32.
24. GAO, H.; BECKMAN, C.H.; MUELLER, W.C. 1995. The nature of tolerance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in polygenically field-resistant marglobe tomato plants. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 46:401-412.
25. GIRHEPUJE, P.V.; SHINDE, G.B. 2011. Transgenic tomato plants expressing a wheat endochitinase gene demonstrate enhanced resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Plant Cell Tiss. Organ Cult.* 105:243-251.
26. GORDON, T.R. 2017. *Fusarium oxysporum* and the Fusarium wilt syndrome. *Ann. Rev. Phytopathology*. 55:23-39.
27. HAGE-AHMED, K.; KRAMMER, J.; STEINKELLNER, S. 2013. The intercropping partner affects arbuscular mycorrhizal fungi and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* interactions in tomato. *Mycorrhiza*. 23(7):543-550.
28. HARIPRASAD, P.; DIVAKARA, S.T.; NIRANJANA, S.R. 2011. Isolation and characterization of chitinolytic rhizobacteria for the management of Fusarium wilt in tomato. *Crop Protection*. 30(12):1606-1612.
29. HORINOUCI, H.; WATANABE, H.; TAGUCHI, Y.; MUSLIM, A.; HYAKUMACHI, M. 2011. Biological control

- of *Fusarium* wilt of tomato with *Fusarium equiseti* GF191 in both rock wool and soil systems. *Biocontrol*. 56(6):915-923.
30. HOSSAIN, M.M.; HOSSAIN, N.; SULTANA, F.; ISLAM, S.M.N.; ISLAM, M.S.; BHUIYAN, M.K.A. 2013. Integrated management of *Fusarium* wilt of chickpea (*Cicer arietinum* L.) caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* with microbial antagonist, botanical extract and fungicide. *African J. of Biotech.* 12(29):4699-4706.
31. INAMI, K.; KASHIWA, T.; KAWABE, M.; ONOKUBO-OKABE, A.; ISHIKAWA, N.; PÉREZ, E.R.; MADADI, K.A. 2014. The tomato wilt fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* shares common ancestors with nonpathogenic *F. oxysporum* isolated from wild tomatoes in the Peruvian Andes. *Microbes and Environments*. 29(2):200-210.
32. INAMI, K.; YOSHIOKA-AKIYAMA, C.; MORITA, Y.; YAMASAKI, M.; TERAOKA, T. 2012. A Genetic mechanism for emergence of races in *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*: inactivation of avirulence gene AVR1 by transposon insertion. *PLoS One* 7 (8):e44101.
33. IOANNOU, N. 2000. Soil solarization as a substitute for methyl bromide fumigation in greenhouse tomato production in Cyprus. *Phytoparasitica*. 28(3):248-256.
34. INTAGRI S.C. 2017. Ventajas del injerto en tomate y su proceso paso a paso Disponible desde Internet en [https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/injerto-en-tomate-y-procesos-paso-a-paso?utm\\_source=Sendgrid&utm\\_medium=Art-ventajas%20del%20injerto#](https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/injerto-en-tomate-y-procesos-paso-a-paso?utm_source=Sendgrid&utm_medium=Art-ventajas%20del%20injerto#) (con acceso el 12/10/2017).
35. JONES, J.P.; JONES, J.B.; MILLER, J.W. 1982. *Fusarium* wilt of tomato. *Plant Pathology*. Circular N°237. Fla. Dep. Agric. & Consumer Serv. Division of Plant Industry. June 1982. 2p.
36. JONES, J.P. 1991. *Fusarium* wilt. p. 15-16. In: *Compendium of Tomato Diseases*. J. B. Jones et al. (Eds.). APS PRESS. The American Phytopathological Society. 73p.
37. JONES, J.P.; OVERMAN, A.J.; CRILL, P. 1976. Failure of root-knot nematode to affect *Fusarium* wilt resistance in tomato. *Phytopathology*. 66:1339-1346.
38. KANT, P.; REINPRECHT, Y.; MARTIN, C.J.; ISLAM, R.; PAULS, K.P. 2011. Integration of biotechnologies: disease resistance pathology *Fusarium*. In: Moo-Young M. (ed.). *Comprehensive Biotechnology*, second edition, Elsevier, Amsterdam. p.729-743.
39. KATAN, T.; SHLEVIN, E.; KATAN, J. 1997. Sporulation of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* on stem surfaces of tomato plants and aerial dissemination of inoculum. *Phytopathology*. 87:712-719.
40. LARKIN, R.P.; FRAVEL, D.R. 1998. Efficacy of various fungal and bacterial biocontrol organisms for control of *Fusarium* wilt of tomato. *Plant Disease* 82(9):1022-1028.
41. MC GOVERN, R.J.; MC SORLEY, R. 2012. Management of bacterial and fungal plant pathogens by soil solarization. In: Gamliel, A., Katan, J. (Eds.), *Soil Solarization: Theory and Practice*. APS Press, Minneapolis, MN. p.53-62.
42. MC GOVERN, R.J. 2015. Management of tomato diseases caused by *Fusarium oxysporum*. *Crop Protection*. 73:78-92.
43. MC GOVERN, R.J.; DATNOFF, L.E., 1992. *Fusarium* crown and root rot of tomato:reevaluation of management strategies. In: Vavrina, C.S. (Ed.), *Fla. Tom. Instit. Proc., Vegetable Crops Special Series, SS HOS 1* University of Florida-IFAS, p.75-82.
44. MC SPADDEN GARDENER, B.B.; FRAVEL, D.R. 2002. Biological control of plant pathogens: Research, commercialization, and application in the USA. *Online Plant Health Prog.* Disponible desde Internet en <http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/php/review/biocontrol/> (con acceso el 27/12/2016).
45. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO RURAL. 2006. Resolución 1047, por la cual se establecen medidas ambientales para la aplicación de la sustancia bromuro de metilo en tratamientos cuarentenarios en Colombia. En: *Biblioteca virtual de Medio Ambiente*. Disponible desde Internet en: [http://www.minambiente.gov.co/images/Asuntos-ambientalesy-SectorialyUrbana/pdf/Legislacion/res\\_1047\\_120606.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/Asuntos-ambientalesy-SectorialyUrbana/pdf/Legislacion/res_1047_120606.pdf) (con acceso el 20/06/ 2017).
46. NEWMAN, S.E. 2004 Disinfecting irrigation water for disease management. In: 20<sup>th</sup> Annual Conference on Pest Management on Ornamentals. p.20-22.
47. NESHEV, G. 2008. Major soil-borne phytopathogens on tomato and cucumber in Bulgaria, and methods for their management. In: Labrada, R. (ed). *Alternatives*

- to replace methyl bromide for soil-borne pest control in east and central Europe. FAO. p.1-22.
48. PAL, K.K.; MC. SPADDEEN GARDENER, B. 2006. Biological control of plant pathogens. *Plant Health Instr.* 2:1117-1142.
49. PANTHEE, D.R.; CHEN, F. 2010. Genomics of fungal disease resistance in tomato. *Curr. Genomics.* 11:30-39.
50. RAMYABHARATHI, S.A.; MEENA, B.; RAGUCHANDER, T. 2012 Induction of chitinase and  $\beta$ -1, 3-glucanase PR proteins in tomato through h liquid formulated *Bacillus subtilis* EPCO 16 against Fusarium wilt. *Journal of Today's Biological Sciences: Research & Review. India.* 1(1):50-60.
51. RÚNIA, W.T.; AMSING, J.J. 2001. Lethal temperatures of soilborne pathogens in recirculation water from closed cultivation systems. *Acta Hort.* 554:333-339.
52. SCOTT, J.W.; AGRAMA, H.A.; JONES, J.P. 2004. RFLP-based analysis of recombination among resistance genes to Fusarium wilt races 1, 2, and 3 in tomato. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 129 (3):394-400.
53. SMITH, S. 2007. An overview of ecological and habitat aspects in the genus *Fusarium* with special emphasis on the soil-borne pathogenic forms. *Plant Pathol. Bull.* 16:97-120.
54. SOMEYA, N.; TSUCHIYA, K.; YOSHIDA, T.; NOGUCHI, M.T.; SAWADA, H. 2006. Combined use of the biocontrol bacterium *Pseudomonas fluorescens* strain lrb3w1 with reduced fungicide application for the control of tomato Fusarium wilt. *Biocontrol Sci.* 11(2):75-80.
55. SRIVASTAVA, R.; KHALID, A.; SINGH, U.S.; SHARMA, A.K. 2010. Evaluation of arbuscular mycorrhizal fungus, fluorescent *Pseudomonas* and *Trichoderma harzianum* formulation against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* for the management of tomato wilt. *Biological Control.* 53(1):24-31.
56. VALLAD, G.E.; GOODMAN, R.M. 2004. Systemic acquired resistance and induced systemic resistance in conventional agriculture. *Crop Sci.* 44(6):1920-1934.
57. VAN DER PLANK, J.E. 1963. *Plant diseases: epidemics and control.* Academic Press. New York. 349p.
58. VAN EPPENHUIJSEN, C.W.; PAGE, B.B.C.; KOOLAARD, J.P. 2001. Preventative treatments for control of fungus gnats and shore flies. *New Zeal. Plant Prot.* 54:42-46.
59. WATSON, R.T.; ALBRITTON, D.T.; ANDERSON, S.O.; LEE-BAPTY, S. 1992. *Methyl Bromide: Its atmospheric science, technology and economics.* Montreal Protocol Assessment Suppl., U.N.E.P, Nairobi, Kenya. 234p.
60. WESTSTEIJN, G. 1973. Soil sterilization and glasshouse disinfection to control *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in tomatoes in the Netherlands. *Neth. J. Plant Pathol.* 79(1):36-40.
61. XU, L.; NONOMURA, T.; SUZUKI, S.; KITAGAWA, Y.; TAJIMA, H.; OKADA, K.; KUSAKARI, S.; MATSUDA, Y.; TOYODA, H. 2006. Symptomatic evidence for differential root invasion by Fusarium crown and root rot pathogens between common tomato *Lycopersicon esculentum* and its varieties. *J. Phytopathol.* 154:577-586.
62. YADETA, K.A.; THOMMA, B.P. 2013. The xylem as battleground for plant hosts and vascular wilt pathogens. *Frontiers in Plant Science.* 4:97.

Recibido: Marzo 7 de 2017

Aceptado: Octubre 23 de 2017

#### Cómo citar:

Vásquez-Ramírez, L.M.; Castaño-Zapata, J. 2017. Manejo integrado de la marchitez vascular del tomate [*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) W.C. Snyder & H.N. Hansen]: una revisión. *Rev. U.D.C.A Act & Div. Cient.* 20(2): 363-374.

# COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDAD APARENTE DE *Thitonia diversifolia* Y *Cratylia argentea* EN CACHAMA BLANCA Y EFECTOS SOBRE LAS VELLOSIDADES INTESTINALES

## APPARENT DIGESTIBILITY COEFFICIENTS OF *Thitonia diversifolia* AND *Cratylia argentea* BY CACHAMA BLANCA AND ITS EFFECTS ON INTESTINAL VILLI

Luis Fernando Puerta Rico<sup>1</sup>, José Jaime García González<sup>2</sup>, Jaime Eduardo Parra Suescún<sup>3</sup>,  
Sandra Clemencia Pardo Carrasco<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Zootecnista, M.Sc. Circular 2 # 66b-122, Interior 701, Medellín, Colombia, e-mail: lfpuertar@unal.edu.co; <sup>2</sup> Ingeniero Acuícola, M.Sc. Calle 38 sur # 47a-23, Envigado, e-mail: jjgarcia@unal.edu.co; <sup>3</sup> Zootecnista, Ph.D. Calle 59 A # 63-20, Bloque 50 oficina 315, Medellín, Colombia, e-mail: jeparrasu@unal.edu.co; <sup>4</sup> Médico Veterinario y Zootecnista, Ph.D, Grupo de Investigación BIOGEM, Laboratorio de Modelación Animal –LAMA-, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Calle 59 A #63-20, Bloque 50 oficina 309, Medellín, Colombia, e-mail: scpardoc@unal.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 375-383, Julio-Diciembre 2017

### RESUMEN

En atención a identificar nuevas materias primas fuentes de proteína que no compitan con la alimentación humana, se determinaron los coeficientes de digestibilidad aparente de la proteína (CDA-P), materia seca (CDA-MS) y energía (CDA-E), de botón de oro *Tithonia diversifolia* y cratylia *Cratylia argentea*, en *Piaractus brachypomus* y los efectos sobre las vellosidades intestinales. Para estimar estos coeficientes, se utilizó el método indirecto con marcador, colectando heces. Se utilizaron 120 cachamas (peso promedio 210g), alimentadas con dieta referencia semipurificada (DRS) 69,5%, 0,5% de marcador inerte y la materia prima en 30% de inclusión. Las heces, se recolectaron 10h después de haber suministrado el alimento en los tanques, cada hora, durante 12h. Para medir las vellosidades del intestino anterior, se tomaron muestras en tres tiempos de consumo de las dietas: 0 (Día 0), 5 (Día 5) y 10 días (Día 10). Los CDA-P fueron 69,42%, para botón de oro y 44,84%, para cratylia, con diferencia estadística. En cuanto a CDA-E, botón de oro fue 67,37% superior y, estadísticamente, diferente a cratylia 34,27%. Las materias primas causaron denudación en las vellosidades durante los primeros 5 días de consumo; sin embargo, a los 10 días, las vellosidades comenzaron a recuperar su altura, lo que demostró la capacidad de adaptación de la cachama blanca a dietas, con materias primas evaluadas.

Palabras clave: Alimentación y nutrición, materias primas alternativas, *Piaractus brachypomus*.

### SUMMARY

In order to identify new sources of raw protein materials and not compete with human food, was the apparent digestibility coefficients of protein (CDA-P), dry matter (CDA-MS) and energy (CDA-E) of mexican sunflower (BO) *Tithonia diversifolia* and Cratylia (CR) *Cratylia argentea*, for cachama blanca *Piaractus brachypomus* and their effects on intestinal villi were determined. To estimate these coefficients, the indirect method with marker, feces collecting were employed. A hundred and twenty white cachamas (average weight 210g), fed on a diet reference semipurified (DRS) 69.5%, 0.5% inert trace marker ingredient and raw material were evaluated at a level of 30% inclusion. Feces were collected after 10 hours of food supply each hour during 12 hours. To measure the villi, intestine samples were taken at three times of diet consumption: 0, 5 and 10 days. The CDA-P were: 69.42% for Mexican sunflower and 44.84% for cratylia, being statistically different. As for CDA E, Mexican sunflower 67.37% were higher and statistically different than cratylia 34.27%. Although digestibility values obtained for these raw materials were lower than those reported for raw materials most commonly used in fish feed, the Mexican sunflower approaches to soybean cake. Raw materials caused denudation in the villi during the first few days, however after 10 days the villi started to recuperate its high, showing an adaption of *P. brachypomus* to the evaluated ingredients.

Key words: Feed and nutrition, Alternative raw materials, *Piaractus brachypomus*.

## INTRODUCCIÓN

La producción piscícola en Colombia está soportada por tilapias (*Oreochromis* sp.), trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) y cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), las cuales, representan el 96% de la producción nacional total (Cruz-Casallas *et al.* 2011). De estas tres especies, solo la cachama blanca es originaria del país y se cultiva, gracias a su excelente adaptación a la cría en estanques, su rusticidad, buena conversión alimenticia, resistencia a enfermedades y hábitos alimenticios omnívoros (Vásquez, 2004). El crecimiento de la piscicultura en Colombia ha sido sostenido, pasando de 68.300t, en 2006-2008, a 90.400t, en 2012-2014 (FAO, 2017).

Con el crecimiento de la actividad en el país, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural ha generado estrategias para hacerla más competitiva en un mercado globalizado; es por esto que, de acuerdo con MADR & IICA (2012), a través de la Agenda Nacional de Investigación en Pesca y Acuicultura, se identificaron los principales elementos que requieren atención en la búsqueda de una mayor competitividad. Se reconoce en la agenda, que el insumo más importante es el alimento balanceado, que se encuentra siempre con tendencia al alza de precios y no siempre con las especificaciones técnicas y nutricionales requeridas; por ejemplo, no hay dietas especializadas y para cachama blanca, se utiliza la misma que para tilapias.

Una de las razones del incremento de precio en los alimentos balanceados es la escasez de harina de pescado, como fuente proteica, por consiguiente, la industria acuícola en el mundo está buscando reemplazarla con ingredientes vegetales, como la soya y sus derivados y facilitar así el crecimiento de la industria (Fry *et al.* 2016). En concordancia con esta situación, una de las demandas tecnológicas definidas en la Agenda Nacional de Investigación en Pesca y Acuicultura (MADR & IICA, 2012) es adquirir conocimiento acerca de la digestibilidad de materias primas alternativas, para la formulación de nuevas dietas comerciales.

En ese sentido, este estudio buscó probar materias primas no tradicionales en la elaboración de alimentos balanceados para peces y que, adicionalmente, no compitan con la alimentación humana. Asimismo, se buscó identificar el efecto de las materias primas sobre la unidad funcional de absorción del intestino, la vellosidad.

El tracto gastrointestinal es el encargado de procesar y de digerir el alimento para degradarlo en formas que puedan ser absorbidas y asimiladas; por lo tanto, es importante estudiar

su histología, con el objetivo de establecer su integridad y entender el efecto de los alimentos sobre su estructura (Sweetman *et al.* 2008).

Consecuentemente, es correcto pensar que los análisis de digestibilidad de las materias primas deben ser acompañados de estudios de integridad intestinal. Elementos, como la longitud de la vellosidad, pueden ser utilizados como indicador del efecto del alimento sobre la integridad del tracto gastrointestinal.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** El experimento, se llevó a cabo en el Laboratorio Experimental de Alimentación y Nutrición de Peces del Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos (IALL), ubicado en el kilómetro 4 vía Puerto López, en la vereda Barcelona, de la ciudad de Villavicencio, en el departamento del Meta (Colombia), a 418msnm. La temperatura promedio anual es de 25°C, la precipitación de 4.050mm/año y la humedad relativa de 75%. La región está clasificada como bosque pluvial tropical, según las zonas de vida de Holdridge.

**Dietas experimentales.** Las dietas utilizadas en este experimento, para determinar el coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) de cada materia prima, se elaboraron con base en una dieta referencia semipurificada (DRS) (Tabla 1), propuesta por Vásquez-Torres *et al.* (2002) y mezclada en una relación de 69,5%, de DRS, 30%, de una materia prima y 0,5%, de marcador. Las materias primas estudiadas fueron botón de oro *Thitonia diversifolia* (BO) y cratylia *Cratylia argentea* (CR). Como marcador inerte, se utilizó óxido de cromo (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), como se aprecia en la tabla 1.

Para proceder a la elaboración de las dietas, se colectaron hojas verdes sin tallos de cada materia prima y la cosecha de las hojas, se hizo teniendo en cuenta el intervalo de corte recomendado, para obtener el mejor contenido nutricional. La cratylia fue cortada a los 60 días del último corte (Rincón *et al.* 2007) y el botón de oro, a los 50 (Mahecha & Rosales, 2005). Las materias primas, se sometieron a un proceso de secado natural al sol, se molieron a un tamaño de partícula entre 0,3 y 0,4mm y se enviaron al Laboratorio de Análisis Químico y Bromatológico de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, para realizar el análisis proximal (materia seca, proteína bruta, extracto etéreo, fibra bruta, ceniza e energía bruta) (AOAC, 2012), que se presenta en la tabla 2.

Las dietas experimentales pasaron por un proceso de extrusión, secadas al horno por 12h, a 60°C y luego, almacenadas a 4°C, hasta su distribución. Las muestras que se tomaron de las materias primas, dieta referencia y dietas

Tabla 1. Composición de la dieta referencia semipurificada (DRS)<sup>1</sup> utilizada en la determinación de coeficientes de digestibilidad aparente, en cachama blanca *Piaractus brachypomus*<sup>2</sup>.

Ingredientes	g/100g dieta
Caseína	33,3
Gelatina	3,4
Dextrina	40
Alfa-celulosa	14,1
Aceite de pescado	2,4
Aceite vegetal	2,4
Premezcla vitaminas	0,2
Premezcla microminerales	0,1
Premezcla macrominerales	4
Vitamina C	0,1

<sup>1</sup> Composición analizada de la DRS: MS 93%; PB 86,42%; lípidos 2,29%, cenizas 3,66% <sup>2</sup> Composición analizada: MS 91%; PB 94,02%. <sup>3</sup> Rovimix Vitaminas Lab. Roche S.A: Vit A 8.0\*106UI, Vit D3, 1.8\*106UI, Vit E 66,66g, Vit B1 6,66 g, Vit B2 13,33g, Vit B6 6,66g, Pantotenato de Ca 33,33g, Biotina 533,3mg, Ac. Fólico 2,66g, Ac. Ascórbico 400g, Ac. Nicotínico 100g, Vit B12 20mg, Vit K3 6,66g, vehículo csp 1,0kg. <sup>4</sup> Premix microminerales Lab. Roche S.A.: Composición por 100g: Mg1,0, Zn 16,0, Fe 4,0, Cu 1,0, I 0,5, Se 0,05, Co 0,01. <sup>5</sup> Composición por 100g de mezcla: Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) 13,6g; Lactato de Ca 34,85g; 2MgSO<sub>4</sub>.7 H<sub>2</sub>O, 13,2g; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 24g; NaCl 4,5g; AlCl<sub>3</sub> 0,015g, CMC 9,835g. <sup>6</sup> Rovimix Stay-C35, DSM. <sup>2</sup> Vázquez *et al.* (2002).

Tabla 2. Análisis proximal de harinas de hojas de botón de oro *Thitonia diversifolia* y cratylia *Cratylia argentea*.

Materia prima/ nutrientes <sup>1</sup>	MS%	PB %	EE%	FDN %	FDA %	CZ %	EB Kcal/kg MS
Botón de oro (BO) (50 días de corte)	96,6	23,1	2,2	27,7	25,3	16,9	3907,2
Cratylia (CR) (60 días de corte)	99	16,5	2,1	46,4	38,1	5,8	4692,2

<sup>1</sup> PB % Porcentaje de proteína bruta, EE% Porcentaje de extracto etéreo, FDA% Fibra en detergente ácido, FDN% Fibra en detergente neutro tratado con amilasa, CZ% porcentaje de cenizas, EB Kcal/kilo MS Energía bruta en kilocalorías por kilo de materia seca.

experimentales, fueron almacenadas en bolsas selladas, hasta el momento de su análisis proximal (Tabla 3).

Se utilizaron 120 juveniles de cachama blanca, con un peso promedio inicial de 210±10g, obtenidos de los estanques de levante del Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos, lugar en el que se suministró un alimento comercial para peces, del 32% de proteína bruta. Las cachamas, se distribuyeron en dos lotes homogéneos de 60 unidades y se depositaron en dos piletas circulares, cada una con capacidad de 3.500L, las cuales, a su vez, sirvieron como sitio de adaptación para los peces. Mientras los peces permanecieron en

estas piletas, se alimentaron con la dieta referencia semipurificada (DRS) durante cinco días; a partir del sexto día, a cada pileta se asignó una de las dietas experimentales: DBO (botón de oro) y DCR (cratylia) y se abasteció a los peces, de cada pileta, la dieta asignada, hasta saciedad aparente, dos veces al día (9:00 y 15:00 horas), durante 15 días. Luego de la última alimentación en el día 15, de cada tratamiento, se seleccionaron 21 peces, que fueron distribuidos en tres tanques cónicos de 200L, para determinar la digestibilidad, con sistema Guelph modificado. Los tanques cónicos, en los que fueron depositados los peces, contaban con un sistema de recirculación, compuesto por dos filtros mecánicos y

Tabla 3. Composición proximal de la dieta referencia semipurificada y de las dietas experimentales con botón de oro *Thytonia diversifolia* y *Cratylia argentea*, en cachama blanca *Piaractus brachyomus*.

Dietas/ nutrientes <sup>1</sup>	MS%	PB%	EE%	CZ%	EB Kcal/kg
Referencia (DRS)	95,4	32,8	7,9	4,0	4632,9
Botón de oro (DBO)	97,8	29,2	8,2	7,8	4492,2
Cratylia (DCR)	98,4	27,4	8,6	4,6	5008,3

<sup>1</sup>PB% Porcentaje de proteína bruta, EE% Porcentaje de extracto etéreo, CZ% porcentaje de cenizas, EB Kcal/kg MS Energía bruta en kilocalorías por kg de materia seca.

cuatro biofiltros ubicados en serie, lo que permitió mantener un flujo constante de 1L/min/tanque y una calidad del agua, apropiada para la especie. En estos tanques cónicos no se suministró alimento, los peces permanecieron allí por 22 horas, solamente para recolección de heces, destinadas al análisis de la digestibilidad de las dietas. El oxígeno disuelto, se mantuvo en 7,9mg/L, gracias a una permanente aireación. Otras características del agua fueron temperatura 25°C; pH 7,1; dureza de 40mg/L; alcalinidad de 70mg/L y nitritos, nitratos y amonio, por debajo de 0,02mg/L.

Luego de 10h de permanecer los peces en los tanques cónicos, tiempo en el cual el alimento ha recorrido el tracto gastrointestinal, de acuerdo con Vásquez-Torres *et al.* (2002), se comenzó a recolectar heces, con intervalos de 1h, durante 12h. En cada recolección, se retiró el exceso de agua de las heces y de inmediato se llevaron a estufa, a una temperatura de 60°C, por 24h. Una vez las muestras estuvieron secas, se pulverizaron y se congelaron para, posteriormente, realizar los análisis de laboratorio.

La determinación de la proteína, se llevó a cabo con el método de Kjeldah (1883). El valor energético de las materias primas fue medido en una bomba calorimétrica (AOAC, 2012) y para medir la concentración de óxido de cromo, se utilizó el método de digestión ácida, propuesto por Furukawa & Tsukahara (1966).

Para la determinación de los coeficientes de digestibilidad aparente, se aplicó el método indirecto, propuesto por Cho *et al.* (1985). En la determinación del coeficiente de digestibilidad aparente de la proteína y de la energía de todas las dietas se calcularon utilizando la ecuación de Nose (1966):

$$CDANut(\%) = 100 - [100 \times (\%Cr_2O_3h / \%Cr_2O_3d) \times (\%Nuth / \%Nutm)]$$

Donde:

CDANut = Coeficiente de digestibilidad aparente del nutriente

%Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>d = Porcentaje de óxido de cromo de la dieta.

%Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>h = Porcentaje de óxido de cromo en las heces

% Nutd = Porcentaje de nutriente en la dieta

% Nuth = Porcentaje de nutriente en las heces

La digestibilidad total de cada materia prima, se estableció por el método de la diferencia, teniendo en cuenta la ecuación descrita por Bureau & Hua (2006):

$$CDAmP = CDANutde + [CDANutde - CDANutds * (X * Dds / Y * Ding)]$$

Donde:

CDAmP = Coeficiente de digestibilidad de la materia prima

CDANutde = Coeficiente de digestibilidad aparente del nutriente dentro de la dieta experimental

CDANutds = Coeficiente de digestibilidad aparente dentro de la dieta semipurificada

Dds = Porcentaje del ingrediente dentro de la dieta semipurificada

Ding = Porcentaje del nutriente en la materia prima evaluada

X = Proporción de la dieta semi purificada (69.5%);

Y = Proporción de la materia prima (30%).

**Análisis morfométrico intestinal.** Para determinar el efecto del consumo de las dietas sobre la morfología de las vellosidades intestinales, se realizó eutanasia humanitaria a seis peces de cada tratamiento, durante los tres días de medición, definidos por los días que llevaban consumiendo la dieta:

**Día 0.** Tiempo inicial, en el cual, se distribuyeron los peces en las dos piletas. Estos seis peces representaron el grupo de referencia para verificar el estado general de salud y la evaluación macroscópica del estado de los órganos de los animales, antes de suministrar las dietas experimentales. **Día 5 y 10.** Después de cinco y diez días de estar consumiendo las dietas con las materias primas, respectivamente.

Para la obtención de las diferentes muestras de intestino, los peces fueron previamente anestesiados con aceite de clavo, a razón de 60mg/L, hasta que se observó una pérdida horizontal del eje de nado; se pesaron, se midieron y se procedió a la obtención del intestino. El abordaje a la



cavidad celómica, se realizó mediante un corte parabólico ascendente para exponer el tracto gastrointestinal. Se retiró todo el paquete de vísceras y se tomó cuidadosamente el tracto gastrointestinal por completo; se separó el intestino y se inyectó formaldehído buferado al 4%, para fijación. Se efectuó una inmersión en bloques de parafina y cortes de 3µm en micrótopo; a los cortes, se les realizó tinción con hematoxilina-eosina (H-E). Posteriormente, se realizó la toma de material fotográfico del intestino anterior, con microscopio 10x9 de luz Nikon Eclipse E600; cámara Nikon Cam DMX 1200 y el uso del programa de captura y manejo de imágenes (ACT-1®). La longitud de las vellosidades intestinales, se midió desde la base de la vellosidad hasta el ápice, que se encuentra hacia el lumen del órgano, tomando, en promedio, diez vellosidades por campo de microscopio.

**Diseño y análisis estadístico.** Para el caso del análisis de los coeficientes de digestibilidad de las materias primas, se utilizó un modelo lineal general (GLM) completamente al azar, en donde solo había un factor a probar. Se eligió un nivel de significancia del 5%; en los casos en que se hallaron diferencias estadísticas significativas, se llevaron a cabo las correspondientes pruebas de Tukey. Para el análisis del efecto sobre la altura de las vellosidades intestinales, se consideró una estructura factorial (Steel & Torrie, 1997), donde los factores en cuestión fueron materia prima (botón de oro y cratylia) y tiempo de consumo de la dieta con la materia prima (días 0, 5 y 10); cada tratamiento tuvo tres repeticiones. Se usó el software SAS® 9.1 y se verificó el cumplimiento del supuesto de normalidad de los errores.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los peces que consumieron las dietas experimentales no presentaron signo alguno de enfermedad que causara su retiro o sacrificio inmediato. Además, el suministro de las dietas a saciedad aparente, no generó sobrantes.

El coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) es una forma de medir indirectamente la absorción de un nutriente, debido a que no es suficiente que los nutrientes se encuentren en altos porcentajes, sino que, además, deben ser digeribles y aprovechados por el pez (Manríquez, 1994). Los diferentes métodos usados para su determinación (dissección, extrusión, Guelph & Guelph modificado) pueden ser usados, siempre y cuando, se apliquen con rigurosidad (Abimorad & Carneiro, 2004).

A mayor CDA mejor será el aprovechamiento del nutriente de la materia prima por parte del organismo en cuestión. Los CDA para materia seca (CDA-MS), proteína bruta (CDA-PB) y energía digestible (CDA-ED) para cada materia prima, se presentan en la tabla 4.

Los CDA del botón de oro en cachama blanca permiten comparar esta materia prima con otras de uso tradicional. Cuando se compara con los CDA para maíz, soya y trigo, reportados por Vásquez *et al.* (2013), para la misma especie, se observa en el botón de oro mayor CDA que el maíz y alrededor de los del trigo y soya (Tabla 5). Cuando se compara la digestibilidad del botón de oro con la harina de pescado, esta última es mejor, lo que podría sugerir que el botón de oro, como fuente proteica, estaría más cerca de la soya que de la harina de pescado y pudiese ser considerada como una fuente alternativa. En general, los CDA para botón de oro del presente estudio difieren de los reportados por Ortiz-González *et al.* (2014) (Tabla 5). Aunque, los análisis de digestibilidad fueron realizados en el IALL, bajo la misma metodología y usando los mismos equipos, tanto humanos como técnicos, las diferencias pueden estar asociadas a la calidad de la materia prima; Ortiz-González *et al.* (2014) no mencionan la edad de corte de las hojas, ni reportan los porcentajes y los componentes de la fibra en los análisis proximales de las materias primas. Para el caso específico de botón de oro, en el presente estudio, la cantidad de fibra en detergente neutro

Tabla 4. Coeficientes de digestibilidad de materia seca, proteína y energía para el botón de oro *Thytonia diversifolia* y cratylia *Cratylia argentea*, en cachama blanca *Piaractus brachypomus*.

Dietas/ Coeficiente de digestibilidad aparente (CDA)	CDA-Materia Seca (%)	CDA-Proteína Bruta (%)	Proteína Digestível (%)	CDA-ED (%)	Energía Digestible (kcal/kg)
Referencia (DRS)	79,92	95,37	---	81,47	----
Botón de oro (DBO)	67,37 <sup>a</sup>	69,42 <sup>a</sup>	16	67,37 <sup>a</sup>	2632,4
Cratylia (DCR)	16,03 <sup>b</sup>	44,84 <sup>b</sup>	7,4	34,26 <sup>b</sup>	1608
EEM	1,31	1,74	----	1,01	---

<sup>a</sup>Promedios ± DS con diferente letra en la misma columna son diferentes estadísticamente por prueba de Tukey (P<0,001). EEM: Error estándar de la media.

(FDN) y de fibra en detergente ácido (FDA) (Tabla 2) indican niveles bajo-medios de fibra, en comparación con los niveles de Cratylia, representados, principalmente, por menores niveles de celulosa y de lignina (FDA). Esta condición, de bajo contenido de fibra en la materia prima, pudo ser la responsable de una mayor digestibilidad.

Por otro lado, la cratylia presentó bajos CDA y la cantidad de fibra fue muy alta: FDN y FDA (Tabla 2), lo cual, podría explicar la baja digestibilidad. Adicionalmente, en el presente estudio, se consideró un tiempo de adaptación a las dietas con la materia prima de 15 días, mientras que en el estudio de Ortiz-González *et al.* (2014) fue de 7 días, disminuyendo

Tabla 5. Comparación de los coeficientes de digestibilidad aparente de materia seca (CDA-MS), proteína bruta (CDA-PB) y energía digestible (CDA-ED), de materias primas tradicionales y no tradicionales, para cachama blanca *Piaractus brachyomus*, obtenidos por varios investigadores.

Materias primas CDA (%)	Maíz americano	Torta de soya	Harina de Trigo duro	Harina de pescado	Botón de oro	Cratylia
CDA-MS	59,9 <sup>a</sup>	62,5 <sup>a</sup>	53,5 <sup>a</sup>	76,2 <sup>a</sup>	35,57 <sup>b</sup>	5,42 <sup>b</sup>
CDA-PB	69,0 <sup>a</sup>	92,1 <sup>a</sup>	86,4 <sup>a</sup>	85,0 <sup>a</sup>	35,73 <sup>b</sup>	29,71 <sup>b</sup>
CDA-ED	57,6 <sup>a</sup>	79,3 <sup>a</sup>	67,1 <sup>a</sup>	84,0 <sup>a</sup>	37,56 <sup>b</sup>	12,66 <sup>b</sup>
CDA-MS					67,37 <sup>c</sup>	16,03 <sup>c</sup>
CDA-PB					69,42 <sup>c</sup>	44,84 <sup>c</sup>
CDA-ED					67,37 <sup>c</sup>	34,26 <sup>c</sup>

<sup>a</sup>Vásquez *et al.* (2013), <sup>b</sup>Ortiz-González *et al.* (2014), <sup>c</sup>Presente estudio.

el efecto abrasivo de este componente antinutricional. Estas diferencias en CDA, con la misma materia prima, permiten sugerir que la metodología de análisis debe incluir una completa descripción del estado de corte de la planta, así como un análisis proximal, que contemple la descomposición y la determinación de los componentes fibrosos. De otra parte, los tiempos de consumo de la dieta, se debieran considerar, por lo que eventos fisiológicos de adaptación a las materias primas podrían suceder y esto mejoraría la digestibilidad.

En un cultivo experimental de cachama blanca (peso inicial de 267g, 59 días de cultivo, densidad de 0,8 peces/m<sup>2</sup>), Contreras Castro & Canchila Asencio (2012) encontraron ganancias de peso y conversiones alimenticias estadísticamente diferentes, cuando compararon un alimento balanceado comercial, del 24% de proteína bruta (6,08/día y conversión de 1,14), frente a ese mismo, con un reemplazo del 15%, con botón de oro (4,85g/día y conversión de 1,58). Esos resultados permiten presumir que, a pesar de los CDA encontrados en el presente estudio, el botón de oro requiere mayores estudios antes de recomendar su uso en la dieta de cachama blanca. El presente estudio no tuvo etapa de cultivo con dietas convencionales e inclusión de las materias primas, apenas se llegó hasta la determinación de los CDA, con dietas de referencia semipurificadas; en consecuencia, es necesario una posterior investigación, para observar dichos efectos productivos.

En cuanto a la altura de las vellosidades del intestino anterior, no se observaron interacciones entre las materias primas y los días de consumo; entonces, se analizaron los efectos principales por separado y se encontró un efecto significativo estadísticamente, del factor tiempo ( $P=0,008$ ), sobre la altura de las vellosidades (Tabla 6). Las vellosidades del intestino anterior, luego de cinco días de consumo de las dietas con las materias primas, sufrieron un proceso de denudación y para el día 10, aumentaron nuevamente de tamaño; la recuperación es total con botón de oro, mientras que con cratylia se recupera, pero no alcanza la longitud inicial (Tabla 6). El cambio en el tamaño de las vellosidades a los cinco y diez días de consumo podría estar relacionado al proceso de adaptación del intestino a las materias primas, de acuerdo a lo reportado por Franco & Quintero (2013); sin embargo, no se encontraron estudios en cachama blanca que hayan sido alimentadas con botón de oro o cratylia y determinado, simultáneamente, el desarrollo de las vellosidades intestinales. Franco & Beltrán (2012) alimentaron cachamas blancas con una dieta que tenía 15% de morera *Morus alba*, otra planta usada tradicionalmente en la producción del gusano de seda y ahora en la alimentación animal y registraron cambios morfométricos en el intestino anterior. Los peces alimentados con morera presentaron vellosidades con  $533,1 \pm 126,9 \mu\text{m}$ , mientras que aquellos que no consumieron la planta, las tuvieron de  $602,6 \pm 128,7 \mu\text{m}$  ( $P < 0,05$ ). Posteriormente, Franco & Quintero (2013) procedieron con otro experimento, donde

umentaron a 20% la inclusión de morera y lo compararon con una dieta testigo. En este caso, las vellosidades del intestino anterior fueron de  $765 \pm 156 \mu\text{m}$ , en los peces que consumieron morera, mientras que para los que consumieron el alimento balanceado fueron de  $952 \pm 139 \mu\text{m}$  ( $P < 0,05$ ). Lo anterior denota un efecto abrasivo de los componentes antinutricionales de la morera sobre la vellosidad. De la misma forma, para el caso de botón de oro y cratylia, en el presente estudio, se observa una pérdida de altura de la vellosidad. De hecho, los resultados obtenidos por Franco & Quintero (2013) muestran que el uso de materias primas alternativas, con una cantidad apreciable de fibra, generan cambios en la morfología del intestino, con efectos sobre la velocidad de tránsito del bolo alimenticio por el tracto gastrointestinal, con efectos, tanto en la absorción de nutrientes como en la morfología del intestino.

De acuerdo con Sweetman *et al.* (2008), una gran superficie en el tracto gastrointestinal es necesaria para una óptima absorción de nutrientes y es una importante barrera contra patógenos y si esta capa de células epiteliales está afectada, se alteran sus funciones digestivas e inmunológicas. Si se busca la relación entre los coeficientes de digestibilidad aparente de las materias primas estudiadas y sus efectos sobre la vellosidad intestinal, se puede decir que, independiente de la materia prima, hay un efecto sobre la integridad de la vellosidad.

Para el caso del botón de oro, con CDA superiores y diferentes estadísticamente a los de cratylia, se observó una recuperación de la vellosidad al día 10 de consumo, no así para la cratylia, lo que pudiese ser correlacionado con la baja digestibilidad y los altos contenidos de fibra de la cratylia.

Tabla 6. Efecto de la inclusión de botón de oro *Thitonia diversifolia* y cratylia *Cratylia argentea* en la dieta de referencia semipurificada y los días de consumo de la dieta, sobre la altura ( $\mu\text{m}$ ) de las vellosidades del intestino anterior, en cachama blanca *Piaractus brachypomus*.

Dieta	Tiempo 0	Tiempo 1	Tiempo 2	EEM
Botón de oro	637,2 <sup>ax</sup>	373,7 <sup>bx</sup>	674,3 <sup>acx</sup>	11,30
Cratylia	637,2 <sup>ax</sup>	497,5 <sup>by</sup>	559,2 <sup>cy</sup>	

<sup>a,b,c</sup> Dentro de una misma fila, medias con diferente letra son estadísticamente diferentes ( $P < 0,001$ ). <sup>x,y</sup> Dentro de una misma columna, medias con la misma letra no difieren estadísticamente ( $P < 0,001$ ). EEM: Error estándar de la media.

De acuerdo con Fabregat *et al.* (2011), algunos ingredientes fibrosos pueden afectar negativamente las características del epitelio intestinal de juveniles de *Piaractus mesopotamicus*; sin embargo, se sugiere que para establecer la relación entre CDA y arquitectura intestinal, se realicen estudios sobre las células que conforman las vellosidades y mediciones de las criptas, en las mismas.

Los resultados nos permiten concluir que el botón de oro, con una adecuada edad de corte, puede llegar a ser incluido en las dietas para cachama blanca, debido a sus altos valores de CDA. La cachama blanca es un pez con una gran capacidad de adaptarse a numerosas ofertas alimenticias en el medio ambiente, gracias a la capacidad de los peces de modular y adaptar su tracto gastrointestinal a las condiciones a las que sean expuestas. Este trabajo permite recomendar que los estudios de digestibilidad sean acompañados con estudios de integridad intestinal.

**Agradecimientos y financiación.** Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Colombia, por la financiación al proyecto código 21485. 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. El estudio contó con el Aval del Comité de Ética de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín CEMED-018, del 10 de marzo del 2014.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ABIMORAD, E.G.; CARNEIRO, D.J. 2004. Métodos de Coleta de Fezes e Determinação dos Coeficientes de Digestibilidade da Fração Protéica e da Energia de Alimentos para o Pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). R. Bras. Zootec. 33 (5):1101-1109.
2. AOAC. 2012. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. Arlington. 19th edition. Arlington, Virginia (USA) 684p.
3. BUREAU, D.P.; HUA, K. 2006. Letter to the editor of aquaculture. Aquaculture. 252:103-105.

4. CONTRERAS CASTRO, J.H.; CANCHILA ASECIO, E.R. 2012. Evaluación del rendimiento técnico en cachama blanca *Piaractus brachypomus* al sustituir morera *Morus alba* y falso girasol *Tithonia diversifolia* en el alimento balanceado de ceba. *Citecsa*. 2(3):1-12.
5. CHO, C.Y.; COWEY, C.B.; WATANABE, T. 1985. *Finfish nutrition in Asia: Methodological approaches to research and development*. Ottawa, Ont., IDRC. 154p.
6. CRUZ-CASALLAS, P.E.; MEDINA-ROBLES, V.M.; VELASCO-SANTAMARÍA, Y.M. 2011. Fish farming of native species in Colombia: current situation and perspectives. *Aquaculture Res.* 42(6):823-831.
7. FABREGAT, T.E.H.P.; RODRIGUES, L.A.; TORRES DO NASCIMENTO, T.M.; URBINATI, E.C.; SAKOMURA, N.K.; FERNANDES, J.B.K. 2011. Fontes de fibra na alimentação do pacu: desempenho, composição corporal e morfometria intestinal. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 63(6):1533-1540.
8. FAO. 2017. Regional review on status and trends in aquaculture development in Latin America and the caribbean – 2015, por Carlos Wurmman G. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1135/3. Rome, Italy 36p.
9. FRANCO RODRÍGUEZ, J.E.; BELTRÁN AMARIS, L.M. 2012. Variaciones morfométricas a nivel de las vellosidades en intestino anterior y posterior en cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) con la inclusión de morera (*Morus alba*) al 15% en la etapa de ceba. *Citecsa*. 2(3):50-59.
10. FRANCO RODRÍGUEZ, J.E.; QUINTERO, P.R.N. 2013. Variaciones morfométricas a nivel de intestino anterior y posterior en cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) con base a la inclusión de morera (*Morus alba*) al 20% y ensilaje al 20% en ceba. *Citecsa*. 4(6):21-30.
11. FRY, J.P.; LOVE, D.C.; MACDONALD, G.K.; WEST, P.C.; ENGSTROM, P.M.; NACHMAN, K.E.; LAWRENCE, R.S. 2016. Environmental health impacts of feeding crops to farmed fish. *Envir. Intern.* 91:201-214.
12. FURUKAWA, A.; TSUKAHARA, H. 1966. Método de digestão ácida para determinação do óxido crômico usado como substância indicadora nos estudos de digestibilidade dos alimentos para peixes. *Bull. Jap. Soc. Scie. Fisheries.* 32(6):502-506.
13. KJELDAHL, J. 1883. A new method for the estimation of nitrogen in organic compounds. *Z. Anal. Chem.*, 22:366.
14. MADR & IICA. 2012. *Agenda nacional de investigación para la pesca y la acuicultura*. Bogotá, Colombia, 145p.
15. MAHECHA, L.; ROSALES, M. 2005. Valor nutricional del follaje de botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, en la producción animal en el trópico. *Livestock Res. for Rural Devel.* 17, Article #100. 10p.
16. MANRÍQUEZ H., J.A. 1994. La digestibilidad como criterio de evaluación de alimentos - Su aplicación en peces y en la conservación del medio ambiente. En: *Control de calidad de insumos y dietas acuícolas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO Italia. 7p.
17. NOSE, T. 1966. Recent advances in the study of fish digestion in Japan. *Symposium on feeding trout and salmon culture*, II, 17.
18. ORTIZ-GONZÁLEZ, A.R.; MORALES-LUNA, K.A.; VÁSQUEZ-TORRES, W.; GUTIÉRREZ-ESPINOSA, M.C. 2014. Digestibilidad aparente de *Tithonia diversifolia*, *Gliricidia sepium* y *Cratylia argentea* en juveniles de *Piaractus brachypomus*, Cuvier 1818. *Orinoquia*. 18(2):214-219.
19. RINCÓN, C.A.; PARDO, B.O.; PARRA, A.J.L.; CERINZA, O.J.; PINZÓN, S.M.; CORREAL, W.A.; ROJAS, B.A. 2007. Establecimiento, manejo y uso de la leguminosa arbustiva forrajera *Cratylia argentea* cv veranera en el piedemonte llanero. CORPOICA C.I. La Libertad Manual Técnico No.13, Villavicencio Meta. 24p.
20. STEEL, R.G.; TORRIE J.H. 1997. *Principles and procedures of statistics: a biometrical approach*. Third edition. McGraw-Hill, New York. 672p.
21. SWEETMAN, J.; DIMITROGLOU, A.; DAVIES, S.; TORRECILLAS, S. 2008. Nutrient uptake, gut morphology a key to efficient nutrition. *International Aquafeed*. 1:26-30.
22. VÁSQUEZ-TORRES, W.; PEREIRA FILHO, M.; ARIAS-CASTELLANOS, J.A. 2002. Estudos para composição de una dieta referência semipurificada para avaliação de exigências nutricionais em juvenis de pirapitinga, *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818). *Rev. Bras. Zootec.* 31:283-292.

23. VÁSQUEZ, W. 2004. Principios de nutrición aplicada al cultivo de peces. Universidad de los Llanos, Villavicencio. 78p. de origen vegetal y animal en la cachama. Pesquisa Agrop. Brasileira. 48(8):920-927.
24. VÁSQUEZ, W.; YOSSA, M.I.; GUTIÉRREZ-ESPINOSA, M.C. 2013. Digestibilidad aparente de ingredientes Recibido: Agosto 29 de 2016  
Aceptado: Agosto 2 de 2017

Cómo citar:

Puerta Rico, L.F.; García González, J.J.;2, Parra Suescún, J.E.; Pardo Carrasco, S.C. 2017. Coeficientes de digestibilidad aparente de *Thitonia diversifolia* y *Cratylia argentea* en cachama blanca y efectos sobre las vellosidades intestinales. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 375-383.



# DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE CRECIMIENTO EN OVINOS CRIOLLOS DE PELO, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL MODELO GOMPERTZ, EN EL TRÓPICO BAJO COLOMBIANO

## GROWTH CURVE DETERMINATION FOR CREOLE HAIR SHEEP USING THE GOMPERTZ MODEL IN THE LOW COLOMBIAN TROPIC

Oscar Vergara Garay<sup>1</sup>, Hernán Medina Ríos<sup>2</sup>, César Robles Sierra<sup>3</sup>, Juan Simanca Sotelo<sup>4</sup>, Moris Bustamante Yanez<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Zoot, Dr. Sc. Grupo de Investigación en Producción Animal Tropical, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad de Córdoba. Montería, Colombia, e-mail: overgara@correo.unicordoba.edu.co; <sup>2</sup> MVZ, Grupo de Investigación en Producción Animal Tropical, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad de Córdoba, Montería, Colombia, e-mail: hernanmedinarios@gmail.com; <sup>3</sup> MVZ, Grupo de Investigación en Producción Animal Tropical, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad de Córdoba, Montería, Colombia, e-mail: cars\_mvz@hotmail.com; <sup>4</sup> MVZ, M.Sc. Maestría en Ciencias Veterinarias del Trópico, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad de Córdoba, Montería, Colombia, e-mail: j.c.simanca@hotmail.com; <sup>5</sup> MVZ, M.Sc. Maestría en Ciencias Veterinarias del Trópico, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad de Córdoba, Montería, Colombia, e-mail: morisbustamante@correo.unicordoba.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 385-391, Julio Diciembre, 2017

### RESUMEN

En Colombia existe una diversidad de ovinos, denominados ovinos criollos, resultado del cruce de diferentes razas, desde la época de la colonización y que se adaptaron a diferentes regiones del país. En el caso particular de este estudio, se hace referencia a los ovinos criollos de pelo, que se acomodaron a las condiciones biogeográficas de la Costa Caribe colombiana. Estos animales, por su adaptabilidad, han tenido un importante papel en el desarrollo de la ovinocultura del país; sin embargo, es muy poca la información que se tiene, a nivel nacional, sobre las características crecimiento de la raza o especie. El objetivo del presente estudio fue determinar la curva de crecimiento de dos poblaciones de ovinos criollos del trópico bajo colombiano, a través del uso del modelo no lineal Gompertz. Se utilizaron 55 animales, con 13 pesajes cada uno, perteneciente a dos sistemas de producción del departamento de Córdoba, Colombia. Se realizó un ajuste del modelo, mediante el procedimiento NLIN de Statistical Analysis Software (SAS), para la estimación de los parámetros del modelo. Se estimó  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  y  $\beta_2$ , cuyos valores fueron  $25,97 \pm 9,3$ ,  $2,1 \pm 0,5$  y  $0,010 \pm 0,004$ , respectivamente. Los estimados de madurez a los 4 y 6 meses fueron de 55,8 y 70,6%, respectivamente, y la edad al 75 de madurez fue de 7,0 meses y al 95% de madurez, de 13,1 meses. El modelo de Gompertz permitió describir el crecimiento de ovinos criollos, en condiciones de pastoreo, en el trópico bajo.

Palabras clave: Criollos, madurez, pastoreo, trópico.

### SUMMARY

The Colombian Creole sheep has an important role in the development of sheep farming in the country, as this breed is distributed in most of the territory, being animals with significant features that make it widely used in farms with different productive purposes. To assess growth characteristics in animals have been used mathematical models, which describe the relationship between the age of the animal, its rate of growth and maturity. These models are equations that allow the construction of continuous curves of one biological variable according to another. This study aimed to determine the growth curve of two populations of crossbred sheep through the use of nonlinear Gompertz model. 55 animals with 13 measures of weight each were used, pertaining to two production systems of the department of Córdoba, Colombia. Estimates for  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  and  $\beta_2$  were  $25.97 \pm 9.3$ ,  $2.1 \pm 0.5$  and  $0.010 \pm 0.004$ , respectively. Estimates of maturity at 4 and 6 months were 55.8 and 70.6%, respectively; age 75% of maturity was of 7.0 months and at 95% of maturity was of 13.1 months. Gompertz model allowed describing the growth of creole sheep in conditions of grazing in the low tropics.

Key words: Creoles, grazing, maturity, tropics.

## INTRODUCCIÓN

En los sistemas de producción ganaderos, cuyo objetivo principal es la producción de alimentos para el consumo humano, interfieren muchos factores que interactúan entre sí, partiendo desde el productor primario hasta los canales de comercialización, para llegar al productor final (Lozano, 2014), donde las políticas gubernamentales y el desarrollo tecnológico local son fundamentales, para lograr el desarrollo productivo. A pesar que en Colombia la mayoría de los sistemas de producción ovina están en manos de pequeños productores, que tienen poco acceso a la tecnología, éstos juegan un papel preponderante en la economía familiar (Acero-Plazas, 2014). Estos sistemas de producción, se caracterizan por presentar prolificidad, de 1,0 a 1,2; peso al nacer, de 3,0 a 3,3kg y peso al destete, de 12,3 a 18,0kg (Martínez & Malagón, 2005; Martínez & Vásquez, 2005; Duque & Chamorro, 2011).

Partiendo de lo anterior, es ideal plantear programas de mejora genética, que cumplan con las necesidades del productor, mejorando los índices de parámetros productivos y reproductivos, para obtener un producto de mejor calidad y competir con mercados internacionales. Para mejorar la producción ovina a futuro en el país, se debe conocer y tener en cuenta tres aspectos fundamentales: eficiencia reproductiva, velocidad del crecimiento y la calidad de la canal, por lo tanto, el crecimiento de los animales reviste importancia al ser medido, a través de modelos matemáticos, que predican el desempeño de la evolución del peso vivo (Patiño & Van Cleef, 2010).

Estas funciones o modelos matemáticos permiten realizar evaluaciones sobre el nivel de producción en las empresas ganaderas, pudiendo clasificar, de forma sencilla, la productividad de una raza específica, para una zona determinada y, además, evalúan parámetros biológicamente importantes, dependiendo del modelo matemático utilizado (Agudelo *et al.* 2008). De igual manera, mediante las curvas de crecimiento, se pueden ver reflejadas la relación entre la edad del animal y el impulso propio del individuo, para crecer y desarrollarse en el medio donde se encuentran (Fitzhugh, 1976), por lo que su conocimiento es importante en el monitoreo de un hato, ya que ellas expresan gran cantidad de información inherentes al animal, durante toda su vida.

En este sentido, en Colombia es escasa la información de las características zootécnicas de importancia económica en los ovinos producidos bajo condiciones tropicales, sobre todo los ovinos de pelo, por lo que se propuso, como objetivo de este estudio, determinar la curva de crecimiento en ovinos criollos de pelo, en condiciones de pastoreo, en dos poblaciones ovinas, del departamento de Córdoba.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** Para la realización de este trabajo, se utilizaron las bases de datos de dos sistemas productivos del Departamento de Córdoba, ubicados en los municipios de Montería (Finca 1) y Sahagún (Finca 2). Montería, se encuentra ubicado a 08°45' latitud Norte y 75°53' longitud Oeste, a una altura de 18 m.s.n.m., temperatura media anual de 28°C, precipitación media anual de 1225 mm y humedad relativa de 80%. El municipio de Sahagún está ubicado al nororiente del departamento de Córdoba, a 08° 56' latitud Norte y 75° 26' longitud Oeste, a una altura de 82 m.s.n.m.; este municipio presenta una temperatura promedio anual de 27°C, humedad relativa del 80% y una precipitación promedio de 1.249mm anuales. Las precipitaciones en el departamento están marcadas desigualmente en dos periodos: uno lluvioso, en los que caen 85% del total de la precipitación anual, comprendido desde mayo a octubre y un periodo seco, desde noviembre hasta abril (Santana, 1999).

**Datos y animales.** Para la realización de este estudio, se utilizaron 55 animales, 15 en el sistema de producción de Montería (9 machos y 6 hembras) y 40, en el sistema de producción de Sahagún (18 machos y 22 hembras); los animales nacieron entre noviembre del 2013 y abril del 2014. Estos animales fueron pesados cada 15 días, desde el nacimiento hasta los seis meses de edad; el destete, se realizó a los 90 días. Los animales fueron pesados al nacer y después se realizaban pesajes cada 15 días. Todos los animales provenían de partos sencillos y no se tenía información precisa sobre el número de partos de la madre. Cada sistema de producción dispuso de una báscula para efectuar los pesajes de los animales, los cuales, fueron anotados en registros, diseñados para tabulación de estos datos. Igualmente, en los registros se anotaron las fechas y las edades de los animales al momento de los pesajes y el número de animales. Los animales fueron manejados bajo condiciones de pastoreo, en praderas de *Bothriochloa pertusa*, con disponibilidad de agua y sal mineral a voluntad; durante la época seca, los animales del sistema de producción de Montería, se suplementaron con, aproximadamente, 500gr de ensilaje de maíz (*Zea mays*) y los del sistema de producción de Sahagún, con ensilaje de *Pennisetum purpureum*, a voluntad.

**Análisis de datos.** La información de campo fue digitada en una base de datos de Excel. El modelo no lineal que se utilizó para describir el crecimiento fue Gompertz, cuya ecuación fue la siguiente:

$$y_i = \beta_0 e^{-\beta_1 e^{-\beta_2 t_i}}, \text{ Gompertz (1825)}$$

Donde:  $y_i$  representa el  $i$ -ésimo peso del animal en el  $i$ -ésimo tiempo  $t_i$ ;  $\beta_0$ , es el peso asintótico cuando  $t$  tiende a infinito;



$\beta_1$  es un parámetro de ajuste cuando  $y \neq 0$  o  $t \neq 0$ ;  $\beta_2$  es un índice de madurez expresado como una proporción de porcentaje del máximo crecimiento con respecto al peso adulto del animal.

Fueron validados los supuestos de normalidad e independencia de los errores. Para la estimación de los parámetros del modelo, se utilizó el procedimiento NLIN de SAS. Además, se calculó el porcentaje de madurez a los cuatro (M4) y seis meses (M6) y edad al 75 (EM75) y 95% (EM95) de madurez, para las poblaciones ovinas estudiadas, mediante las siguientes expresiones:

$$M4 = e(-\beta_1 * e(-\beta_2 * 120))$$

$$M6 = e(-\beta_1 * e(-\beta_2 * 180))$$

$$EM75 = \frac{\log(-\log(0,75)/\beta_1)}{-\beta_2}$$

$$EM95 = \frac{\log(-\log(0,95)/\beta_1)}{-\beta_2}$$

Para determinar el efecto sexo y finca sobre los parámetros del modelo y las edades y porcentajes de madurez, se aplicó

un análisis de varianza, el cual, se realizó mediante el procedimiento GLM, de SAS (2002).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estimado para  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  y  $\beta_2$  fueron  $25,57 \pm 9,3$ ,  $2,1 \pm 0,5$  y  $0,010 \pm 0,004$ , respectivamente. El modelo presentó un  $R^2$  de 0,994. En la figura 1, se observa la curva de crecimiento general de los ovinos criollos de pelo, de acuerdo con los parámetros del modelo de Gompertz.

Con relación a  $\beta_0$ , Lupi *et al.* (2015) reportaron valores superiores a los encontrados en este estudio para machos ( $36,41 \pm 12,3$ ) y para hembras ( $36,12 \pm 11,4$ ), datos similares a los encontrados por Moreira *et al.* (2016), Santos (2012) y Teixeira *et al.* (2016), con estimados de 45,43, 42,41 y 37,56, respectivamente. Por su parte, Méndez *et al.* (2014) evaluaron la curva de crecimiento en borregos de la raza Chiapas, en México, obteniendo valores de 25,4 y 24,8, para machos y hembras, respectivamente; Bahreini *et al.* (2014), en la raza Baluchi y Kopuzlu *et al.* (2014), en la raza Hemsin, reportaron valores, para machos, de 43,07 y 74,99 y para hembras,

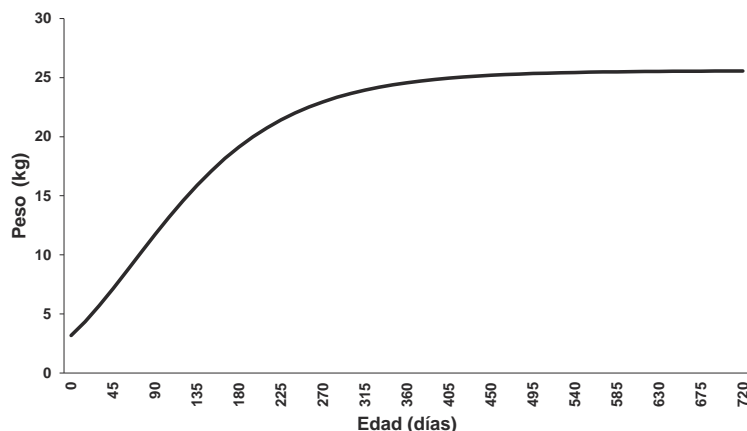


Figura 1. Curva de crecimiento en ovinos criollos, de acuerdo al modelo de Gompertz.

de 39,68 y 58,77, respectivamente. El valor de  $\beta_0$  está relacionado con el peso del animal adulto, que va a depender de diversos factores, como son la especie, la raza, el método de selección, el sistema de manejo y las condiciones ambientales (Malhado *et al.* 2009).

Respecto al valor estimado para  $\beta_1$ , Hossein-Zadeh & Golshani (2016), en la raza Iraní Guilan y Moreira *et al.* (2016), en la raza Lle de Francia, encontraron valores similares al de este estudio (2,10 y 2,11), mientras que Lupi *et al.* (2015) y Méndez *et al.* (2014) reportaron valores, para machos, de 2,27 y 2,09 y para hembras de 2,25 y 1,90, en las razas

Segureña y Chiapas, respectivamente, valores cercanos al encontrado por este estudio; sin embargo, Da Silva *et al.* (2012), en ovinos Santa Inés, Santos (2012), en animales cruzados Santa Inés por Dorper y Sieklicki *et al.* (2016), en la raza Texel, registraron valores inferiores (-1,62, 0,71 y 1,95, respectivamente). Varios autores coinciden en decir que este parámetro no posee interpretación biológica; no obstante, Abreu *et al.* (2004) afirma que es un factor de integración que ajusta los valores de peso inicial y, generalmente, está asociado con el peso al nacimiento (grado de madurez del animal al nacimiento).

Por su parte, el estimado para  $\beta_2$  indica la tasa de madurez del animal y entre más alto sea este parámetro, más rápido llega el animal al peso adulto. Animales con altos valores de  $\beta_2$  tienen una madurez precoz, en relación a los que presentan bajos valores y un peso inicial similar, por lo tanto, animales que tienen un crecimiento más rápido pueden ser sacrificados a una menor edad (Malhado *et al.* 2009). Valores superiores fueron reportados por Lupi *et al.* (2015), cuyos valores fueron de 0,022 y 0,020, para machos y hembras, respectivamente; sin embargo, valores inferiores fueron hallados en los estudios adelantados por Da Silva *et al.* (2012), donde el valor encontrado fue de 0,004; Méndez *et al.* (2014), con un estimado de 0,0056, mientras que Hossein-Zadeh & Golsani (2016), Moreira *et al.* (2016), Santos (2012) y Teixeira *et al.* (2016) reportaron valores similares al determinado en este estudio, donde los valores estimado por los autores, anteriormente mencionados, fueron de 0,015, 0,016, 0,009 y 0,015, respectivamente. Al momento de realizar la comparación de los valores reportados por otros autores y los estimados por nuestro estudio, se puede concluir, que los corderos criollos de pelo estudiados demostraron que tienen una precocidad muy baja, por lo tanto, la velocidad de crecimiento se verá afectada, debido a la lentitud de los animales para llegar al peso asintótico.

Sarmiento *et al.* (2006), comparando funciones en la curva de crecimiento en ovinos de la raza Santa Inés concluyeron que el modelo de Gompertz ofrece resultados más fiables, similar a lo reportado por Lambe *et al.* (2006), quienes consideran que este modelo presenta los mejores ajustes para describir el peso, desde el nacimiento hasta el sacrificio, en las razas Texel y Blackface.

De lo anterior, se puede deducir, que animales con madurez tardía o una tasa de madurez baja, ocasionan un retraso en el sistema de producción, debido a que esos corderos tomarán más tiempo para llegar al peso al sacrificio, por lo que es

de suma importancia para el ovinocultor conocer a qué edad sus animales llegan a la madurez y tratar de reducirla, puesto que una mayor tasa de crecimiento, se asocia a un aumento de la rentabilidad económica de la producción.

Respecto al porcentaje de madurez a los cuatro meses (M4) y seis meses (M6) (Tabla 1), se puede considerar que, de estas variables, la más importantes es M6, la cual, es la edad que los productores tienen como referencia en los rebaños de la región para llevar los corderos a sacrificio o destinar las hembras aptas para la reproducción, como hembras de vientres. Vergara *et al.* (2016), en ovinos criollos, reportaron edades al 75 y 95% de madurez, superiores a las de este estudio (9,0 y 19,5 meses, respectivamente). Por su parte, Simanca *et al.* (2016) reportaron en ovinos Santa Inés, por criollo, un promedio de edad al 75% de madurez, de 10,2 meses y al 95% de madurez, una edad promedio de 19,3 meses. De acuerdo con los porcentajes de madurez y las edades al 75 y 95% de madurez estimados, es pertinente hacer algunos correctivos en los sistemas de alimentación, implementados en los sistemas de producción y en el manejo reproductivo de los animales.

En la tabla 2, se observan los promedios, de acuerdo al sexo y a la finca de las poblaciones estudiadas, según el modelo Gompertz; se evidenció que el sexo no tuvo efectos significativos sobre las variables estudiadas. Malhado *et al.* (2009) encontraron que el sexo del cordero no presentó efectos significativos sobre  $\beta_0$ , a diferencia de Sarmiento *et al.* (2006) y Keskin *et al.* (2009), quienes reportaron que los machos presentan mayores valores de  $\beta_0$ . En la figura 2, se detalla la curva de crecimiento de los ovinos criollos, según el modelo Gompertz, de acuerdo al sexo y a la finca, en la cual, se puede observar el comportamiento similar de machos y de hembras y el mejor desempeño de la Finca 1, respecto a la Finca 2. La variación del crecimiento de los animales entre fincas puede estar determinado por la diferencia en el siste-

Tabla 1. Estimados del porcentaje de madurez a los 4 y 6 meses y edades al 75 y 95% de madurez, en las poblaciones ovinas en estudio.

Variable	Promedio	Desviación estándar
M4 (%)	55,8	18,2
M6 (%)	70,6	18,5
EM75 (meses)	7,0	3,5
EM95 (meses)	13,1	6,0

M4= porcentaje de madurez a los 4 meses; M6= porcentaje de madurez a los 6 meses; EM75= Edad al alcanzar el 75% de madurez; EM95= Edad al alcanzar el 95% de madurez.

ma de alimentación de cada finca y la selección fenotípica, con base en los registros productivos que se práctica en la Finca 1.

Por último, se puede afirmar que, al utilizar el modelo Gompertz en la descripción de la curva de crecimiento de ovinos, resulta eficiente, para establecer predicciones en el comportamiento productivo, reflejado en el futuro inicio de la actividad reproductiva de nuevas ovejas, candidatas a ser vientres de reemplazo. Además, el modelo de Gompertz permitió describir el crecimiento de ovinos criollos, de acuerdo con las características de crecimiento en el trópico, con ali-

mentación basada en pastoreo; el tipo de curva, se ajustó al sentido estricto de la curva sigmoidea, característica de los modelos no lineales.

**Agradecimientos.** Los autores agradecen a Mauricio Buelvas y Rafael Vergara, propietarios de los sistemas de producción, por facilitar los animales e instalaciones para la realización de este estudio. **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.

Tabla 2. Valores promedio estimados para los parámetros del modelo Gompertz y edades y porcentajes de madurez, según el sexo y la finca.

Efecto		$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	%M4	%M6	EM75% (días)	EM95% (días)
Sexo	Macho	26,08	1,99	0,013	63,3	77,3	180	341
	Hembra	26,65	2,19	0,011	54,5	70,1	211	389
Finca	1	28,12	2,10	0,014 <sup>a</sup>	65,5 <sup>a</sup>	80,2 <sup>a</sup>	161 <sup>a</sup>	299 <sup>a</sup>
	2	24,61	2,08	0,009 <sup>b</sup>	52,3 <sup>b</sup>	67,1 <sup>b</sup>	230 <sup>b</sup>	431 <sup>b</sup>

Letras diferentes en la misma columna, indica diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ).

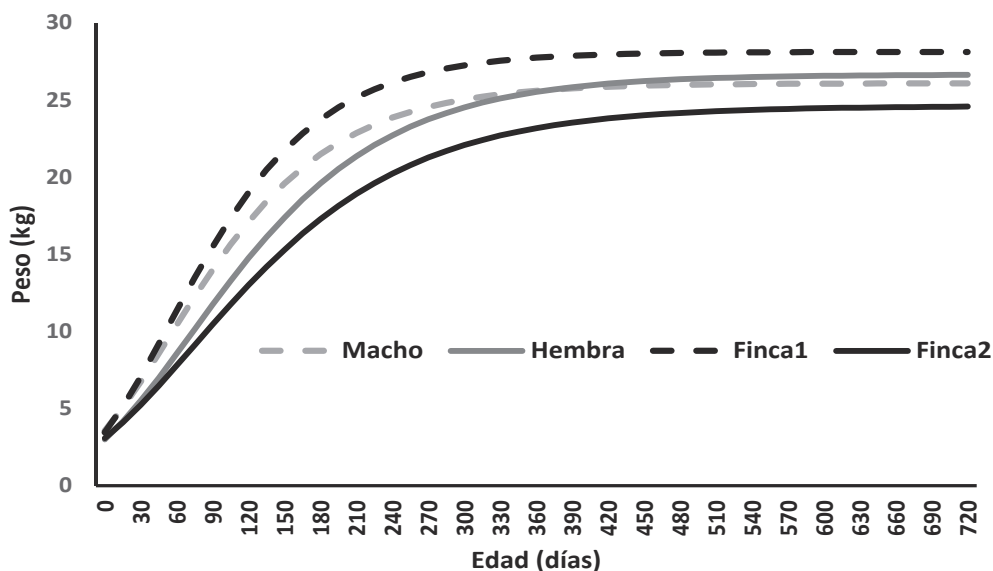


Figura 2. Curva de crecimiento de ovinos criollos, según el modelo Gompertz, de acuerdo al sexo y a la finca de las poblaciones estudiadas.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ABREU, U.; COBUCCI, A.; DA SILVA, M.; SERENO, J. 2004. Uso de modelos no lineales para el ajuste de la curva de crecimiento de bovinos Pantaneiros. Arch. Zootec. 53(204):367-370.
2. ACERO-PLAZAS, V.M. 2014. El bienestar animal en sistemas productivos de ovinos-caprinos en Colombia. Spei Domus. 10(20):57-62.
3. AGUDELO, D.; CERÓN, M.; RESTREPO, L. 2008. Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. Rev Col. Cienc. Pec. 21(1):39-58.
4. BAHREINI, M.R.; ASLAMINEJAD, A.A.; SHARIFI, A.R.; SIMIANER, H. 2014. Comparison of mathematical models for describing the growth of Baluchi sheep. J. Agric Sci and Technol. 14:57-68.
5. DA SILVA, L.; FRAGA, A.; DA SILVA, F.; BEELEN, P.; SILVA, R.; TONHATI, H.; BARROS, C. 2012. Growth curve in Santa Inês sheep. Small Rumin. Res. 105:182-185.
6. DUQUE-CHAMORRO, L.M.; PULGARÍN-VERGARA, L. 2011. Evaluación reproductiva y productiva en un rebaño de ovejas (*Ovis orientalis aries*) en el municipio de Bello, Antioquia. Rev Col. Cienc. Pec. 24(3):547-7.
7. FITZHUGH, H. 1976. Analysis of growth curves and strategies for altering their shapes. J. Anim. Sci. 42(4):1036-1051.
8. GOMPERTZ, B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new Mode of determining the value of life Contingencies. Phil. Trans Royal Soc London. 115:513-585.
9. HOSSEIN-ZADEH, N.; GOLSHANI, M. 2016. Comparison of non-linear models to describe growth of Iranian Guilan sheep. Rev. Col. Cienc. Pec. 29:199-209.
10. KESKIN, I.; DAG, B.; SARIYEL, V.; GOKMEN, M. 2009. Estimation of growth curve parameters in Konya Merino sheep. J. Anim. Sci. 39(2):163-168.
11. KOPUZLU, S.; SEZGIN, E.; ESENBUGA, N.; BILGIN, O. 2014. Estimation of growth curve characteristics of Hemsin male and female sheep. J. Applied Anim. Res. 42(2):228-232.
12. LAMBE, N.R.; NAVAJAS, E.A.; SIMM, G.; BÜNGER, L. 2006. A genetic investigation of various growth models to describe growth of lambs of two contrasting breeds. J. Anim. Sci. 84:2642-2654.
13. LOZANO, H. 2014. Reproducción ovina en Colombia. Rev. Ciencia Ani. 8:67-83.
14. LUPI, T.; NOGALES, S.; LEÓN, J.; DELGADO, J. 2015. Modelación de curvas de crecimiento comercial en ovino Segureño. AICA. 6:132-143.
15. MALHADO, C.; CARNEIRO, P.; AFFONSO, P.; SOUZA, A.; SARMENTO, J. 2009. Growth curves in Dorper sheep crossed with the local Brazilian breeds, Morada Nova, Rabo Largo, and Santa Inês. Small Rum. Res. 84:16-21.
16. MARTÍNEZ, R.; MALAGÓN, S. 2005. Caracterización fenotípica y genética del ovino criollo colombiano. Arch. Zootec. 54:341-348.
17. MARTÍNEZ, R.; VÁSQUEZ, R. 2005 Evaluación de la conservación y comportamiento productivo del Banco de Germoplasma de la especie ovina en Colombia. AGRI. 36:33-45.
18. MÉNDEZ, A.; LÓPEZ, R.; PERALTA, M.; ILLLOA, R.; PEDRAZA, P.; RUIZ, F.; BERRUECOS, J.; VÁSQUEZ, C. 2014. Estimación de heredabilidad de la curva de crecimiento en el borrego de raza Chiapas en México. Anim. Gen. Resour. 54:85-91.
19. MOREIRA, R.; PEDROSA, V.; FALCAO, P.; SIEKLIKI, M.; ROCHA, C.; DOS SANTOS, I.; FERREIRA, E.; MARTINS, A. 2016. Curvas de crescimento de fêmeas da raça Lle de France criadas em confinamento. Ciências Agrárias. 37(1):303-310.
20. PATIÑO, R.; VAN CLEEF, E. 2010. Aspectos chave do crescimento em ovinos. Revisión. Rev. Colombiana Cienc. Anim., 2(2): 399-421.
21. SANTANA, V. 1999. Diccionario Cultural de Córdoba. Domus Libri. Bogotá (Colombia). p. 285-291.
22. STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE –SAS-. 2002. SAS/STAT User's guide (Release 9.1.3), Cary, NC, USA.
23. SANTOS, S. 2012. Crescimento de ovinos de diferentes grupos genéticos sob modelos não lineares convencionais e alternativos. Disponible desde Internet

- en: <http://www.uesb.br/ppz/defesas/2012/mestrado/lorena-mirelle.pdf> (con acceso 04/08/2017).
24. SARMENTO, J.; REGAZZI, A.; DE SOUSA, W.; TORRES, R.; BREDA, F. 2006. Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. R. Bras. Zootec. 35(2):435-442.
25. SIEKLIICKI, M.F.; PEDROSA, V.B.; ROCHA, C.G.; MOREIRA, R.P.; FALCAO, P.R.; SANTOS, I.C.; FERREIRA, E.M.; MARTINS, A. 2016. Growth curves of Texel male lambs. Acta Scientiae Vet. 44(1396):1-6.26. SIMANCA, J.; VERGARA, O.; BUSTAMANTE, M. 2016. Descripción del crecimiento de ovinos Santa Inés x Criollo manejados en pastoreo extensivo en dos poblaciones de Córdoba, Colombia. Rev. Fac. Cs. Vets. UCV. 57(1):61-67.
27. TEIXEIRA, M.R.; CRUZ, J.F.; FARIA, H.H.; SOUZA, E.S.; CARNERO, P.L.; MALHADO, C.H. 2016. Descrição do crescimento de ovinos Santa Inês utilizando modelos não-lineares selecionados por análise multivariada. Rev. Bras. Saúde Prod Anim. 7(1):26-36.
28. VERGARA-GARAY, O.; LLORENTE-MARTÍNEZ, E.; RAMOS-CARO, L.; BUSTAMANTE-YANEZ, M.; SIMANCA-SOTELO, J. 2016. Descripción del crecimiento en ovinos criollos utilizando el modelo Brody. Rev. Orinoquía. 20(2):34-39.

Recibido: Mayo 25 de 2017

Aprobado: Octubre 2 de 2017

#### Cómo citar:

Vergara Garay, O.; Medina Ríos, H.; Robles Sierra, C.; Simanca Sotelo, J.; Bustamante Yanez, M. 2017. Determinación de la curva de crecimiento en ovinos criollos de pelo, mediante la utilización del modelo Gompertz, en el trópico bajo colombiano. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 385-391.



# IMPORTANCIA CULTURAL DE VEGETACIÓN ARBÓREA EN SISTEMAS GANADEROS DEL MUNICIPIO DE SAN VICENTE DEL CAGUÁN, COLOMBIA

## CULTURAL SIGNIFICANCE OF ARBOREOUS VEGETATION IN LIVESTOCK SYSTEMS OF THE MUNICIPALITY OF SAN VICENTE DEL CAGUAN, COLOMBIA

Yimi Katherine Ángel Sánchez<sup>1</sup>, Maggy Ennid Pimentel Tapia<sup>2</sup>, Juan Carlos Suárez Salazar<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero Agroecólogo, Magister en Agroforestería, Profesor Facultad de Ciencias agropecuarias. Universidad de la Amazonia, Sede Principal, calle 17 Diag. 17 Cra. 3F, Barrio Porvenir, Florencia–Caquetá, e-mail: y.angel@udla.edu.co; <sup>2</sup> Ingeniero Agroecólogo, Facultad de Ingeniería. Sede Principal, calle 17 Diag. 17 Cra.3F, Barrio Porvenir, Florencia–Caquetá, e-mail: madgyppimentel@gmail.com; <sup>3</sup> Ingeniero Agroecólogo, M.Sc. Agroforestería Tropical, Profesor Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería Agroecológica. Universidad de la Amazonia, 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. 20(2): 393-401, Julio-Diciembre. 2017

### RESUMEN

El conocimiento local juega un papel importante en la identificación de especies arbóreas, que contribuyen a la formación de alternativas para sistemas ganaderos, en función a la conservación, la protección del ambiente y la economía de los productores. En la actualidad, se hace necesario conocer alternativas y beneficios para afrontar la variabilidad del clima, que afecta la producción ganadera. Es por ello, que el conocimiento de los productores ganaderos incide sobre la percepción y la toma de decisiones. En este sentido, el objetivo de este estudio fue determinar la importancia cultural de especies arbóreas en los sistemas ganaderos, por medio del conocimiento local. Se realizaron 57 encuestas, para el desarrollo de la metodología de índice de importancia cultural de las especies arbóreas. Se encontró, que las especies para sombra, son las de mayor preferencia; el segundo uso más frecuente es la implementación de árboles para la mitigación y la adaptación al cambio climático y, por último, especies de usos agrícolas. Además, se reconoció que las especies con mayor índice de importancia cultural (IIC) e intensidad de uso (IU) fue *Zygia longifolia*, con 3,21 IIC y 60% IU, respectivamente. Asimismo, se reconoció que el uso de especies para sombra son las de mayor predominancia, con 132 menciones y una diferencia significativa de 24 menciones, para cercas vivas. Este estudio permitió reconocer el conocimiento de los productores sobre el valor y el uso de las especies arbóreas y forrajeras, para determinar las especies con mayor importancia cultural.

Palabras clave: Árboles, valor de uso, frecuencias de mención, intensidad de uso.

### SUMMARY

Local knowledge plays an important role in the identification of tree species that contribute to the formation of alternatives to livestock systems in terms of conservation, protection of the environment and producers' economies. At present, it is necessary to know alternatives and benefits to face the variability of the climate that affects livestock production. This is why the knowledge of livestock producers affects the perception and decision making. In this sense, the objective was to determine the cultural importance of tree species in livestock systems through local knowledge. 57 surveys were carried out for the development of the methodology of index of cultural importance of the tree species. It was found that the species for shade are the most preferred; the second most frequent use is the implementation of trees for the mitigation and adaptation to the climatic change and last species of agricultural uses. In addition, it was recognized that the species with the highest cultural importance index (CII) and intensity of use (UI) were *Zygia longifolia* with 3.21 CII and 60% UI, respectively. Also, it was recognized that the use of species for shade are the most predominant with 132 mentions and a significant difference of 24 mentions for live fences. This study allowed to recognize the knowledge of the producers on the value and use of the tree species and fodder species to determine the species with greater cultural importance.

Key words: Trees, use value, reference frequencies, intensity of use.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas ganaderos en el mundo son totalmente dependientes de la disponibilidad de los recursos naturales, afectados por el cambio climático (Murgueitio *et al.* 2014). Este proceso genera un aumento de la variación en la disponibilidad de forraje y trae, como consecuencia, la reducción en la productividad pecuaria (Berrang-Ford *et al.* 2010; Dulal *et al.* 2011). Estas condiciones, generan una fuerte necesidad de adoptar alternativas, de sistemas de producción ganadera sostenibles con la conversión ambiental, basada en sistemas silvopastoriles, para hacer frente a estos problemas (Murgueitio *et al.* 2011).

Estos sistemas de producción son desarrollados en una amplia área del territorio nacional y en diferentes agroecosistemas (Navas, 2010; Smit *et al.* 2013). Para el departamento del Caquetá, Colombia, son la principal actividad y reglón económico (Fajardo *et al.* 2014) que se ha desarrollado bajo un sistema tradicional, en donde se transforma el bosque en potrero, con gramas naturales y pastos introducidos, con ausencia de cobertura arbórea (Alarcón & Tabares, 2007) y, generalmente, sin rotación de potreros, generando problemas, como la degradación del suelo, la contaminación de las aguas y las emisiones de gases con efecto invernadero (Navas, 2007).

Estos cambios son producto del conocimiento y la experiencia que llevan al productor a tomar decisiones, como implementar pasturas y disminuir cobertura arbórea, indicando que se talan áreas de bosque para sembrar pastos y mejorar la alimentación de los animales, ya que la sombra afecta la productividad de los pastos, principalmente aquellos árboles con copas densas (Martínez *et al.* 2013). De tal manera, las pasturas son una cobertura predominante, que corresponde a pastos limpios y pastos enmalezados, básicamente, utilizados para sustentar una ganadería extensiva (Peña & Cardona, 2010).

Ante este escenario, es necesaria la búsqueda de modelos de desarrollo y de alternativas de manejo, que trasciendan la realidad actual y redunden en el desarrollo sostenible, generando solución a problemas ambientales y económicos de las comunidades asentadas en la región, además, de mitigar efectos del cambio climático

Según Steinfeld *et al.* (2009) indican que la producción ganadera tiene en la incorporación de especies arbóreas y arbustos en los pastizales, una opción en la que se conjugan producción, protección y mitigación de los efectos de la radiación solar, ya que los árboles cumplen funciones

múltiples, que proveen ingresos económicos y, al mismo tiempo, crean un sistema de producción sustentable, con muchos beneficios ambientales (Harvey *et al.* 2005). Además, permite aminorar los efectos negativos generados por los sistemas tradicionales, mejorar el bienestar de los animales e incrementar la productividad animal (Navas, 2010).

Al respecto, diferentes autores relacionan la presencia de árboles con diversos bienes y servicios (Couttolenc-Brenis *et al.* 2005), ya sean maderables, frutales o medicinales, mejoramiento del suelo, artesanal, construcción, forraje, alimento para la fauna silvestre y control biológico (Harmand *et al.* 2007), reducir la velocidad del viento y contribuir a la conservación del agua y la producción de pastos, en comparación con praderas sin árboles, en condiciones similares (Cuartas *et al.* 2014), asimismo los árboles, diversifican los ingresos de la finca y del hogar (Bentley *et al.* 2004).

En este sentido, la selección de los árboles por los productores, se enfatiza en especies nativas, por razones económicas, ambientales y de uso (Garen *et al.* 2009). Al igual, DeClerck & Decker (2009) indican que se debe involucrar el nivel de conocimiento de los productores sobre el rol, la dinámica y la preferencia de las especies, ayudando a identificar las especies prioritarias (Lykke *et al.* 2004); sin embargo, las condiciones culturales, sociales, ambientales y económicas de los productores fijan el tipo de manejo y uso que reciben los árboles.

Es por ello, que los criterios de selección de árboles en los sistemas ganaderos, se determinan por la importancia de los árboles en relación a sus usos y el valor económico en el mercado. Surge, entonces, la pregunta: ¿Cuáles son las especies arbóreas culturalmente más importantes en los sistemas ganaderos del municipio de San Vicente del Caguán?

Según Hoffman & Gallagher (2007), la forma de obtener información para determinar la importancia cultural de las especies es desarrollando índices que se basan en la asignación de valores de mención para cada uso de las especies. Asimismo, Turner (1988) plantea la necesidad de establecer el nivel de importancia de las especies, de una manera más objetiva y, la cual, evalúa su significado cultural, basándose en una puntuación que se obtiene de la asignación de valores a los factores que contribuyen a su significancia.

Aunado a lo anterior, da Silva *et al.* (2006) manifiestan que el valor de las especies arbóreas se elabora a partir de un índice de importancia o de valores de uso, por medio del conocimiento local. Por lo anterior, el objetivo del estudio fue



determinar el conocimiento local e importancia cultural de la vegetación arbórea en sistemas ganaderos, por medio de las percepciones de los usos de árboles, como estrategia de adaptación al cambio climático.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio:** El departamento del Caquetá está localizado al sur del territorio continental colombiano, cerca del 85% de su territorio pertenece a la unidad de paisaje Llanura Amazónica, ubicada por debajo de los 300msnm. Las temperaturas promedio varían entre 24,8°C y 25,9°C y la precipitación anual varían entre 3.650mm/año. El área de estudio seleccionada fue el municipio de San Vicente de Caguán, ubicada a 02°06'37" N 74°46'07" O y a 160km al nororiente de Florencia, capital del departamento. Cuenta con un área aproximada de 28.300km<sup>2</sup>, de los cuales, 10.703km<sup>2</sup> se encuentran en zona de litigio, con los departamentos del Meta y Guaviare (IGAC, 2003).

El departamento del Caquetá cuenta con el primer hato bovino de la amazonia colombiana y el quinto, a nivel de departamentos, demostrando, en el inventario de bovinos, de 1.304.403 reses, ubicadas en 12.726 predios, lo que convierte esta actividad agropecuaria, en una de las mayores generadoras de empleo, en los últimos años (Medina *et al.* 2016). Bajo este contexto, el municipio de San Vicente de Caguán, se destaca por sus actividades agropecuarias, que ha sido el principal motor económico, que hace de este municipio, el primer productor de ganado, a nivel regional, indicando, que el inventario departamental, se concentra en un 46,3%, en el municipio de San Vicente del Caguan (para el 2015, concentraba el 49% del hato) (Torrijos *et al.* 2017).

**Población y recolección de la información:** Para estimar el índice de importancia cultural (IIC) de las especies arbóreas, se realizaron entrevista a 57 productores con actividad ganadera, seleccionados al azar, que representan 1,5% de la población censada, con actividad ganadera.

Dicha entrevista incluyó preguntas sobre: ¿Usted ha implementado especies arbóreas, cuáles y por qué?, ¿Qué especies arbóreas utiliza para proporcionar un mejor sombrero para el ganado?, ¿por qué estás?, ¿Qué especies son útiles para su producción ganadera, por qué?, ¿Cuáles son las razones para tener árboles en los potreros?, ¿Qué especies, de las que mencionó, considera mejor para la producción animal y por qué?, ¿Conoce usted especies de árboles que no generen beneficios al animal?, ¿Cuáles?, ¿Cuál es la importancia de las especies en los sistemas ganaderos doble propósito?, ¿Cuáles son los diferentes usos de los árboles que están en su producción ganadera? y ¿Cuáles son los usos alternos de las especies que tiene sus potreros?

Posteriormente, se construyó una base de datos compuesta por la presencia-ausencia de las especies de árboles, creada del listado libre producido por el productor y clasificados, de acuerdo a su conocimiento, orden, frecuencia de mención; asimismo, el uso actual, dado por los productores, lo que permitió el análisis de la importancia cultural de la vegetación arbórea.

La información fue personalizada, grabada con la autorización del productor y editada, a través del programa Voice editing standard versión 2.0, del formato de audio a texto, para evitar pérdida de información. La determinación taxonómica de las especies proviene de la consulta de base de datos de los herbarios virtuales de COAH Herbario Amazónico Colombiano (<https://www.sinchi.org.co/coah>), COL, Herbario Nacional Colombiano, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (<http://www.biovirtual.unal.edu.co>) y Tropicos® (<http://www.tropicos.org>).

**Validación de los resultados:** Para el análisis de la información obtenida sobre la vegetación arbórea, se utilizó en índice de importancia cultural, propuesto por Figueroa S. (2000) y utilizado por López-Toledo & Valdez (2011) y Suárez *et al.* (2012), que reconoce el conocimiento local entorno a las especies arbóreas (Jiménez *et al.* 2007):

$$I_u = \frac{\text{Número de usos de la sp.x}}{\text{Número total de usos para todas las especies}} * 100$$

$$F_m = \frac{\text{Número de menciones de la sp.x para todos los usos}}{\text{Número total de menciones de todas las especies para todos los usos}} * 100$$

$$V_u = \frac{\text{Número de menciones de la sp.x para un uso}}{\text{Número total de menciones de todas las especies para un uso}} * 100$$

$$V_{utz} = \sum (V_{ux} + V_{uy} + V_{uz} + \dots + V_{un})$$

$$IIC_z = (I_{uz} + F_{mz} + V_{utz}) / 300$$

Dónde: **Intensidad de uso (Iu):** Porcentaje de usos en los que aparece una especie; **Frecuencia de mención (Fm):** Sumatoria de menciones para una especie, todos los usos y todos los informantes; **Valor de uso x (Vux):** Porcentaje de usos en los que aparece una especie para un uso determinado.

Los resultados que se obtuvieron en este estudio, se basaron en frecuencias y en porcentajes, de acuerdo al conocimiento y al uso de cada especie, identificada por los productores.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En total, se reportaron 84 especies de árboles y de arbustos forrajeros, asociadas a los sistemas ganaderos, correspondientes a 30 familias botánicas, donde se encontró que la familia Fabaceae presentó 18 especies, seguida por Malvaceae, con cinco; Myrtaceae, con cuatro especies, Lamiaceae y Rutaceae, con tres cada uno y 25 familias, representadas por dos o una especie.

Los resultados coinciden con lo reportado por López-Toledo & Valdez (2011), quienes en su estudio indican que la familia de las Fabaceae, representa la mayor importancia cultural. De igual forma, los ganaderos reconocen que uno de los factores de valor de esta familia de plantas radica en el uso para alimentación, por ser especies forrajeras. Lo que

concuera con Roman *et al.* (2011), quienes mencionan su importancia por el contenido de proteína del alimento, con relación a especies no leguminosas.

La especie *Zygia longifolia* (Fabaceae) representó el mayor IIC, con un 3,21% y un valor significativo de frecuencia de mención, lo cual, muestra para los productores su importancia, por ser una especie útil para el sombrío del animal, protección de fuentes hídricas y el mejoramiento productivo del ganado. Como lo menciona Cerdán *et al.* (2012), esta especie se considera beneficiosa, ya que sus raíces protegen contra la erosión, cerca de fuentes de agua (Tabla 1). Además, se reconoce, por los productores, que esta especie arbórea representa el mayor número de usos (n=7), potencial para el sistema ganadero doble propósito.

Asimismo, los ganaderos mencionaron *Inga densiflora* (Fabaceae), *Cedrela odorata* (Meliaceae), *Vitex cymosa* (Lamiaceae), con un 2,75% de IIC, ocupando el segundo puesto en valor de importancia, aunque no compartan los

Tabla 1. Especies con mayor importancia cultural en San Vicente del Caguán.

No.	Familia	Especie	Nombre común	No. Usos	Menc	Iu rel	Fm rel	Vux rel	IIC%
1	Fabaceae	<i>Zygia longifolia</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Britton & Rose	Carbón	7	27	3,2	4,41	0,47	3,21
2	Fabaceae	<i>Inga densiflora</i> Benth	Guamo	6	23	2,74	3,76	0,4	2,75
3	Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro	6	12	2,74	1,96	0,4	2,75
4	Lamiaceae	<i>Vitex cymosa</i> Bertero ex Spreng.	Aceituno	6	35	2,74	5,72	0,4	2,75
5	Fabaceae	<i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.	Saman	5	19	2,28	3,1	0,33	2,29
6	Acanthaceae	<i>Trichanthera gigantea</i> (Bonpl.) Nees	Nacedero	5	7	2,28	2,45	0,33	2,29
7	Malvaceae	<i>Pachira quinata</i> (Jacq.) WS Alverson	Carrecillo	5	10	2,28	1,63	0,33	2,29
8	Melastomataceae	<i>Miconia elata</i> (Sw.) DC.	Chilco	5	7	2,28	1,14	0,33	2,29
9	Olacaceae	<i>Minquartia guianensis</i> Aubl.	Ahumado	4	8	1,83	1,31	0,27	1,83
10	Moraceae	<i>Ficus maxima</i> Mill.	Higuerón	3	6	1,37	0,98	0,2	1,38
		otras 74 especies							76,17

**Iu rel:** intensidad de uso relativa; **Fm rel:** frecuencia de mención relativa; **Vux rel:** valor de uso x relativo.

mismos números de menciones, ya que oscilan entre 23, 12 y 35, respectivamente y seis usos, para cada especie. La especie de *Cedrela odorata* es prioritaria en conservación, puesto que los principales problemas son las explotaciones forestales, que la categoriza globalmente vulnerable y nacional en peligro (Cardenas & Salinas, 2007) (Tabla 1).

De acuerdo con la percepción y el conocimiento local de los ganaderos, las especies arbóreas *Cedrela odorata* y *Vitex cymosa* son importantes por el aporte económico al ser maderables, además de contar con otros usos, como su aporte de sombra y mitigación del cambio climático. Según De Foresta *et al.* (2013), los árboles son importantes para los medios de vida de las poblaciones rurales, sea en la provisión de los servicios ecosistémicos o por los ingresos a las familias y al igual que Lasco *et al.* (2014), reconocen la importancia de los árboles en la adaptación al cambio climático y su mitigación.

Diversos estudios confirman que los productores conocen los beneficios de las especies y las seleccionan y manejan

de acuerdo con sus criterios de valor e importancia, lo que influye en una repoblación de las especies, en áreas degradadas (Sánchez *et al.* 2005; Martínez *et al.* 2013). Entre las prioridades de los ganaderos para la selección de especies arbóreas y arbustivas, se destaca la provisión de sombra para el animal y la mitigación al cambio climático, además, de nueve usos catalogados por los productores, como importantes.

Es por ello, que *Zygia longifolia* es de interés para los ganaderos, para el establecimiento de sombra y prestadoras de bienes y servicios, identificada también como la principal especie, por la forma de su dosel; además, resulta ser la especie con mayor número de frecuencias de mención, 4,41% y considerada con un 70% de intensidad de uso, seguida por las especies de *Trichanthera gigantea* (Acanthaceae), 60%, especie importante por su uso forrajero para la suplementación de alimentación animal (Tabla 2), lo que concuerda con Ricaurte *et al.* (2014), quienes señalan que esta especie es la principal fuente de alimento para el ganado.

Tabla 2. Especies con mayor intensidad de uso y frecuencia de mención en San Vicente del Caguán.

No	Especie	Nombre común	Usos	Iu%
1	<i>Zygia longifolia</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Britton & Rose	Carbón	Smb, Sa, Ma, Cfh, Smb, Pcv, Psa.	70
2	<i>Inga densiflora</i> Benth	Guamo	Sa, Cv, Cfh, Smb, Alm, Dca	60
3	<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro	Sa, Ma, Cfh, Smb, Pcv, Psa.	60
4	<i>Vitex cymosa</i> Bertero ex Spreng.	Aceituno	Sa, Cv, Smb, Pc, Psa, Ma.	60
5	<i>Trichanthera gigantea</i> (Bonpl.) Nees	Nacedero	Sa, Cfh, Smb, Psa, Alm.	50
6	<i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.	Samán	Sa, Smb, Psa, Ma, Dca.	50
7	<i>Pachira quinata</i> (Jacq.) WS Alverson	Carrecillo	Sa, Smb, Psa, Ma, Pcv.	50
8	<i>Miconia elata</i> (Sw.) DC.	Chilco	Sa, Cfh, Smb, Pcv, Psa.	50
	74 especies		Cv, Ma, Cfh, Smb, Pcv, Psa, Pc, Pbf, Alm, Dca.	
	TOTAL			100

\*Iu %: Intensidad de uso; Fm: Frecuencia de mención. \* Smb: Sombra; Sa: Siembra de árboles para mitigación al cambio climático; Pc: Especies para cultivos agrícolas; Ma: Maderable; Psa: Especies para siembra de árboles dispersos en el potrero; Alm: Alimentación; Dca: Disminución costo de alimentación; Cfh: Conservación de fuentes hídricas con siembra de árboles; Pcv: Especies para cercas vivas.

Entre los usos mencionados por los ganaderos está la sombra, con el mayor número de menciones, que representa el 26,9%; la siembra de árboles y los arbustos para mitigación del cambio climático, establecido para el control de temperatura y protección de los rayos directos del sol, generando confort del animal, en un 16,1%; especies para cultivos, en un 15,3%; siembra de árboles dispersos en el potrero, en 11,2% y alimentación, con 10%. Las especies mencionadas para estos usos fueron *Zygia*, *Vitex cymosa*; *Cedrela odorata* e *Inga densiflora* (Tabla 3).

Estudios han demostrado que tener árboles y arbustos en los potreros contribuyen a la capacidad de proporcionar diversas fuentes alternas, como sombra, alimento para el ganado, regulación del microclima, mejora la estructura y la fertilidad del suelo y optimiza la eficiencia del uso del agua, entre otros (Lasco *et al.* 2014; Mbow *et al.* 2014), además, de la captura de carbono, conservación del agua, aire y biodiversidad (Nair, 2012; Czerepowicz *et al.* 2012).

Del mismo modo, se menciona que la sombra que proporciona *Zygia longifolia*, *Cedrela odorata*, *Inga densiflora*, *Miconia elata* (Melastomataceae) y *Samanea saman* (Fabaceae) debe ser uniforme, para disminuir la presión en el suelo, igual a lo reportado por Cipagauta

& Andrade (2006), donde identificaron que los árboles dispersos en potreros debe proporcionar sombra de una manera uniforme, para evitar que los animales se concentren en un solo espacio, produciendo cárcavas y deterioro en la pradera; sin embargo, los productores aseguran que, en muchos casos, los árboles de sombra no tienen arreglos ni distancias de siembra regulares y muchos no son aptos para el propósito de sombra.

La siembra de árboles dispersos dentro de los potreros no es una práctica común entre los ganaderos, debido a la falta de la relación costo/beneficio, ya que se incurre en gastos para el mantenimiento en los potreros, como el de cercarlos y protegerlos individualmente, durante su establecimiento.

Por otro lado, *Pachira quinata* (Malvaceae) es mencionada por su aporte para sombra y, como especie maderable, coincide con el estudio de Hall *et al.* (2011), donde se consideran maderables de alto valor económico; no obstante, la preferencia de los ganaderos por esta especie arbórea, no se basa únicamente en el aporte de sombra, sino en la propagación, lo que consideran como limitante por las condiciones del suelo no adecuadas, lo que corrobora Pérez-Cordero *et al.* (2003), señalan que esta especie crecen mejor en los sitios fértiles que infértiles.

Tabla 3. Usos alternos de los principales árboles y arbustos forrajeros en el Municipio de San Vicente del Caguán.

No.	Clave	Uso	Menciones		Especies más Usadas
			Total	(%)	
1	Smb	Sombra	132	26,9	<i>Zygia longifolia</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Britton & Rose, <i>Cedrela odorata</i> L., <i>Inga densiflora</i> Benth, <i>Miconia elata</i> (Sw.) DC., <i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.
2	Sa	Siembra de árboles para mitigación	79	16,1	<i>Cedrela odorata</i> L., <i>Inga densiflora</i> Benth, <i>Manihot esculenta</i> Crantz.
3	Pc	Especies para cultivos agrícolas	75	15,3	<i>Manihot esculenta</i> Crantz., <i>Musa paradisiaca</i> L., <i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck, <i>Mangifera indica</i> L.
4	Psa	Especies para siembra de árboles dispersos en el potrero	55	11,2	<i>Zygia longifolia</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Britton & Rose, <i>Cedrela odorata</i> L. <i>Vitex cymosa</i> Bertero ex Spreng. <i>Trichanthera gigantea</i> (Bonpl.) Nees
5	Alm	Alimentación	49	10	<i>Inga densiflora</i> Benth, <i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.) Benth.
TOTAL			490	100	

Aunado a lo anterior, los productores del municipio quienes poseen especies forestales afirmaron que su distribución se debe a una propagación natural, a través de la dispersión de semillas por el viento y las aves; a su vez, los ganaderos reconocen que mantener dichas especies genera beneficios para el productor y el sistema ganadero. De igual manera, Ramírez *et al.* (2010) mencionan los beneficios de los árboles en los potreros como la disponibilidad constante de alimento, sombra, que evitan grandes pérdidas de peso o disminución en la producción de leche y mejoran los ingresos a mediano y largo plazo.

**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.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALARCÓN, M.; TABARES, E. 2007. Economía y usos de la biodiversidad: actividad pecuaria. En: Diversidad biológica y cultural del sur de la Amazonia colombiana–Diagnóstico. Ruiz, S.L.; Sánchez, E.; Tabares, E.; Prieto, A.; Arias, J.C., Gómez, R., Castellanos, D.; García, P.; Rodríguez, L. (eds.) Corpoamazonia, Instituto Humboldt, Instituto Sinchi, UAESPNN, Bogotá. P314-316.
- BENTLEY, J.W.; BOA, E.; STONEHOUSE, J. 2004. Neighbour trees: Shade, intercropping and cacao in Ecuador. *Rev. Human Ecology*. 32(2):241-270.
- BERRANG-FORD, L.; FORD, J.D.; PATERSON, J. 2010. Are we adapting to climate change? *Rev. Global Environ Change*. 21(1):25-33.
- CARDENAS, D.; SALINAS, N. 2007. Libro rojo de plantas de Colombia”. Especies maderables amenazadas: Primera parte. Serie libros rojos de especies amenazadas de Colombia. Bogotá. Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas “SINCHI”. Ministerio de Ambiente vivienda y desarrollo territorial. 4:234.
- CERDÁN, C.R.; REBOLLEDO, M.C.; SOTO, G.; RAPIDEL, B.; SINCLAIR, F.L. 2012. Local knowledge of impacts of tree cover on ecosystem services in smallholder coffee production systems. *Rev. Agricultural Systems*, 110(1):119-130.
- CIPAGAUTA, M.; ANDRADE, H.J. 2006. Sistemas silvopastoriles, una alternativa para el manejo sostenible de la ganadería en la Amazonía. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. 21p.
- COUATOLENC-BRENIS, J.A.; CRUZ, E.; CEDILLO, M.Á.; MUSÁLEM, M. 2005. Uso local y potencial de las especies arbóreas en camarón de Tejeda, Veracruz. Universidad Autónoma Chapingo México. *Rev. Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 11(1):45-50.
- CUARTAS, C.A.; NARANJO, J.F.; TARAZONA, A.M.; MURGUEITIO, E.; CHARÁ, J.D.; KU, J.; SOLORIO, F.J.; FLORES, M.X.; SOLORIO, B.; BARAHONA, R. 2014. Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaptation and mitigation of climate change. *Rev. Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 27(2):76-94.
- CZEREPOWICZ, L.; CASE, B.; DOSCHER, C. 2012. Using satellite image data to estimate aboveground shelterbelt carbon stocks across an agricultural landscape. *Rev. Agriculture, Ecosystems & Environment* 156:142-150.
- DASILVA, V.A.; ANDRADE, L.D.H.C.; DEALBUQUERQUE, U.P. 2006. Revising the Cultural Significance Index: the case of the Fulni-ô in Northeastern Brazil. *Rev. Field Methods*. 18(1):98-108.
- DE FORESTA, H.S.E.; TEMU, A.; BOULANGER, D.; FEUILLY, H.; GAUTHIER, M. 2013. Towards the Assessment of Trees Outside Forests: A Thematic Report Prepared in the Framework of the Global Forest Resources Assessment 2010. Ed. D. Taylor. Rome, IT, FAO. (Forest Resources Assessment Working Paper 183). 335p.
- DeCLERCK, F.; DECKER, M. 2009. Integrando la adaptabilidad al cambio climático través de la biodiversidad. In: Sepúlveda, C.; Ibrahim, M. (eds). Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas como una medida de adaptación al cambio climático en América Central. CATIE, Turrialba, CR. p.23-39.
- DULAL, H.D.; BRODNIG, G.; SHAH, K.U. 2011. Capital assets and institutional constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Rev. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 16(1):1-23.
- FAJARDO, M.Y.; VARGAS, G.F.; MARÍN, L.A.V. 2014. Costos ambientales y evaluación social en conversión

- de los Sistemas de producción ganadera tradicional al sistema silvopastoril en fincas ganaderas de los municipios de Florencia, Morelia y Belén de los Andaquíes del departamento del Caquetá. *Rev. Momentos de Ciencia. (Colombia)*. 11(1):50-57.
15. FIGUEROA S., M. E. 2000. Uso agroecológico, actual y potencial, de especies arbóreas en una Selva Baja Caducifolia perturbada del suroeste del Estado de México. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 120p.
  16. GAREN, E.J.; SALTONSTALL, K.; SLÜSSER, J.L.; MATHIAS, S.; ASHTON, M.S.; HALL, J.S. 2009. An evaluation of farmers' experiences planting native trees in rural Panama: implications for reforestation with native species in agricultural landscapes. *Agroforestry Systems*. 76(1):219-236.
  17. HALL, J.S.; LOVE, B.E.; GAREN, E.J.; SLÜSSER, J.L.; SALTONSTALL, K.; VAN BREUGELA, M.; IBARRAA, D.; BORKB, E.; SPANERB, D.; WISHNIEA, M. 2011. Tree plantations on farms: Evaluating growth and potential for success. *Rev. Forest Ecology and Management*. 261(10):1675-1683.
  18. HARMAND, J.M.; AVILA, H.; DAMBRINE, E.; SKIBA, U.; DE MIGUEL, S.; RENDEROS, R.V.; OLIVER, R.; JIMÉNEZ, F.; BEER, J. 2007. Nitrogen dynamics and soil nitrate retention in a *Coffea arabica*—*Eucalyptus deglupta* agroforestry system in Southern Costa Rica. *Rev. Biogeochemistry*. 85(2):125-139.
  19. HARVEY, C.A.; VILLANUEVA, C.; VILLACIS, J.; CHACÓN, M.; MUÑOZ, D.; LÓPEZ, M.; IBRAHIM, M.; GÓMEZ, R.; TAYLOR, R.; MARTÍNEZ, J.; NAVAS, A.; SÁENZ, J.; SÁNCHEZ, D.; MEDINA, A.; VÍLCHEZ, S.; HERNÁNDEZ, B.; PÉREZ, A.; RUIZ, F.; LÓPEZ, F.; LANG, I.; SINCLAIR, F.L. 2005. Contribution of live fences to the ecological integrity of agricultural landscapes. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 111(1):200-230.
  20. HOFFMAN, B.; GALLAGHER, T. 2007. Importance indices in Ethnobotany. *Ethnobotany Research & Applications. Rev. Mexicana de Biodiversidad*. 5:201-218.
  21. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI –IGAC-. 2003. Mapa de suelos de Colombia. Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE Subdirección de Agrología.
  22. JIMÉNEZ-FERRER, J.G.; PÉREZ-LÓPEZ, H.; SOTO-PINTO, M.L.; NAHED-TORAL, J.; HERNÁNDEZ-LÓPEZ, L.; CARMONA DE LA TORRE, J. 2007. Livestock, nutritive value and local knowledge of fodder trees in fragment landscapes in Chiapas, Mexico. *Rev Interciencia*. 32(4):274-280.
  23. LASCO, R.D.; DELFINO, R.J.P.; CATACUTAN, D.C.; SIMELTON, E.S.; WILSON, D.M. 2014. Climate risk adaptation by smallholder farmers: the roles of trees and agroforestry. *Current Opinion. Environmental Sustainability*. 6:83-88.
  24. LÓPEZ-TOLEDO, J.F.; VALDEZ, J.I. 2011. Uso de especies arbóreas en una comunidad de la reserva de la Biósfera la Sepultura, Estado de Chiapas. In *Bosques y Árboles del Trópico Mexicano: Estructura, crecimiento y usos*. P:57-79.
  25. LYKKE, A.M.; KRISTENSEN, M.K.; GANABA, S. 2004. Valuation of local use and dynamics of 56 woody species in the Sahel. *Biodiversity and Conservation*. 13(10):1961-1990.
  26. MARTÍNEZ-ENCINO, C.; VILLANUEVA-LÓPEZ, G.; CASANOVA-LÚGO, F. 2013. Densidad y composición de árboles dispersos en potreros en la Sierra de Tabasco, México. *Agrociencia*. 47(5):483-496.
  27. MBOW, C.; VAN NOORDWIJK, M.; LUEDELING, E.; NEUFELDT, H.; MINANG, P.A.; KOWERO, G. 2014. Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa. *Current Opinion. Environmental Sustainability*. 6:61-67.
  28. MEDINA, Y.C.; CARDOZO, O.L.; SANTOS, F.E. 2016. Comercialización de ganado bovino en pie entorno a la compañía de ferias y mataderos del Caquetá (COFEMA) Florencia–Caquetá. *Revista FACCEA*. 6(1):81-89.
  29. MURQUEITIO, E.; CALLE, Z.; URIBE, F.; CALLE, A.; SOLORIO, B. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Rev Forest Ecology and Management*. 261(10):1654-1663.
  30. MURQUEITIO, E.; CHARÁ, J.; BARAHONA, R.; CUARTAS, C.; NARANJO, J. 2014. Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi), herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático. *Rev. Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 17(3):501 - 507

31. NAIR, P.K.R. 2012. Carbon sequestration studies in agroforestry systems: a reality-check. *Rev Agroforestry Systems*. 86(2):243-253.
32. NAVAS, A. 2007. Sistemas silvopastoriles para el diseño de fincas ganaderas sostenibles. *Rev. Acovez*. 37(3):16-20.
33. NAVAS, A. 2010. Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Rev. Medicina Veterinaria*. (19):113-122.
34. PEÑA, C.P.; CARDONA, G. 2010. Dinámica de los suelos amazónicos: Procesos de degradación y alternativas para su recuperación. Instituto Sinchi. Bogotá, Colombia. 122p.
35. PÉREZ-CORDERO, L.D.; KANNINEN, M.; UGALDE-ARIAS, L.A. 2003. Stand growth scenarios for *Bombacopsis quinata* plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*. 174(1):345-352.
36. RAMÍREZ-AVILÉS, L.; CASTILLO, C.J.B.; CHAY, C.A.J.; SOLORIO, S.F.J. 2010. Rendimiento y calidad de pasturas tropicales bajo condiciones de sombra. En: Velasco, Z.; Ma, A.; Hernández, G.A.; Pérezgrovas, G.; Sánchez M., B. (eds). *Los Forrajes y su Impacto en el Trópico*. FMVZ-UNACH. Chiapas, México. P.249-267.
37. RICAURTE, L.F.; WANTZEN, K.M.; AGUDELO, E.; BETANCOURT, B.; JOKELA, J. 2014. Participatory rural appraisal of ecosystem services of wetlands in the Amazonian Piedmont of Colombia: elements for a sustainable management concept. *Wetlands ecology and management*. 22(4):343-361.
38. ROMAN, M.L.; MORA SANTACRUZ, A.; GALLEGOS, R.A. 2011. Árboles tropicales de uso múltiple en la costa de Jalisco, México. En: Endara Agramont, Á.R.; Mora Santacruz, A.; Valdez-Hernández J.I. (eds.) *Bosques y Árboles del Trópico Mexicano: Estructura, crecimiento y usos*. Guadalajara, Jalisco. p.82-106.
39. SÁNCHEZ M. D.; A. HARVEY, C.; A. GRIJALVA, A.; MEDINA, S.; VÍLCHEZ, B.; HERNÁNDEZ. 2005. Diversidad, composición y estructura de la vegetación en un agropaisaje ganadero en Matiguás, Nicaragua. *Rev. Biol. Trop.* 53(4): 387-414.
40. SMIT, H.H.; MEIJAARD, E.; VAN DER LAAN, C.; MANTEL, S.; BUDIMAN, A.; VERWEIJ, P. 2013. Breaking the link between environmental degradation and oil palm expansion: a method for enabling sustainable oil palm expansion. *PloS one*, 8(9):e68610.
41. STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T.; CASTEL, V.; ROSALES, M.; DE HAAN, C. 2009. *La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y soluciones*. LEAD – FAO. Viale delle Terme di Caracalla 00153 Roma, Italia. 464p.
42. SUÁREZ, A.; WILLIAMS-LINERA, G.; TREJO, C.; VALDEZ-HERNÁNDEZ, J.I.; CETINA-ALCALÁ, V.M.; VIBRANS, H. 2012. Local knowledge helps select species for forest restoration in a tropical dry forest of central Veracruz, Mexico. *Agroforestry systems*. 85(1):35-55.
43. TORRIJOS, R.; ESLAVA, F.; BENTRAN, Y. 2017. Nueva ganadería del Caquetá en cifras 2016. Editorial Comité Departamental de Ganaderos del Caquetá. Florencia – Caquetá. Colombia. 40p.
44. TURNER, N.J. 1988. The importance of a Rose: Evaluating the cultural significance of plants in Thompson and Lillooet Interior Salish. *American Anthropologist*. 90(2):272-290.

Recibido: Julio 29 de 2016

Aceptado: Septiembre 18 de 2017

#### Cómo citar:

Ángel Sánchez, Y.K.; Pimentel Tapia, M.E.; Suárez Salazar, J.C. 2017. Importancia cultural de vegetación arbórea en sistemas ganaderos del municipio de San Vicente del Caguán, Colombia. *Rev. U.D.CA Act. & Div. Cient.* 20(2): 393-401.





# RECUPERACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO DE ECOSISTEMAS DE PÁRAMO EN COLOMBIA

## REHABILITATION OF HYDROLOGICAL FUNCTIONING OF PÁRAMO ECOSYSTEMS IN COLOMBIA

María Fernanda Cárdenas<sup>1</sup>, Conrado Tobón<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ingeniera Forestal, Esp. y M.Sc. en Planeación Urbana - Regional, Ph.D en Ingeniería - Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Calle 56 N°78A-59. Correo electrónico: mfcarden@unal.edu.co; <sup>2</sup> Agrólogo, M.Sc. en física de suelos, Ph.D en biodiversidad y ecosistemas dinámicos. Profesor Titular, Departamento de Ciencias Forestales Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Calle 59A N° 63-20. Correo electrónico: ctobonm@unal.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 403-412, Julio- Diciembre, 2017

### RESUMEN

Los páramos son ecosistemas que se caracterizan por una alta humedad relativa, alta frecuencia de niebla y por tener una vegetación arbustiva y herbácea, adaptada a las condiciones de alta montaña. En condiciones naturales estos ecosistemas presentan una oferta hídrica alta, entre otros servicios ecosistémicos; sin embargo, esto cambia cuando son degradados. A pesar de su importancia son ecosistemas que han sido modificados por el hombre, la mayoría aún sin haber sido estudiados. Este documento presenta los resultados de una investigación realizada en tres páramos en Colombia, en la cual, se evalúa su funcionamiento hidrológico y la capacidad de recuperación, una vez han sido alterados; para esto, se estudió el clima, la hidrología y los suelos. Los resultados indican que estos ecosistemas tienen condiciones climáticas desiguales, que determinan su rendimiento y regulación hídrica; con diferencias en las propiedades hidrofísicas del suelo y contenido de materia orgánica, lo que determina diferencias en su capacidad para retener la humedad y la disponibilidad de agua para las plantas. Estos resultados indican que los páramos, con un grado bajo de disturbio, presentan un alto rendimiento y buena regulación hídrica; pero igual que los páramos intervenidos, recuperan el estado natural de las propiedades del suelo y, consecuentemente, su funcionamiento hidrológico, aún en pocas décadas.

Palabras clave: Ecosistemas de alta montaña tropical, degradación, propiedades hidro-físicas, suelos de páramo, rendimiento hídrico, regulación hídrica.

### SUMMARY

Páramos are equatorial alpine ecosystems characterized by a high air humidity, frequency of fog and the presence of shrub

and herbaceous vegetation adapted to the specific equatorial alpine conditions. Under natural conditions these ecosystems present a high water yield, among other ecosystem services, however, this changes when they are degraded. Despite their importance, they are ecosystems that have been modified by man, most of them even without having been studied. This paper presents the results of a hydrological research carried out in three páramos in Colombia, which evaluates their hydrological functioning and their capacity for recovery once they are altered. Therefore, we studied their climate, hydrology, and soils properties. Results indicate that these ecosystems have different climatic conditions, which determine their water yield and water regulation. Differences in the hydro-physical properties of soils and organic matter content, which determine differences in their capacity to retain water and on the magnitude of the water available for plants. These results indicate that undisturbed páramos or with a low degree of disturbance present high water yield and good water regulation; and intervened páramos can recover the natural conditions of soil properties, and consequently their hydrological functioning, even in a few decades.

Key words: Equatorial alpine ecosystems, degradation, hydro-physical soil properties, páramo soils, water yield, water regulation.

### INTRODUCCIÓN

A nivel global, se reconoce que las montañas albergan ecosistemas diversos, frágiles y muy valiosos, tanto por su biodiversidad como por su abundancia en agua (Becker, 2005). En particular, los sistemas montañosos son elementos clave en el ciclo hidrológico y están vinculados con el soporte de la biota, en la mayoría de las regiones del mundo (Díaz *et al.* 2003).

En la alta montaña tropical, los páramos se reconocen como unos de los ecosistemas que juegan un papel fundamental en la regulación hidrológica y en la provisión de agua para la población (Buytaert *et al.* 2006a), así como otra gran variedad de servicios ambientales asociados (Mosquera *et al.* 2015).

Los páramos, se localizan, aproximadamente, entre los 11°N y 8°S de latitud, distribuidos como parches discontinuos en las partes más altas de las montañas, en zonas demasiado frías, para el desarrollo de bosques (Guzmán *et al.* 2015; Hofstede *et al.* 2003) y consisten en formaciones accidentadas, muchas de ellas, de origen glaciario, que contienen una variedad de lagos, humedales y pantanos (Buytaert *et al.* 2006a), con una vegetación en la que predominan los pajonales, mezclados con arbustos y con rosetas gigantes.

De acuerdo con Ruiz *et al.* (2008), las condiciones climáticas promedio de estos ecosistemas, se caracterizan por temperaturas bajas con un amplio rango diurno, alta nubosidad y presencia continua de niebla y lloviznas, baja presión atmosférica y vientos fuertes. Otra de las características de los páramos son sus suelos ricos en materia orgánica y, en general, con excelentes propiedades biofísicas (Buytaert *et al.* 2006c; Farley *et al.* 2004), que explican la gran capacidad que tienen para almacenar y retener agua (Buytaert *et al.* 2006b).

A pesar de tener asociados importantes servicios ecosistémicos, como la regulación y la provisión de agua, el almacenamiento de carbono y la biodiversidad, los páramos y su gestión afrontan dos problemas principales: i) escaso conocimiento acerca de su funcionamiento ecohidrológico (Goldsmith *et al.* 2012; Buytaert *et al.* 2006a; Céleri & Feyen, 2009; Mosquera *et al.* 2015), que es más grave, si se considera el amplio gradiente espacio-temporal y la variabilidad en las condiciones hidro-meteorológicas que presentan estos ecosistemas (Ochoa-Tocachi *et al.* 2016), a lo cual, se puede sumar la incertidumbre por los efectos que el cambio climático pueda tener sobre su estructura y funcionamiento y, ii) las intervenciones y la presión antrópica para desarrollar actividades productivas sobre áreas cada vez de mayor altitud, expresadas como el avance de la frontera agropecuaria, que ha venido ocurriendo en la mayoría de los páramos Andinos (Hofstede *et al.* 2003), ocasionando la destrucción de la vegetación natural, erosión y deterioro de las propiedades de los suelos. Lo anterior puede resultar en la disminución de la capacidad de retención de humedad y de la calidad del agua superficial e infiltrada, al igual que en el incremento en la meteorización de la materia orgánica y en la pérdida de nutrientes (Morales *et al.* 2007). Adicionalmente, la vulnerabilidad de los ecosistemas de alta montaña tropical ante el cambio climático ha sido estudiada desde diversas aproximaciones y, en general, señalan que sus características los hacen ecosistemas vulnerables (Herzog *et al.* 2012).

Con el fin de entender mejor el funcionamiento y la capacidad de recuperación de las características ecohidrológicas de los ecosistemas de páramo, luego de intervenciones humanas, en este documento, se presentan los resultados de una investigación llevada a cabo en tres páramos en Colombia, donde se evaluaron diferentes variables climáticas, hidrológicas y de suelos, teniendo en cuenta la historia de intervenciones o el nivel de protección que cada uno posee.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Sitios de estudio.** La presente investigación, se llevó a cabo en tres páramos: el páramo de Belmira (Antioquia, cuenca sin nombre), el páramo de Chingaza (Cundinamarca, cuenca Calostros) y el páramo de Romerales (Quindío, cuenca Cárdenas). Belmira y Romerales, se sitúan en la Cordillera Central de Colombia y Chingaza está localizado en la Cordillera Oriental.

El páramo de Belmira tiene suelos derivados de rocas ígneas y metamórficas, parcialmente cubiertos de cenizas volcánicas meteorizadas. En el pasado estuvo sometido a ganadería extensiva y a minería de oro, lo que resultó en una notable degradación del suelo, pero mediante el Decreto 1974 de 1989 fue declarado Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales Renovables (Corantioquia, 1999) y se encuentra bajo un programa de protección, ya que está asociado con el abastecimiento de agua para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

El páramo de Chingaza hace parte de un gran complejo ubicado en la Cordillera Oriental, desarrollado a partir de movimientos de masas glaciares, areniscas y pizarras; son suelos con alto contenido de materia orgánica y sin cenizas volcánicas. Se encuentra en un estado de conservación óptimo, es uno de los ecosistemas asociados al abastecimiento de agua para Bogotá y está protegido dentro del Sistema de Parques Naturales Nacionales (PNN) de Colombia, desde 1977 (Lora-Gómez, 2005).

El páramo de Romerales, se encuentra en el macizo volcánico de la Cordillera Central, en la zona de influencia del PNN Los Nevados. Sus suelos están desarrollados a partir de materiales volcánicos medianamente meteorizados. Este sistema ha estado sometido por décadas a cultivos y a ganadería extensiva, por lo cual, hoy en día, evidencia deterioro y erosión de sus suelos (Salento, 2000).

En cada páramo, se seleccionó una cuenca hidrográfica que fuera lo más representativa posible del ecosistema en su conjunto. La figura 1 presenta la localización de los páramos estudiados, las coberturas presentes y la ubicación aproximada de los equipos instalados en cada una de las cuencas y de los sitios seleccionados para muestrear los suelos.

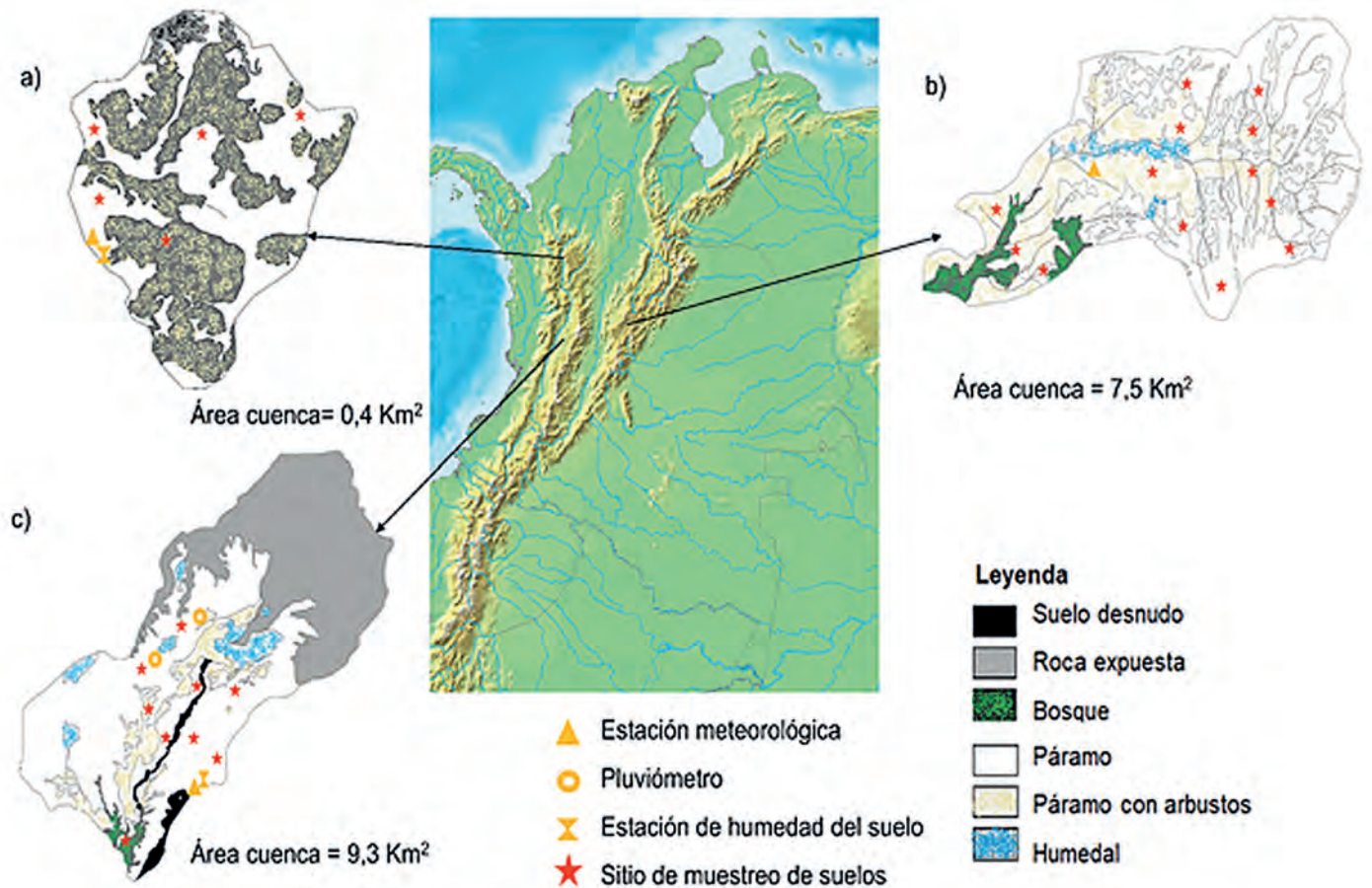


Figura 1. Localización de los sitios de estudio en Colombia; extensión, coberturas, ubicación de los instrumentos y sitios de muestreo de suelos, en cada una de las cuencas seleccionadas en los páramos de: a) Belmira, b) Chingaza y c) Romerales.

**Medición de variables hidro-meteorológicas.** En cada sitio, se midieron las variables precipitación, temperatura, humedad del aire, radiación solar, velocidad y dirección del viento, durante dos años (2014 y 2015), cada 15 minutos, usando estaciones meteorológicas (Davis y Campbell Sci). Asimismo, se instalaron un conjunto de pluviómetros (Texas Instr.), con registradores (Tynitag), que guardaron datos cada 5 minutos, distribuidos en las cuencas, con el fin de determinar, además, la distribución espacial de la precipitación. En los puntos de cierre de cada cuenca, se midieron los caudales usando canales mejorados, a modo de vertederos rectangulares, dotados con un limnómetro y un barómetro (Solinst); estos últimos guardaban datos cada 5 minutos.

**Propiedades hidro-físicas del suelo.** Las propiedades físicas e hidrológicas de los suelos también se evaluaron en los tres páramos. Para ello, se seleccionaron los lugares de muestreo, teniendo en cuenta la heterogeneidad del territorio, de modo que el conjunto fuera representativo de las con-

diciones de las cuencas. En Belmira, se muestrearon 5 sitios, en Chingaza 12 y en Romerales 9. En cada sitio de muestreo se hizo una calicata, incluyendo el horizonte C; se tomaron muestras no alteradas en anillos de volumen conocido de cada horizonte diagnóstico presente (O, Ao y Bw), para determinar la densidad aparente, textura, curvas de retención de humedad, contenido de materia orgánica, conductividad hidráulica saturada y la densidad de distribución de las raíces finas, en el perfil del suelo.

**Análisis de datos.** Con los datos medidos durante dos años, se calculó la evapotranspiración de referencia, empleando la ecuación de Penman-Monteith, empleando la ecuación:

$$\lambda E = \frac{\Delta R_n + \rho C_p (e_s - e_a) / r_a}{\Delta + \gamma (1 + r_s / r_a)}$$

Donde,

$l$  = Calor latente de vaporización del agua (J/kg)

$D$  = Pendiente de la curva de saturación de vapor de presión (mbar/K)

$R_n$  = Radiación solar neta ( $W/m^2$ )

$r$  = Densidad del aire ( $kg/m^3$ )

$C_p$  = Calor específico del aire a presión constante (J/kg.K)

$e_s$  = Presión de vapor a punto de saturación (mbar)

$e_a$  = Presión de vapor actual (mbar)

$r_a$  = Resistencia aerodinámica (s/m)

$g$  = Constante psicrométrica (mbar/K)

$r_s$  = Resistencia estomatal (s/m)

Desde la perspectiva hidrológica, una de las características más llamativas de los ecosistemas de páramo es su alto rendimiento hídrico, entendido como la proporción de precipitación ( $P$ ), que se convierte en caudal ( $Q$ ) y que se estima como  $Q/P$ . En este caso, se evaluó el rendimiento hídrico mensual y promedio para cada páramo.

Otro elemento relevante de los páramos es su regulación hídrica, entendida como la velocidad y la magnitud de la respuesta hidrológica de una cuenca ante eventos de precipitación y la conservación del caudal de estiaje, en los períodos de verano. Para analizar esta característica, se empleó el método de separación de caudales de línea recta entre los puntos de inflexión del hidrograma, con el fin de diferenciar el caudal base y el caudal de respuesta inmediata de las cuencas, a los eventos de precipitación. Para evaluar la respuesta de las cuencas a eventos de precipitación durante las distintas épocas del año, en cada una, se seleccionaron tres eventos representativos de un período de lluvias, un período seco y de la transición. Asimismo, se generaron las curvas de excedencia de caudales para el período medido, estimadas como la diferencia entre la unidad y la probabilidad de ocurrencia de un caudal dado ( $1-P$ , en  $mm.día^{-1}$ ) y que, al ser expresado en lámina de agua, incorpora el área de captación, permite comparaciones entre ellas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Características climáticas de los páramos.** La tabla 1 presenta los resultados de dos años de mediciones hidroclimáticas en los tres páramos en Colombia, incluyendo los cálculos de evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), así como la localización y la altitud de las estaciones meteorológicas. Además de los promedios, se muestran los valores extremos, que dan idea de la amplitud de los rangos que presentan estas variables. Las diferencias en las condiciones climáticas de los tres sitios, se relacionan con la altitud, la exposición a las masas de aire que ascienden desde los valles interandinos y las características de los ecosistemas circundantes. Se observa que Romerales, al ser el páramo con mayor altitud, tiene también las menores temperaturas, menor radiación

solar y fuertes vientos, todo lo opuesto a las características que presenta Belmira, páramo de menor altitud. La radiación solar, en este caso, tiene una estrecha relación con la presencia de nubes bajas y de niebla (Bruijnzeel *et al.* 2011; Mulligan, 2010). El movimiento de las masas de aire durante el día juega un papel importante en las condiciones, en el funcionamiento y en la preservación de los ecosistemas de alta montaña tropical, ya que transporta cantidades significativas de vapor de agua desde zonas bajas hacia mayores altitudes, incrementando la humedad relativa en ambientes de alta montaña y formando niebla y nubes bajas (Ruiz *et al.* 2012). Lo anterior explica también los resultados obtenidos de ET<sub>o</sub>: Chingaza, al ser más húmedo, con lluvias y niebla constantes (Cárdenas *et al.* 2017), tiene valores bajos de salida de agua por este concepto, contrario a lo que se observa para Belmira, que no solo es el páramo de menor altitud, sino que además está situado en la cima de la montaña y no cuenta con barreras que intercepten las masas de aire húmedo ascendente.

La exposición de los páramos estudiados, por su parte, determina la cantidad de precipitación que reciben: Chingaza sobresale, por ser un páramo muy húmedo, con precipitaciones anuales de más de 3.000mm, mientras que Romerales registra valores de precipitación anual por debajo de 1.000mm. Chingaza, además, muestra la tendencia monomodal en la distribución temporal de la precipitación, como consecuencia de la influencia de la cuenca del río Orinoco, mientras que los otros dos páramos presentan tendencias bimodales en su distribución anual de lluvias (Figura 2).

**Propiedades hidro-físicas de los suelos.** Los suelos de los páramos estudiados, se caracterizan por tener altos contenidos de materia orgánica, generalmente, con presencia de cenizas volcánicas, baja densidad aparente, alta conductividad hidráulica saturada y alta capacidad de retención de humedad, aún a punto de marchitez permanente (Tabla 2). Lo anterior está de acuerdo con lo reportado por diferentes autores para suelos de páramo (Buytaert, 2004; Hincapié & Tobón, 2011; Iñiguez *et al.* 2015; Mena *et al.* 2000).

El páramo de Romerales presenta suelos más profundos, pero con propiedades muy similares a las encontradas en Belmira, que tiene suelos poco profundos, mientras que el páramo de Chingaza exhibe las propiedades más características de suelos bien conservados, incluyendo la presencia de un horizonte orgánico (O). Por el contrario, el deterioro en algunas de las propiedades hidro-físicas de los suelos de Belmira y Romerales está asociado con el pisoteo del ganado y con la remoción de material vegetal por quemas, cultivos o minería –como ocurrió en Belmira–.

Belmira, a pesar haber estado sometido a diferentes procesos de alteración de coberturas y de suelos, incluyendo re-

Tabla 1. Valores anuales promedio de dos años de mediciones (2014-2016), de variables hidro-meteorológicas en los tres páramos.

Páramo	Latitud (N)	Longitud (W)	Altitud (m)	Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)		Radiación solar (W.m <sup>2</sup> )		Velocidad viento (m.s <sup>-1</sup> )		Caudal (mm)	ETa (mm)	Precipitación (mm)
				Media	Max	Min	Media	Min	Media	Max	Media	Max			
Belmira	6°39.67'	75°40.38'	3118	10,4	18,8	4,0	91,9	36,0	328	1.487	2,9	10,7	886,1	434	1.478,4
Chingaza	4°45.96'	73°49.63'	3570	11,3	26,7	0,8	85,0	25,0	271	1.019	3,4	18,1	1.979	245	3.098,1
Romerales	4°40.25'	75°25.15'	3840	5,3	13,5	0,0	90,7	13,4	257	1.390	3,8	16,6	380	273	969,7

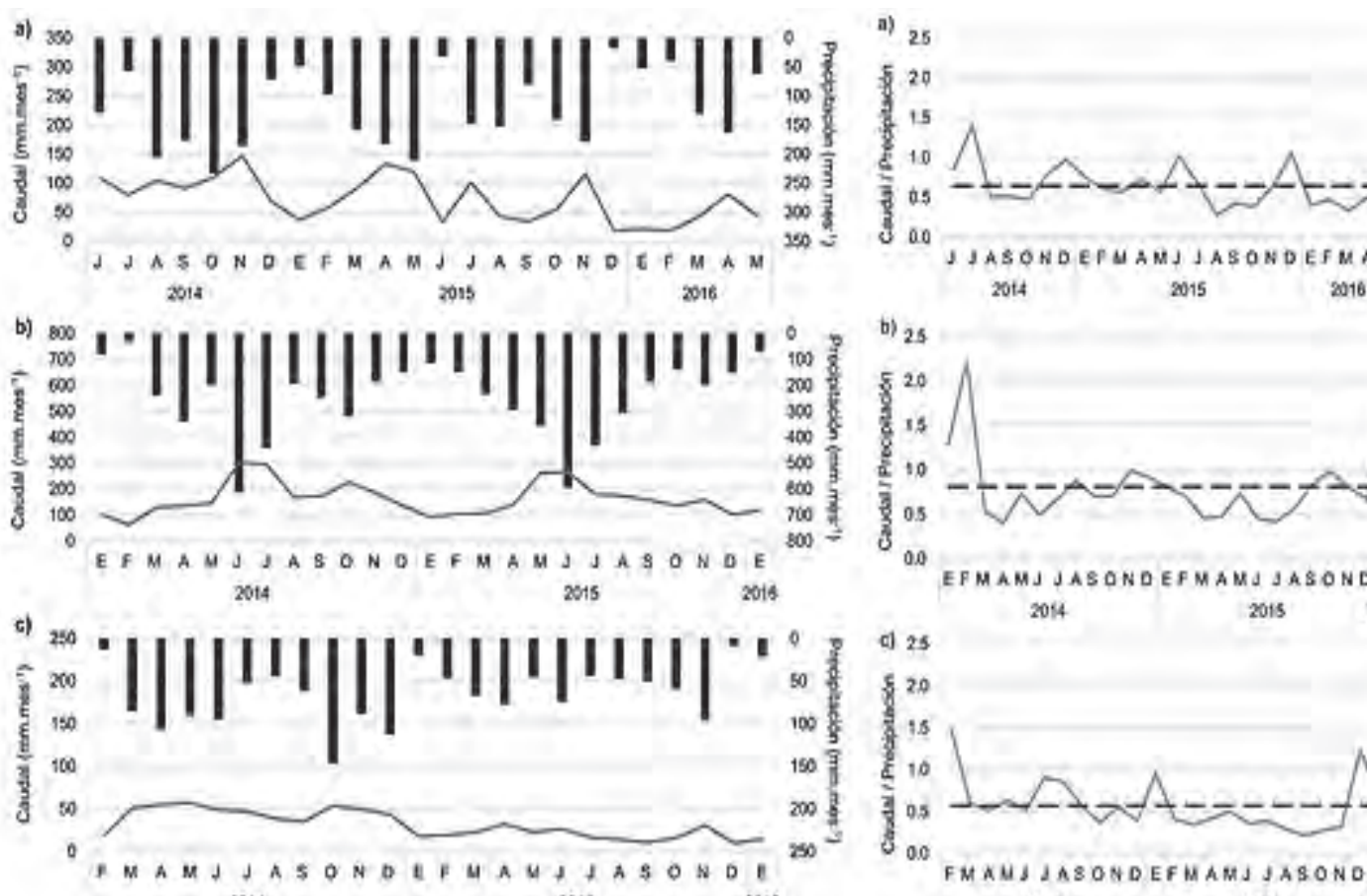


Figura 2. Precipitación y caudal mensual medidos (izq.) y rendimiento hídrico mensual (Q/P) mensual y promedio (línea punteada) en: a) Belmira, b) Chingaza y c) Romerales, para el período estudiado.

Tabla 2. Valores promedio de las propiedades hidro-físicas de los suelos, para el perfil del suelo (horizontes A, B y O cuando estaba presente).

Páramo	Profundidad del suelo (cm)	Contenido de Materia Orgánica (%)			Densidad aparente (g.cm <sup>-3</sup> )			Textura	Ks media (m.día <sup>-1</sup> )	Densidad de raíces (g.cm <sup>-3</sup> )	Horizonte O	Sat*	CC	PMP
		Media	Max	Min	Media	Max	Min							
Belmira	41,4	14,10	27,84	6,78	0,63	0,84	0,36	arenosa – franco arenosa	0,072	0,0148	Ausente	SD	0,60	0,20
Chingaza	47,9	26,26	42,55	12,77	0,43	0,67	0,30	franca	1,694	SD	Pre-sente	0,61	0,56	0,33
Romerales	71,7	14,60	24,50	1,35	0,61	0,71	0,48	franco arenosa	0,035	0,0026	Ausente	0,60	0,55	0,29

\*Sat: Contenido de humedad del suelo a saturación (10 KPa).

CC: Contenido de humedad del suelo a capacidad de campo (33 KPa).

PMP: Contenido de humedad del suelo en punto de marchitez permanente (1500 KPa).

SD: Sin dato.

moción de capas del suelo, que explican que presente suelos superficiales y poco desarrollados, ha estado bajo un proceso de restauración pasiva desde 1989, previo a su declaratoria como Distrito de Manejo Integrado (en 2007), que ha permitido que los suelos hayan recuperado sus propiedades, a niveles similares a las que presentan otros páramos, medianamente intervenidos, como el de Romerales. Más aún, para algunos de los parámetros evaluados (Tabla 2), Belmira presenta valores superiores a los de Romerales, como conductividad hidráulica saturada, densidad de raíces y la cantidad de agua disponible para las plantas (CC-PMP) que, incluso, es mayor que la del páramo de Chingaza.

Por otro lado, aunque las condiciones climáticas que prevalecen en la alta montaña del trópico son limitantes ambientales que restringen el crecimiento de las especies, es notable la velocidad de regeneración y el crecimiento que tienen las plantas adaptadas a dichos ambientes, por ejemplo, luego de eventos nocivos, como incendios (observaciones de los autores), lo cual, es contrario a la idea generalizada de que los procesos en estos ecosistemas y su vegetación son exageradamente lentos y que, por tanto, su restauración tomaría muchas décadas.

**Rendimiento hídrico en los páramos.** La figura 2 presenta el comportamiento de la precipitación y el caudal mensual, medidos en cada cuenca durante dos años y el rendimiento hídrico (Q/P) mensual y promedio para cada páramo, durante el período estudiado. Las magnitudes de los caudales, como salidas de agua del sistema, guardan proporción con las magnitudes de las entradas, aunque las relaciones mues-

tran diferencias: Belmira tiene, en promedio, un rendimiento hídrico de 0,60, mientras que en Chingaza es de 0,64 y en Romerales, de 0,39.

En Chingaza, el resultado obtenido se explica por la alta frecuencia de eventos de precipitación durante todo el año, por la menor radiación y por la permanencia de la humedad del suelo cercana a saturación, relacionada con los altos contenidos de materia orgánica y una densidad aparente muy baja. Bajo condiciones de saturación de humedad del suelo, la vegetación transpira menos, aunque las condiciones atmosféricas sean óptimas para inducir este proceso (Bruijnzeel *et al.* 2011), lo cual, determina bajas pérdidas de agua del sistema, a través de evapotranspiración (Tabla 1) y, por ende, un mayor rendimiento hídrico. Por el contrario, aun cuando el páramo de Romerales presenta una menor radiación solar, al estar a mayor altitud, tiene mayor exposición a vientos fuertes; además, sus suelos tienen menor contenido de materia orgánica comparado con el promedio de los suelos de páramos, lo que hace que la humedad de los suelos, aunque es alta, permanece por debajo de capacidad de campo. Esto último, sumado a los fuertes vientos, resulta en mayores pérdidas de agua por evapotranspiración.

De acuerdo con lo anterior, el páramo de Belmira presenta un rendimiento hídrico promedio mayor que Romerales y cercano a los valores reportados para otros páramos en Colombia (Tobón, 2009).

**Regulación hídrica.** La separación de los caudales en las tres cuencas dio como resultado que Belmira tiene la me-

nor proporción de caudal base con respecto al caudal total (61,7%), seguido por Chingaza, con 80,7%, mientras que Romerales presenta la mayor contribución del caudal base al caudal total (89,5%). Este comportamiento es coincidente con las curvas de excedencia de caudales (Figura 3), que resumen las respuestas de las cuencas estudiadas durante dos años. Las curvas de excedencia de caudales muestran que durante todo el período estudiado, en términos de lámina de caudal diario, Chingaza tiene los valores más altos, mientras que Romerales registra los más bajos, pero, además, este último evidencia mayores reducciones en su caudal durante los períodos de estiaje, como se ve en el recuadro del percentil 95, de la figura 3. También señala la figura 3, los picos de respuesta de los caudales en los percentiles más bajos: Chingaza y Belmira, por ejemplo, tienen los picos más altos; no obstante, proporcionalmente, el primero se triplica con respecto a su caudal medio, pero para el caso de Belmira, los caudales picos multiplican por 7 los caudales medios, lo que quiere decir que Belmira presenta menor regulación de sus caudales picos, lo cual, se explica por el tamaño de la cuenca –es la más pequeña-, pero, especialmente, por la

menor profundidad de sus suelos. Otra característica a resaltar en las curvas de excedencia de caudales (Figura 3) es el cambio de la pendiente, ya que los cambios en las curvas de Romerales y de Chingaza son abruptos y ocurren en porcentajes bajos (4,1 y 10,2%, respectivamente), mientras que para Belmira, no se evidencia un punto de quiebre, sino que la curva desciende suavemente, aunque se puede notar un cambio alrededor del 12,8%, lo que significa que existen diferencias en el comportamiento del caudal, entre estos páramos. De lo anterior se puede concluir, que el páramo de Chingaza tiene una adecuada regulación hidrológica, aunque presenta caudales pico, que se explican por la saturación de sus suelos; Romerales, en cambio, tiene una excelente regulación de caudales de tormenta, pero el agua retenida en los suelos parece no aportar suficiente al caudal base, que se reduce notablemente durante los períodos de sequía; Belmira, por su parte, se encuentra en una situación intermedia, puesto que los caudales pico que presenta se relacionan, principalmente, con la menor profundidad del suelo y tiene baja proporción en las curvas de caudales.

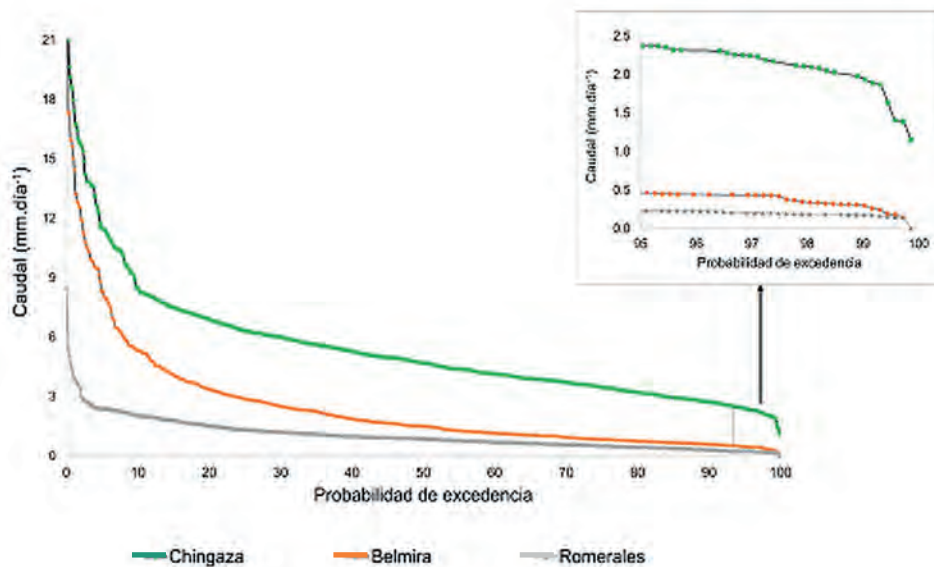


Figura 3. Curvas de probabilidad de excedencia de caudales para los tres sitios estudiados. El recuadro muestra el detalle de las curvas en el último 5%.

Asimismo, un análisis de la respuesta de las cuencas a los eventos de precipitación (Figura 4) indica que, en términos generales, los páramos de Belmira y de Chingaza presentan tiempos de retardo similares (menores a una hora). Romerales, en cambio, muestra las respuestas en el caudal unas dos horas después de los eventos de precipitación. Lo anterior

está relacionado con características propias de cada cuenca, principalmente su morfometría y el contenido de humedad de los suelos: la cuenca estudiada en Belmira tiene una menor área, forma redondeada y suelos superficiales. Chingaza presenta suelos cercanos a saturación durante la mayor parte del año. Romerales, por su parte, es la cuenca más

extensa y tiene los suelos más profundos, con contenidos de humedad por debajo de capacidad de campo, gran parte del tiempo.

**Conclusiones generales.** Del presente estudio, se puede concluir que Belmira es un buen ejemplo de cómo páramos alterados, pueden recuperar gran parte de sus características y de su funcionamiento hidrológico en pocas décadas, bajo

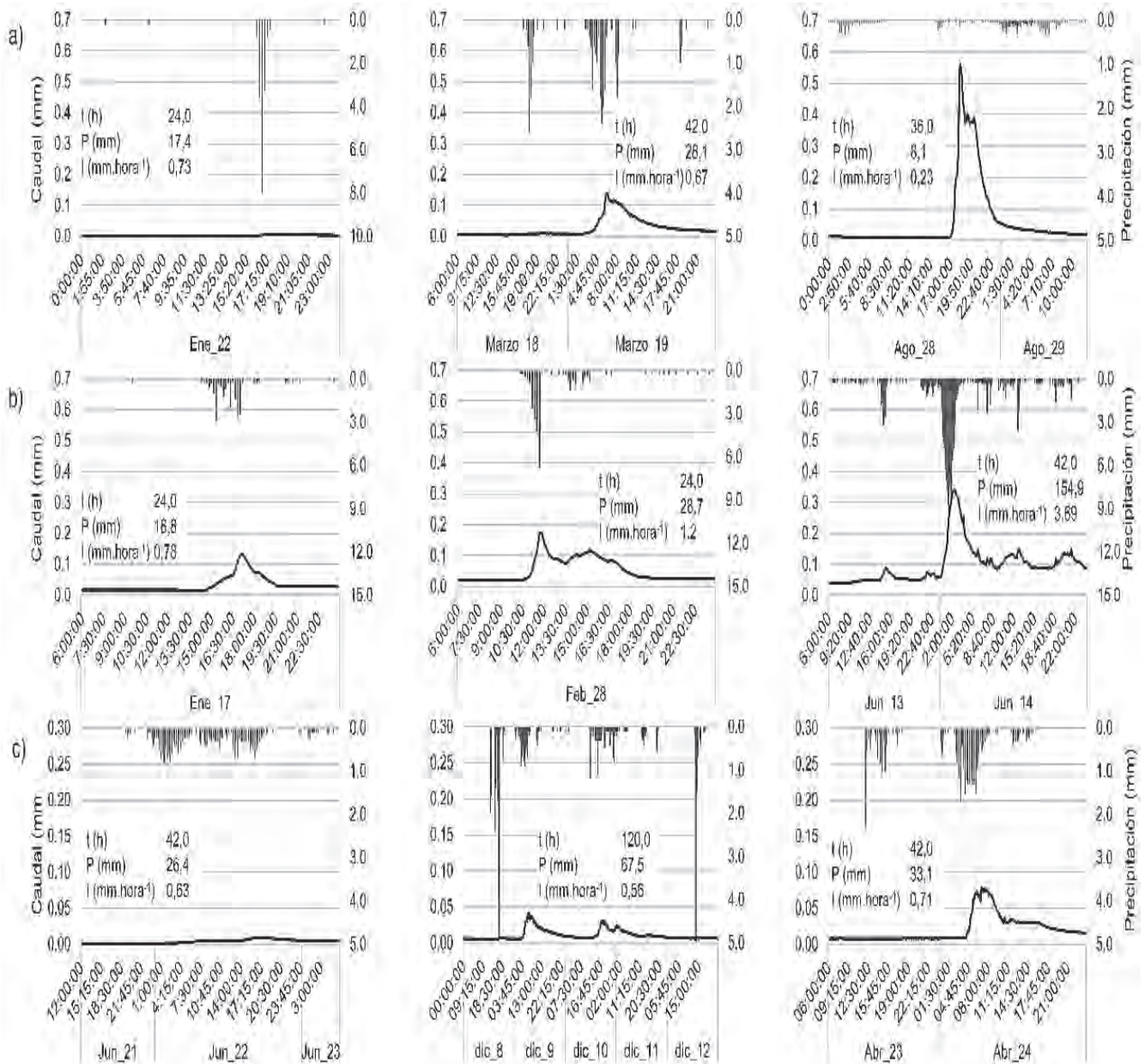


Figura 4. Eventos de lluvias y las respectivas respuestas de los caudales durante períodos de sequía, transición y períodos húmedos para: a) Belmira, b) Chingaza y c) Romerales. Los números en el recuadro señalan la duración del período seleccionado (t en horas), la precipitación total registrada en dicho período (P en mm) y la intensidad promedio (I en mm.hora<sup>-1</sup>), para cada uno de los eventos seleccionados.



un programa de protección. Específicamente, las propiedades hidrofísicas del suelo, el contenido de materia orgánica y el agua disponible para las plantas, se encuentran dentro de los rangos reportados para otros páramos y facilitan el establecimiento y el desarrollo de la vegetación, al no tener restricciones hídricas, para sus procesos fisiológicos. A su vez, las coberturas vegetales contribuyen a mejorar las condiciones biofísicas de los suelos.

En conjunto, los hallazgos reportados en este documento señalan que los páramos alterados pueden restaurar sus funciones hidrológicas en pocas décadas, incluso, bajo esquemas de restauración pasiva.

**Agradecimientos:** A Colciencias, por financiar el último año de estudios de María F. Cárdenas, a través de la convocatoria 727 - 2015 para doctorados nacionales y a la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, por su apoyo financiero, administrativo y académico a María F. Cárdenas, durante su formación doctoral. **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 Colciencias, a través del proyecto de investigación "Estudio ecohidrológicos de los páramos y los bosques alto-andinos, naturales e intervenidos: Análisis de la vulnerabilidad y adaptabilidad al cambio climático", en la convocatoria CT&i 569-2012.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BECKER, A. 2005. Runoff processes in mountain headwater catchments: Recent understanding and research challenges. In: Huber, U.M.; Bugmann, H.K.M.; Reasoner, M.A. (Eds.). *Global Change and Mountain Regions: An Overview of Current Knowledge*. Springer, Dordrecht, The Netherlands. p.283-295.
2. BRUIJNZEEL, L.A.; MULLIGAN, M.; SCATENA, F.N. 2011. Hydrometeorology of tropical montane cloud forests: emerging patterns. *Hydrol. Process.* 25:465-498.
3. BUYTAERT, W. 2004. The properties of the soils of the south Ecuadorian paramo and the impact of land use changes on their hydrology. Catholic University Leuven, Leuven, Belgium. 205p.
4. BUYTAERT, W.; CÉLLERI, R.; DE BIÈVRE, B.; CISNEROS, F.; WYSEURE, G.; DECKERS, J.; HOFSTEDE, R. 2006a. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Rev.* 79:53-72.
5. BUYTAERT, W.; DECKERS, J.; WYSEURE, G. 2006b. Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: the relation with parent material, climate and land use. *Catena.* 70:143-154.
6. BUYTAERT, W.; DECKERS, J.; WYSEURE, G. 2006c. Description and classification of nonallophanic Andosols in south Ecuadorian alpine grasslands (paramo). *Geomorphology.* 73(3-4):207-221.
7. CÁRDENAS, M.F.; TOBÓN, C.; BUYTAERT, W. 2017. Contribution of occult precipitation to the water balance of páramo ecosystems in the Colombian Andes. *Hydrological Processes.* p.1-10.
8. CÉLLERI, R.; FEYEN, J. 2009. The hydrology of tropical Andean ecosystems: Importance, knowledge status, and perspectives. *Mt. Res. Dev.* 29:350-355.
9. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CENTRO DE ANTIOQUÍA –CORANTIOQUÍA-. 1999. Páramo encuentro de Regiones. Proyecto "Conservación, Ordenamiento y Manejo del Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio Antioqueño," Medellín: Corantioquia. 134p.
10. DIAZ, H.F.; GROSJEAN, M.; GRAUMLICH, L. 2003. Climate variability and change in high elevation regions: Past, present & future. *Clim. Change.* 59:1-4.
11. FARLEY, K.; KELLY, E.; HOFSTEDE, R. 2004. Soil organic carbon and water retention after conversion of grasslands to pine plantations in the Ecuadorian Andes. *Ecosystems.* 7:729-739.
12. GOLDSMITH, G.R.; MUÑOZ-VILLERS, L.E.; HOLWERDA, F.; MCDONNELL, J.J.; ASBJORNSEN, H.; DAWSON, T.E. 2012. Stable isotopes reveal linkages among ecohydrological processes in a seasonally dry tropical montane cloud forest. *Ecohydrology.* 5:779-790.
13. GUZMÁN, P.; BATELAAN, O.; HUYSMANS, M.; WYSEURE, G. 2015. Comparative analysis of baseflow characteristics of two Andean catchments, Ecuador. *Hydrol. Process.* 29:3051-3064.
14. HERZOG, S.K.; MARTÍNEZ, R.; JØRGENSEN, P.M.; TIESSEN, H. (Eds.). 2012. *Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales*. Sao José dos Campos, y Comité Científico sobre Problemas del medio Ambiente (SCOPE), París. 410p.

15. HINCAPIÉ, E.; TOBÓN, C. 2011. Caracterización de las propiedades hidrofísicas de los andisoles en condiciones de ladera. *Rev. Suelos Ecuatoriales*. 3:67-78.
16. HOFSTEDÉ, R.; SEGARRA, P.; MENA, P. (Eds.). 2003. Los páramos del Mundo. Proyecto Atlas Mundial de Los Páramos. Global Peatland Initiative/ NC-IUCN/ EcoCiencia, Quito. 300p.
17. IÑIGUEZ, V.; MORALES, O.; CISNEROS, F.; BAUWENS, W.; WYSEURE, G. 2015. Analysis of the drought resilience of Andosols on southern Ecuadorian Andean páramos. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 12:11449-11484.
18. LORA-GÓMEZ, C.A. 2005. Proceso de Formulación e Implementación del Plan de Manejo del Parque Nacional Natural Chingaza, Bogotá. 234p.
19. MENA, P.; JOSSE, C.; MEDINA, G. (Eds.). 2000. Los Suelos del Páramo. GTP/Abya Yala, Quito. 75p.
20. MORALES, M.; OTERO, J.; VAN DER HAMMEN, T.; TORRES, A.; CADENA, C.; PEDRAZA, C.; RODRÍGUEZ, N.; FRANCO, C.; BETANCOURTH, J.C.; OLAYA, E.; POSADA, E.; CÁRDENAS, L. 2007. Atlas de páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá. 208p.
21. MOSQUERA, G.M.; LAZO, P.X.; CÉLLERI, R.; WILCOX, B.P.; CRESPO, P. 2015. Runoff from tropical alpine grasslands increases with areal extent of wetlands. *Catena*. 125:120-128.
22. MULLIGAN, M. 2010. Modelling the tropics-wide extent and distribution of cloud forests and cloud forest loss with implications for their conservation priority. In: Bruijnzeel, L.; Scatena, F.N.; Hamilton, L. (Eds.). *Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management*. Cambridge University Press, Cambridge. p.14-38.
23. OCHOA-TOCACHI, B.F.; BUUYTAERT, W.; DE BIÈVRE, B.; CÉLLERI, R.; CRESPO, P.; VILLACÍS, M.; LLERENA, C.A.; ACOSTA, L.; VILLAZÓN, M.; GUALLPA, M.; GIL-RÍOS, J.; FUENTES, P.; OLAYA, D.; VIÑAS, P.; ROJAS, G.; ARIAS, S. 2016. Impacts of land use on the hydrological response of tropical Andean catchments. *Hydrol. Process.* 30(22):4074-4089.
24. RUIZ, D.; MARTINSON, D.G.; VERGARA, W. 2012. Trends, stability and stress in the Colombian Central Andes. *Clim. Change* 112:717-732.
25. RUIZ, D.; MORENO, H.A.; GUTIÉRREZ, M.E.; ZAPATA, P.A. 2008. Changing climate and endangered high mountain ecosystems in Colombia. *Sci. Total Environ.* 398(1-3):122-132.
26. SALENTO, 2000. Esquema de Ordenamiento Territorial EOT municipio de Salento, Quindío, Salento, Quindío: Consejo Municipal de Salento. 256p.
27. TOBÓN, C. 2009. Los bosques andinos y el agua, Serie Investigación y Sistematización #4. Programa Regional ECOBONA-INTERCOOPERACIÓN, CONDESAN, Quito. 122p.

Recibido: Septiembre 13 de 2017

Aceptado: Noviembre 22 de 2017

#### Cómo citar:

Cárdenas, M.F.; Conrado Tobón, C. 2017. Recuperación del funcionamiento hidrológico de ecosistemas de páramo en Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(2): 403-412.

# EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DE QUEBRADAS ANDINAS EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA, COLOMBIA

## EVALUATION OF THE ECOLOGICAL QUALITY OF ANDEAN CREEKS IN THE MAGDALENA RIVER BASIN, COLOMBIA

Esneydy Galeano-Rendón<sup>1</sup>, Lina María Monsalve-Cortes<sup>2</sup>, Néstor Javier Mancera-Rodríguez<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Licenciada en Biología, Estudiante de Maestría en Ciencias. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, e-mail: emgaleanor@unal.edu.co; <sup>2</sup> Ingeniera Forestal, Especialista en Medio Ambiente y Geoinformática, e-mail: Immonsalc@unal.edu.co; <sup>3</sup> Doctor en Biología. Profesor Titular. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Departamento de Ciencias Forestales, Calle 59A No. 63-20, Bloque 20, oficina 211, Medellín, Colombia, e-mail: njmancer@unal.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 413-424, Julio-Diciembre, 2017

### RESUMEN

Se evaluó la calidad ecológica de cuatro quebradas andinas afluentes de los ríos Nare y Guatapé, cuenca del río Magdalena, Colombia. Se realizaron cuatro muestreos entre junio de 2011 y febrero de 2012, en tres sitios por quebrada, para un total de 12 evaluados. Se recolectaron muestras de macroinvertebrados, utilizando el método D-net, con malla de 500µm y colección manual sobre sustratos. El hábitat del río y la vegetación ribereña fueron evaluados, mediante el establecimiento de estaciones de referencia y la aplicación del Índice de Hábitat Fluvial (IHF), el Índice de calidad de la vegetación de ribera Andina (QBR-And), adaptado para los ríos andinos, el Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col) y el índice ECOSTRIAND (ECOLOGICAL STATUS RIVER ANDEAN). Se establecieron siete sitios de referencia, caracterizados por vegetación ribereña en ambos márgenes, sin alteraciones o con un bajo grado de alteración antrópica, los cuales, presentaron altos valores de IHF, QBR-And, BMWP/Col, indicando buena calidad ecológica para los ensamblajes de macroinvertebrados. Cinco sitios se determinaron como alterados con alta afectación antrópica, vegetación ribereña reducida o ausente en los dos márgenes, predominio de pastos y actividades agrícolas y bajos valores en los índices antes mencionados, lo que indica una menor calidad ecológica.

Palabras clave: Macroinvertebrados acuáticos, caracterización del hábitat, condiciones de referencia.

### SUMMARY

The ecological quality of four Andean creeks tributaries of the Nare and Guatapé Rivers, Magdalena River Basin, Colombia was evaluated. Four field samplings were carried out between June 2011 and February 2012, at three sites for each creek, for a total of 12 sites evaluated. Macroinvertebrates samples were caught using the D-net method with mesh of 500µm and manual collection on substrates. The river habitat and riparian vegetation were evaluated through of the establishment of reference stations and the application of the River Habitat Index (IHF), the Riparian-Andean vegetation quality index (QBR-And) adapted for Andean rivers, the Biological Monitoring Working Party-Colombia index (BMWP / Col), and the ECOSTRIAND index (ECOLOGICAL STATUS RIVER ANDEAN). Seven reference sites were established, which were characterized by riparian vegetation in both sides, without alterations or with a low degree of anthropic disturbance, presented high values of IHF, QBR-And, BMWP/Col, indicating good ecological quality for macroinvertebrates and fish assemblage's. Five sites were determined as altered with high anthropogenic disturbance, riparian vegetation reduced or absent in the two margins, predominance of pastures and agricultural activities, and low values in the afore mentioned indexes, which indicates less ecological quality.

Key words: Aquatic macroinvertebrates, habitat characterization, reference conditions.

### INTRODUCCIÓN

Los Andes tropicales forman parte de las regiones más propensas a experimentar altos niveles de pérdida de especies, dadas las actuales tendencias de deforestación, por la ex-

pansión de la frontera agrícola y ganadera, la contaminación acuática, la introducción de especies, la construcción de hidroeléctricas, entre otros (Anderson & Maldonado-Ocampo, 2011). En particular, las actividades agropecuarias afectan las características bióticas y abióticas de pequeñas quebradas de montaña en Colombia (Giraldo *et al.* 2014), con un fuerte impacto sobre la calidad del agua, causando graves reducciones de la diversidad biológica. Este es el caso de algunas quebradas que desembocan en los ríos Nare y Guatapé, en la cuenca del Río Magdalena, donde la deforestación se encuentra relacionada con la ampliación de pasturas para ganadería, para agricultura y el crecimiento de los asentamientos humanos. En consecuencia, las dinámicas de estos ecosistemas se ven influenciadas negativamente por la pérdida de cobertura arbórea de los márgenes y los efectos de compuestos químicos, como plaguicidas y fertilizantes, que llegan al cauce.

Para evaluar la afectación por diferentes actividades antrópicas y la calidad ecológica de los cuerpos hídricos, mediante el estudio de la diversidad de organismos presentes en ellos, es necesario contar con información de estaciones de muestreo, que sirvan de referencia (Acosta *et al.* 2009) y de métodos que permitan evaluar, de manera rápida y efectiva, la calidad ecológica de hábitats acuáticos y sus comunidades. Los sitios de referencia son escenarios con la menor interferencia humana posible y son útiles para medir el grado de alteración antrópica de otros sitios pertenecientes a la misma ecoregión (Karr, 1991; Hughes, 1995; Barbour *et al.* 2000; Bailey *et al.* 2004; Ligeiro *et al.* 2013; Pilièrea *et al.* 2014) y existen varias metodologías para definir las condiciones de referencia (Karr, 1981; Reynoldson *et al.* 1997; Stoddard *et al.* 2006; Whittier *et al.* 2007; Acosta *et al.* 2009; Moreno *et al.* 2009).

En este sentido, el estudio de calidad ecológica debe evaluar aspectos fisicoquímicos del agua, biológicos y físicos del hábitat. A nivel biológico, los macroinvertebrados acuáticos son indicadores más sensibles a la degradación del hábitat local, debido a su limitada movilidad (Kerans & Karr, 1994) y sensibilidad a bajos niveles de contaminantes, que permite la detección rápida de la degradación del cuerpo hídrico (Jacobsen, 1998; Compin & Céréghino, 2003). Por lo anterior, los ensamblajes de macroinvertebrados han sido usados como herramientas para determinar la integridad biótica de los ríos (Pilièrea *et al.* 2014; Piñón-Flores *et al.* 2014), permitiendo el desarrollo de más de cuarenta índices de biomonitorización (Herman & Nejadhashemi, 2015).

Asimismo, es importante la evaluación de la calidad de las características físicas del cauce y de la ribera, debido a que los resultados obtenidos mediante estos índices físicos son fundamentales, al considerar que un buen estado del entorno natural incide en la calidad ecológica (Bonada *et al.*

2002). Lo anterior, se hace mediante el uso de índices, especialmente diseñados para ello, como el Índice de Hábitat Fluvial (IHF), que valora la capacidad del hábitat físico para albergar una fauna determinada (Pardo *et al.* 2002) y el índice de calidad de bosque de ribera (QBR), que considera que los bosques de ribera son indicadores de la gestión antrópica del territorio (actividades de agricultura, ganadería, construcción de vías y represas, entre otros) y son elementos clave para la calificación del estado ecológico de los ríos (Suárez-Alonso *et al.* 2002).

Teniendo en cuenta, la importancia de la creciente transformación de los ecosistemas acuáticos y la pérdida de biodiversidad de los Andes colombianos por actividades antrópicas es fundamental integrar diferentes índices, que permitan evaluar la calidad ecológica y generar información necesaria para diseñar estrategias de conservación, de restauración y de protección de quebradas Andinas y bosques de ribera de estas zonas. El objetivo de este trabajo fue determinar la calidad ecológica de cuatro quebradas Andinas, con diferentes grados de perturbación antrópica, pertenecientes a la cuenca del río Magdalena, en el departamento de Antioquia, Colombia, mediante la utilización del Índice de Hábitat Fluvial (IHF), el Índice de calidad de la vegetación de ribera Andina (QBR-And), el índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col), basado en el ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos y el índice ECOlogical Status River ANDean (ECOSTRIAND).

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización y descripción del área de estudio:** El trabajo, se realizó en las quebradas La Magdalena y Las Mercedes (afluentes del río Nare) y en las quebradas Peñoles y El Cardal (afluentes del río Guatapé), ubicadas en los municipios de San Vicente, Concepción, San Rafael y San Carlos, Antioquia, Colombia (Tabla 1). En cada una de las quebradas, se seleccionaron tres sitios de muestreo, para un total de 12 estaciones y se describieron las características de uso de suelo, cobertura vegetal y grado de conservación. El territorio es montañoso, con topografía ondulada y las quebradas drenan hacia la cuenca media del río Magdalena, caracterizándose por ser torrenciales, de aguas muy claras y sin planicie aluvial (Mancera-Rodríguez *et al.* 2016). La zona presenta características de bosque húmedo tropical montano bajo, con una temperatura promedio de 18°C, para San Vicente y Concepción y de 23°C, para San Rafael y San Carlos y un patrón de precipitación bimodal con picos en mayo y octubre (Mancera-Rodríguez *et al.* 2016).

**Caracterización del hábitat:** Se valoraron los 24 atributos propuestos por Acosta *et al.* (2009), en el protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA), que incluyen la caracterización en cuatro niveles jerárquicos

Tabla 1. Características generales de las cuatro quebradas andinas afluentes de los ríos Nare y Guatapé, sistema río Magdalena, Colombia.

Quebrada	Cuenca	Estación	Coordenadas		Altitud (m.s.n.m)	Ancho medio (m)	Profundidad (m)	Observaciones
			Latitud	Longitud				
La Magdalena	Nare	E1	6°19'52.5" N	75°17'04.8" W	2140	5,2	0,50-0,90	Vegetación de ribera reducida o ausente en los dos márgenes. Predominio de actividades agropecuarias. Sustrato arenoso-pedregoso y aguas turbias por material sedimentado. Erosión en los márgenes. Predominio de rápidos y rizos en Estaciones 1 y 2 y de corrientes en la 3.
		E2	6°18'42.4" N	75°15'28.7" W	1882	9,4	0,40-1,00	
		E3	6°17'52.9" N	75°14'08.8" W	1875	14,4	0,60-1,20	
Las Mercedes	Nare	E4	6°21'30.4" N	75°10'08.3" W	1745	10,6	0,50-1,20	Vegetación de ribera con especies nativas en ambos márgenes, con un 100 % de uso de suelo en bosque. Sustratos rocosos y predominio de rápidos.
		E5	6°21'39.5" N	75°09'50.5" W	1686	15,4	0,40-1,00	
		E6	6°21'50.4" N	75°09'34.6" W	1586	13,5	0,60-1,40	
		E7	6°15'49.6" N	75°05'06.4" W	1265	14,6	0,60-1,20	
		E8	6°16'04.4" N	75°05'12.7" W	1246	13,4	0,60-1,40	
		E9	6°16'27.2" N	75°05'23.7" W	1201	16,5	0,60-1,40	
Peñoles	Guatapé	E7	6°15'49.6" N	75°05'06.4" W	1265	14,6	0,60-1,20	Vegetación de ribera con especies nativas en ambos márgenes, con un 100 % de uso de suelo en bosque en E7 y E9 y cerca de un 80% en E8 estación que presentó algunos tramos con presencia de pastos y disminución de la vegetación riparia. Sustrato pedregoso. Predominio de rápidos.
		E8	6°16'04.4" N	75°05'12.7" W	1246	13,4	0,60-1,40	
		E9	6°16'27.2" N	75°05'23.7" W	1201	16,5	0,60-1,40	
El cardal	Guatapé	E10	6°16'47.5" N	74°56'27.4" W	944	11,7	0,60-1,50	Vegetación de ribera con vegetación nativa en ambos márgenes con un 100 % de uso de suelo en bosque. Sustrato arenoso-pedregoso, presencia de materia orgánica en descomposición. Predominio de corrientes.
		E11	6°16'37.5" N	74°55'47.9" W	940	11,0	0,60-1,10	
		E12	6°16'46.6" N	74°55'24.6" W	898	11,1	0,50-0,80	

(cuenca, hidrología, tramo y lecho), para establecer las condiciones de referencia, a partir de las posibles presiones o impactos que en ellas se producen y que determinan la calidad ecológica de los ríos. Se consideraron como estaciones de referencia, aquellas con valores superiores a 100 puntos y que obtuvieron como mínimo 20 puntos en la valoración de cada nivel jerárquico, de acuerdo a la metodología propuesta por Acosta *et al.* (2009).

En una sección longitudinal de 100 m en cada estación, se describieron los tipos de micro hábitats específicos, como pozas, corrientes, rizados y rápidos, los impactos locales sobre la corriente, como barreras físicas, presencia de contaminantes o aceites y el uso del suelo predominante en las riberas, como agrícola, pecuario y de conservación de bosque. El ancho y la profundidad fueron medidos con flexómetro y una vara graduada en cm. En cada una de las estaciones seleccionadas, se midieron las siguientes variables fisicoquímicas *in situ*: oxígeno disuelto (mg/L), saturación de oxígeno (%) y temperatura superficial del agua (°C), con medidor Hanna (HI9828/4-01) y pH, conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y sólidos totales disueltos (STD), con medidor Hanna (9811-5).

**Obtención e identificación de macroinvertebrados acuáticos:** Se realizaron cuatro muestreos, que incluyeron los períodos de transición de lluvia a seco (junio de 2011), transición de seco a lluvia (septiembre de 2011), lluvia (noviembre de 2011) y seco (febrero de 2012). Dentro de cada sección de muestreo, se seleccionaron 10 puntos al azar a lo largo del tramo de 100 m de la estación, según la metodología descrita por Roldán & Ramírez (2008). En cada punto, los macroinvertebrados acuáticos se recolectaron manualmente sobre sustratos de vegetación, restos de madera sumergida, rocas y áreas de deposición, presentes en el cauce de las quebradas, con la ayuda de pinzas entomológicas. En las zonas con hojarasca y sedimento, la captura se hizo con una red tipo D de  $405\text{ cm}^2$  y poro de  $500\ \mu\text{m}$ ; las muestras fueron llevadas al laboratorio de Ecología y Conservación de Fauna Silvestre de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. La identificación taxonómica, se realizó mediante el

uso de las claves especializadas y las muestras se preservaron en alcohol al 70% y están depositadas en el Museo Entomológico Francisco Luis Gallego de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín (código MEFLG).

**Evaluación de calidad ecológica:** Se utilizaron los siguientes índices: a) el Índice de Hábitat Fluvial (IHF), propuesto por Pardo *et al.* (2002), se calculó durante el periodo seco, cuando era menor el caudal y se apreció con mayor facilidad el sustrato y las características del canal, de acuerdo a lo sugerido por Munné *et al.* (2006) y b) el Índice de calidad de la vegetación de ribera Andina (QBR-And), adaptado por Acosta *et al.* (2009), a partir del Índice QBR (Munné *et al.* 2003), para riberas tipo 3, que corresponden a una comunidad arbórea o arbustiva muy diversa. Las condiciones de vegetación en las riberas de todas las estaciones no tuvieron cambios durante los cuatro muestreos.

Para el análisis de la calidad biológica del agua, se utilizó el Índice BMWP-Col, de acuerdo a la escala adaptada para Colombia, por Roldán (2003) y algunos de los puntajes de tolerancia a la contaminación para los grupos no incluidos allí, fueron complementados por los asignados en el Índice Biológico Andino (ABI) (Ríos-Touma *et al.* 2014). Se calculó el índice BMWP-Col para cada período hidrológico y se promedió su valor por estación. Se consideró el valor del percentil 25 de las estaciones de referencia, como una aproximación adecuada al límite, entre las categorías de la calidad biológica del agua (muy bueno, bueno, regular y malo) y los cortes se realizaron de forma proporcional a la relación exponencial, definiéndose dichos límites, con el 61, 36 y 15% del percentil 25, de las estaciones de referencia (Tabla 2), de acuerdo con Acosta *et al.* (2009). Finalmente, se calculó el índice de calidad ecológica de los ríos Andinos ECOSTRIAND, modificado a partir del propuesto por Acosta *et al.* (2009), que valora de forma global la calidad del ecosistema fluvial, incluyendo la ribera, además de la calidad biológica de las aguas y de la comunidad de macroinvertebrados, usando los valores de los índices BMWP-Col y QBR-And (Tabla 2).

Tabla 2. Propuesta de establecimiento del estado ecológico de las estaciones de muestreo en función de los resultados del BMWP/Col y el QBR-And (índice ECOSTRIAND).

BMWP/Col	QBR-And		
	$\geq 75$	45-74	<45
> 102	Muy bueno	Bueno	Regular
62-102	Bueno	Regular	Malo
37-61	Regular	Malo	Pésimo
<37	Malo	Pésimo	Pésimo

Para contrastar diferencias entre los valores medios de los índices evaluados entre las estaciones de referencia y las alteradas, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y las comparaciones pareadas con la prueba Mann-Whitney, con el programa estadístico PAST (Hammer *et al.* 2001).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Características del hábitat:** De las 12 estaciones evaluadas, se consideraron siete como de referencia (58,3%), ubicadas en las quebradas Las Mercedes (E4), Peñoles (E7, E8 y E9) y El Cardal (E10, E11 y E12), las cuales, presentaron vegetación de ribera sin alteraciones o con bajo grado de perturbación antrópica (Tabla 1). Estas estaciones presentaron una temperatura superficial media del agua de 19,8°C; oxígeno disuelto de 10,0mg/L; conductividad de 26,2 $\mu$ S/cm y pH de 7,8 (Tabla 3). Asimismo, se establecieron cinco estaciones consideradas como alteradas, ubicadas en las quebradas La Magdalena (E1, E2 y E3) y Las Mercedes (E5 y E6), con alta perturbación antrópica, sin cobertura arbórea en sus márgenes, con descargas de aguas residuales, contaminación con insecticidas y fertilizantes, usados en actividades agrícolas y ganaderas, lavado de cabuya, entre otros (Tabla 1). La temperatura superficial del agua presentó un promedio de 18,7°C; oxígeno disuelto de 9,2mg/L; conductividad de 24,3 $\mu$ S/cm y pH de 8,3 (Tabla 3); en este sentido, las estaciones alteradas presentaron menor temperatura y mayores valores de pH. La diferencia de temperatura está asociada con la altura sobre el nivel del mar, ya que las estaciones alteradas están ubicadas en zonas de mayor nivel altitudinal, mientras que los mayores valores de pH pueden estar asociados con la descarga de aguas residuales, insecticidas y fertilizantes, usados en actividades agrícolas y ganaderas.

**IHF:** Las estaciones de referencia presentaron valores entre 97 y 70, con una media de 79,7 y un coeficiente de variabilidad (C.V.) de 9,8%; estos valores superiores a 70 puntos indican que el hábitat fluvial es apto para albergar diversos ensamblajes de macroinvertebrados acuáticos, peces y otros grupos de biota acuática. Por su parte, las estaciones alteradas presentaron valores entre 61 y 37, con una media de 50,6 y un C.V. de 17,2% (Tabla 3), indicando una disminución en la calidad del hábitat para estas últimas. En particular, la estación E1 presentó un valor IHF de 37, lo que indica una menor calidad de hábitat, con baja heterogeneidad, para el desarrollo de comunidades acuáticas. Valores del IHF por debajo de 40 indican serias limitaciones de calidad de hábitat, para el desarrollo de una comunidad bentónica diversa, siendo el óptimo superior a 75 (Pardo *et al.* 2002; Acosta *et al.* 2009). El valor medio del IHF fue mayor en las estaciones de referencia y significativamente diferente del valor medio de las estaciones alteradas (Mann-Whitney,  $P= 0,006$ ) y se debe a su relación con la disponibilidad de cobertura bos-

cosa de las riberas. De acuerdo con Mercer (2013) y Allan (2004), la pérdida de vegetación riparia es una perturbación que puede generar factores erosivos, que conducen a la sedimentación, a través de lixiviación de partículas de la tierra a la corriente, causando reducciones en la calidad de los sustratos, cambios en el tipo y tamaño de las partículas y la disponibilidad de nutrientes, que afectan la calidad de hábitat.

**QBR-And:** Las estaciones de referencia presentaron valores entre 95 y 70 de este índice, con una media de 82,9 y un C.V. de 10,6%, mientras que las estaciones alteradas presentaron valores entre 25 y 5, con una media de 15,0 y un C.V. de 55,8% (Tabla 3). El percentil 25 de los valores de las 7 estaciones de referencia fue de 75 y solamente E8 presentó un valor inferior. El valor medio del QBR-And fue significativamente mayor en las estaciones de referencia (Mann-Whitney,  $P= 0,005$ ) y presentó valores altos, de acuerdo a los rangos de calidad de conservación de la vegetación de ribera, propuestos para este índice y se clasificaron como áreas con vegetación ligeramente perturbada y calidad buena. De acuerdo con Wallin *et al.* (2003), las condiciones de referencia se deben asignar según los diferentes tipos de cuerpos de agua y no necesariamente representan condiciones prístinas y totalmente inalteradas, sino que cierta presión humana se puede presentar, mientras no existan efectos ecológicos o sean mínimos.

En las estaciones de referencia, se observó abundante vegetación nativa en las márgenes y una menor intervención antrópica, aumentando, significativamente, los valores en el índice QBR-And, en relación a las estaciones alteradas, donde se presentaron valores menores, clasificándose dentro del rango de calidad de conservación de la vegetación de ribera, como áreas con degradación extrema y calidad pésima, debido a la ausencia o reducción casi total de la vegetación arbórea de ribera, ocasionada por actividades agrícolas y ganaderas. Según Gergel *et al.* (2002) y Palma *et al.* (2009), la vegetación de las márgenes actúa como zonas de amortiguamiento, que detienen los nutrientes, los sedimentos y los demás contaminantes que puedan llegar al cuerpo de agua, desde los suelos adyacentes y las franjas riparias, más anchas, poseen mayor capacidad para disminuir la concentración de herbicidas y el exceso de fertilizantes, a través de la infiltración radicular. En este sentido, la calidad ecológica de los cuerpos de agua está influenciada por los bosques de ribera y los usos del suelo, en actividades antropogénicas (Bojsen & Barriga, 2002; Novotny *et al.* 2005), afectando los cambios en las variables físico químicas y la composición del sustrato (Tejerina-Garro *et al.* 2005).

**BMWP/Col:** Las estaciones de referencia presentaron valores entre 119 y 98, con una media de 107,4 y un C.V. de 6,4%,

Tabla 3. Principales medidas estadísticas de los índices y características químicas de las estaciones alteradas y de referencia, en cuatro quebradas andinas, afluentes de los ríos Nare y Guatapé, sistema río Magdalena, Colombia.

	Estaciones alteradas (5)						Estaciones de referencia (7)					
	Media	Mediana	D.S (Min-Max)	C.V %	25%	75%	Media	Mediana	D.S (Min-Max)	C.V %	25%	75%
IHF	50,6	49	8,7 (37-61)	17,2	47	59	79,7	79	7,8 (70-97)	9,8	76	80
QBR-And	15,0	20	8,4 (5-25)	55,8	5	20	82,9	85	8,8 (70-95)	10,6	75	90
BWMP/Col	60,3	64	18,1 (36-84)	30,0	44	74	107,4	107	6,9 (98-119)	6,4	102	112
# Familias macroinvertebrados	19,4	19	5,6 (10-26)	28,7	18	24	28,4	28	1,9 (26-32)	6,7	27	29,5
O <sub>2</sub> (mg/L)	9,2	9,4	1,9 (7-12)	20,5	7	11	10,0	10,2	2,2 (7,3-14,4)	22,5	8,1	10,9
pH	8,3	8,2	0,3 (8-9)	3,8	8	9	7,8	7,8	0,2 (7,5-8,0)	2,0	7,7	7,9
Conductividad (µS cm <sup>-1</sup> )	24,3	25,4	2,5 (21-28)	10,2	22	25	26,2	24,7	8,2 (16,3-40,3)	31,2	19,5	31,4
Temp. agua (°C)	18,7	18,19	1,0 (18-20)	5,2	18	20	19,8	19,6	1,5 (17-22)	7,5	19,2	20,9
Saturación de O <sub>2</sub> (%)	83,7	106,7	31,7 (30-110)	37,8	65	107	93,6	83,1	27,2 (67-151)	29,0	75,1	102,4
T.S.D (mg/L)	20,5	17,7	4,9 (16-28)	24,0	16	25	25,4	21,3	9,6 (14,3-42,3)	37,8	17,8	32,2



mientras que las estaciones alteradas presentaron valores entre 84 y 36, con una media de 60,3 y un C.V. de 30,0% (Tabla 3). De acuerdo con este índice, cinco de las estaciones de referencia presentaron valores superiores al valor del percentil 25 de este índice (102), reflejando un estado ecológico muy bueno, con aguas muy limpias, no contaminadas o poco alteradas (E4, E7, E9, E11 y E12) y dos presentaron un estado bueno, con aguas ligeramente contaminadas (E8 y E10). Con relación a las estaciones alteradas, tres de ellas presentaron estado ecológico bueno (E2, E5 y E6), mientras que E1 mostró estado regular, con aguas moderadamente contaminadas y E3 estado malo, con aguas muy contaminadas, debido, posiblemente, al desarrollo de actividades, como lavado de cabuya, que algunos habitantes de la zona realizan en la quebrada La Magdalena y a la posible lixiviación de residuos de insecticidas y de fertilizantes, usados en las actividades agrícolas, realizadas en sus márgenes. El valor medio del BMWP/Col fue significativamente mayor en las estaciones de referencia que el de las estaciones alteradas (Mann-Whitney,  $P=0,006$ ).

**ECOSTRIAND:** De acuerdo con este índice, las estaciones de referencia presentaron un estado ecológico muy bueno (E4, E7, E9, E11 y E12) o bueno (E10) y solo una de ellas fue calificada con estado ecológico regular (E8) (Tabla 4), debido, posiblemente, a la disminución de la vegetación riparia y la apertura de algunos claros en el bosque, con presencia de pastos, para ganadería, lo cual, coincide con los resultados de Acosta *et al.* (2009), donde estaciones que fueron calificadas originalmente como de referencia, resultaron como "malas", según el ECOSTRIAND, debido, especialmente, al deterioro de la vegetación de sus riberas. Por su parte, las estaciones alteradas presentaron un estado ecológico malo (E2, E5 y E6) y pésimo (E1 y E3) (Tabla 4), debido a que muestran contaminación, por las actividades agrícolas de la zona.

**Número de familias de macroinvertebrados acuáticos:** El número total de familias fue 57 (Tabla 5). Las estaciones de referencia presentaron entre 32 y 26 familias, con una media de 28,4 y un C.V. de 6,7%, mientras que las alteradas pre-

Tabla 4. Valores de los índices aplicados para las diferentes estaciones de muestreo, en cuatro quebradas Andinas, afluentes de los ríos Nare y Guatapé, sistema río Magdalena, Colombia.

Estación	Puntaje de referencia	IHF	QBR-And	BMWP/Col		ECOSTRIAND
1	82	37	20	44	Regular	Pésimo
2	80	47	5	64	Bueno	Malo
3	86	59	20	36	Malo	Pésimo
4	120*	76	95	119	Muy bueno	Muy bueno
5	94	61	25	84	Bueno	Malo
6	88	49	5	74	Bueno	Malo
7	112*	79	85	114	Muy bueno	Muy bueno
8	108*	79	70	98	Bueno	Regular
9	104*	81	75	107	Muy bueno	Muy bueno
10	114*	70	90	100	Bueno	Bueno
11	116*	97	90	109	Muy bueno	Muy bueno
12	110*	76	75	105	Muy bueno	Muy bueno

\* Estaciones consideradas como puntos de referencia.

sentaron valores entre 26 y 10, con una media de 19,4 y un C.V. de 28,7%. El percentil 25 de los valores de las estaciones de referencia fue de 27 familias (Tabla 3). El número de familias de macroinvertebrados fue significativamente mayor en las estaciones de referencia que en las alteradas (Mann-Whitney,  $P=0,007$ ), lo cual, se puede deber a la presencia de actividades agropecuarias y pérdida de coberturas arbóreas, observadas en los márgenes de las estaciones alteradas, lo

que causa mayores niveles de sedimentación, modificación del sustrato y cambios en la estructura y composición de macroinvertebrados, lo que coincide con lo encontrado por Ríos & Bailey (2006) y Palma *et al.* (2009).

El mayor número de familias de macroinvertebrados en las estaciones de referencia, se relaciona con los valores altos en el índice de QBR-And, debido a que la hojarasca producida

Tabla 5. Familias de macroinvertebrados acuáticos en estaciones alteradas y de referencia.

Clase/Orden	Superfamilia/ Familia	Alteradas	Referencia
Coleoptera	Dryopidae	X	X
	Elmidae	X	X
	Hidrophilidae		X
	Limnychidae		X
	Lutrochidae		X
	Psephenidae	X	X
	Ptilodactylidae	X	X
	Scirtidae	X	X
Diptera	Blephariceridae	X	X
	Ceratopogonidae		X
	Chironomidae	X	X
	Dolichopodidae		X
	Muscidae	X	
	Psychodidae		X
	Simuliidae	X	X
	Tipulidae	X	X
Ephemeroptera	Baetidae	X	X
	Euthyplociidae		X
	Leptohephidae		X
	Leptophlebiidae	X	X
	Oligoneuriidae		X
	Tricorythidae	X	X
Hemiptera	Belostomatidae	X	X
	Corixidae		X
	Gerridae		X
	Hebridae	X	X
	Naucoridae	X	X
	Notonectidae		X
	Saldidae	X	X
	Veliidae	X	X
Lepidoptera	Crambidae	X	X
	Pyralidae	X	X
Megaloptera	Corydalidae	X	X
Odonata	Aeshnidae		X
	Calopterygidae	X	X
	Coenagrionidae	X	X
	Gomphidae		X
	Libellulidae	X	X
	Megapodagrionidae		X
Plecoptera	Perlidae	X	X

Continuación Tabla 5.

	Glossosomatidae	X	X
	Helicopsychidae	X	X
	Hydrobiosidae	X	X
	Hydropsychidae	X	X
	Hydroptilidae	X	X
	Leptoceridae	X	X
	Odontoceridae	X	
Trichoptera	Philopotamidae	X	X
*Hydracarina	Eylaoidea	X	
	Hygrobatoidea	X	X
	Basommatophora	X	X
Gastropoda	Ampullariidae		X
	Planorbidae	X	X
Gordioidea	*Gordiidae	X	
Clitellata	Tubificidae	X	
Tricladida	Sin identificar	X	X
*Turbellaria	Planariidae	X	X

\*Uso de puntajes asignados en el Índice Biológico Andino (ABI) (Ríos-Touma *et al.* 2014).

por el dosel genera una mayor heterogeneidad de hábitats, disponibles para las comunidades biológicas. Al respecto, se conoce que los patrones de diversidad se relacionan con el bosque de ribera, porque la hojarasca producida por el dosel genera una mayor heterogeneidad de hábitats y recursos disponibles para las comunidades biológicas (Teresa & Cassati, 2010).

En síntesis, los altos valores de IHF, en estaciones de referencia, coincidieron con valores significativamente mayores de los índices QBR-And, BMWP/col y ECOSTRIAND, con relación a las estaciones alteradas. Al respecto, Pardo *et al.* (2002) mencionan que es evidente la importancia de la alteración del hábitat sobre las comunidades de invertebrados acuáticos, ya que la disminución de los valores del IHF y el número de familias de invertebrados se corresponden con un gradiente de disminución de la calidad biológica. Los cinco sitios considerados alterados presentaron alta transformación antrópica, vegetación ribereña reducida o ausente en los dos márgenes, predominio de pastos y actividades agrícolas y bajos valores en los índices antes mencionados, lo que indica una menor calidad ecológica. A pesar de que el índice BMWP/Col usado para evaluar la calidad hídrica presenta tres de las cinco estaciones alteradas con calidad hídrica buena, los índices QBR-And, IHF, ECOSTRIAND y el número de familias de macroinvertebrados muestran que existe una disminución significativa de la calidad ecológica en las estaciones alteradas, con relación a las de referencia. Finalmente, el uso de índices físicos y biológicos se ve como

una herramienta útil para la determinación de la calidad ecológica de los ecosistemas acuáticos andinos, teniendo en cuenta que la heterogeneidad espacial y temporal de los hábitats fluviales permite la presencia de mayor diversidad. Su utilización puede ayudar a establecer acciones de protección de las quebradas y hábitats ribereños e identificar tramos de ríos con escasa o nula intervención humana y en muy buen estado ecológico, que puedan ser sugeridos para la creación o declaración de áreas protegidas, como reservas naturales fluviales, que garanticen el mantenimiento de su calidad ecológica. Asimismo, el uso de los ensamblajes de macroinvertebrados acuáticos es una herramienta útil para determinar la calidad ecológica de los cuerpos hídricos, debido a las respuestas diferenciadas de los diversos grupos taxonómicos a la degradación por influencia humana; no obstante, aún es necesario ampliar la información sobre los rangos de tolerancia de los organismos a las diferentes presiones antrópicas y las respuestas específicas de las diferentes comunidades bióticas.

Para el área de estudio, las siete estaciones establecidas como de referencia cumplieron con las condiciones de conservación biológica y física del hábitat, que permiten valorarlas como tal, de acuerdo a los resultados de los índices IHF, QBR-And y ECOSTRIDAND y a que no presentaron presencia de basuras, de contaminación orgánica evidente o derivación del caudal; sin embargo, se evidenció un gradiente de calidad, en el que las estaciones E4, E7, E9, E11 y E12 presentaron los valores más altos de IHF y QBR-And,

así como calidad muy buena para los índices BMWP/col y ECOSTRIAND, seguidas de la estación E10, que presentó calidad buena, para los índices BMWP/col y ECOSTRIAND y un menor valor de IHF y de la estación E8, que presentó calidad buena, para el índice BMWP/col y regular para el índice ECOSTRIAND, con un menor valor de QBR-And, debido a que presentó algunos tramos con presencia de pastos y disminución de la vegetación riparia.

La aplicación de los distintos índices en relación a su sensibilidad para diagnosticar los cambios en el uso del suelo, mostraron que el índice ECOSTRIAND presentó un mejor poder discriminatorio entre estaciones de muestreo, ya que combina los valores de los índices BMWP-Col y QBR-And y valora, de forma global, la calidad del ecosistema fluvial, incluyendo la ribera, además de la calidad biológica de las aguas y de la comunidad de macroinvertebrados.

**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:** Información obtenida en el proyecto “Estudio de la biología, ecología y diversidad genética de las poblaciones naturales de sabaleta *Brycon henni* en las cuencas de los ríos Nare y Guatapé, Antioquia”, financiado por la empresa ISAGEN S.A. E.S.P.; la Corporación Autónoma Regional de los Ríos Negro y Nare –CORNARE y la Universidad Nacional de Colombia.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA, R.; RÍOS, B.; RIERADEVALL, M.; PRAT, N. 2009. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos Andinos (C.E.R.A) y su aplicación en dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*. 28(1):35-64.
- ALLAN, J.D. 2004. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 35:257-284.
- ANDERSON, E.P.; MALDONADO-OCAMPO, J. 2011. A regional perspective on the diversity and conservation of tropical Andean. *Conserv. Biol.* 25(1):30-39.
- BAILEY, R.; NORRIS, R.; REYNOLDS, T. 2004. *Bioassessment of Freshwater Ecosystems using the Reference Condition Approach*. Kluwer Academic Publishers, Boston. 170p.
- BARBOUR, M.; SWIETLIK, W.; JACKSON, S.; COURTE-MANCH, D.; DAVIES, S.; YODER, C. 2000. Measuring the attainment of biological integrity in the USA: a critical element of ecological integrity. *Hydrobiologia*. 422/423:453-464.
- BOJSEN, B.H.; BARRIGA, R. 2002. Effects of deforestation on fish community structure in Ecuadorian Amazon streams. *Freshwater Biol.* 47:2246-2260.
- BONADA, N.; PRAT, N.; MUNNÉ, A.; RIERADEVALL, M.; ALBA-TERCEDOR, J.; ÁLVAREZ, M.; AVILÉS, J.; CASAS, J.; JÁIMEZ-CUÉLLAR, P.; MELLADO, A.; ORTEGA, M.; PARDO, I.; ROBLES, S.; SAÍNZ-CANTERO, C.; SÁNCHEZ-ORTEGA, A.; SUÁREZ, M.L.; TORO, M.; VIDAL-ABARCA, M.R.; VIVAS, S.; ZAMORA-MUÑOZ, C. 2002. Criterios para la selección de condiciones de referencia en los ríos mediterráneos. Resultados del proyecto GÚADALMED1. *Limnetica*, 21(3-4):99-114.
- COMPIN, A.; CÉRÉGHINO, R. 2003. Sensitivity of aquatic insect species richness to disturbance in the Adour-Garonne stream system (France). *Ecol. Indic.* 3(2):135-142.
- GERGEL, S.E.; TURNER, M.G.; MILLER, J.R.; MELACK, J.M.; STANLEY, E.H. 2002. Landscape indicators of human impacts to riverine systems. *Aquat. Sci.* 64:118-128.
- GIRALDO, L.P.; CHARÁ, J.; ZÚÑIGA, M.C.; CHARÁ-SERNA, A.; PEDRAZA, G. 2014. Impacto del uso del suelo agropecuario sobre macroinvertebrados acuáticos en pequeñas quebradas de la cuenca del río La Vieja (Valle del Cauca, Colombia). *Rev. Biol. Trop.* 62(2):203-219.
- HAMMER, Ø.; HARPER, D.; RYAN, P. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontología Electrónica* [Computer program]. Retrieved from [http://palaeoelectronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeoelectronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm).
- HERMAN, M.R.; NEJADHASHEMI, A.P. 2015. A review of macroinvertebrate-and fish-based stream health indices. *Ecohydrol. Hydrobiol.* 15(2):53-67.
- HUGHES, R. 1995. Defining acceptable biological status by comparing with reference conditions. In Davis, W.S.; SIMON, T.P. (Eds.). *Biological assessment and criteria: tools for water resource planning and decision making*. Boca Raton: CRC Press Inc. 432p.
- JACOBSEN, D. 1998. The effect of organic pollution on the macroinvertebrate fauna of Ecuadorian highland streams. *Archiv für Hydrobiologie* 143(2):179-195.

15. KARR, J. 1991. Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management. *Ecol. Appl.* 1:66-84.
16. KARR, J. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries.* 6:21-27.
17. KERANS, B.L.; KARR, J.R. 1994. A benthic index of biological integrity (B-IBI) for rivers of the Tennessee valley. *Ecol. Appl.* 4:768-785.
18. LIGEIRO, R.; HUGHES, R.; KAUFMANN, P.; MACEDO, D.; FIRMIANO, K.; FERREIRA, W.; OLIVEIRA, D.; MELO, A.; CALLISTO, M. 2013. Defining quantitative stream disturbance gradients and the additive role of habitat variation to explain macroinvertebrate taxa richness. *Ecol. Ind.* 25:45-57.
19. MANCERA-RODRÍGUEZ, N.J.; CASTELLANOS-BARLIZA, J.; URREGO-BALLESTAS, D. 2016. Biología reproductiva de *Saccodon dariensis* (Teleostei: Parodontidae) en afluentes del río Guatapé, cuenca del río Magdalena, Colombia. *Rev. Biol. Trop.* 64(2):635-653.
20. MERCER, E.; MERCER, T.; SAYOK, A. 2013. Effects of forest conversions to oil palm plantations on freshwater macroinvertebrates: a case study from Sarawak, Malaysia. *J. Land Use Sci.* 9(3):260-277.
21. MORENO, P.; FRANÇA, J.; FERREIRA, W.; PAZ, A.; MONTEIRO, I.; CALLISTO, M. 2009. Use of the BEAST model for biomonitoring water quality in a neotropical basin. *Hydrobiologia.* 630:231-242.
22. MUNNÉ, A.; SOLÀ, C.; PAGÈS, J. 2006. HIDRI: Protocolo para la valoración de la calidad hidromorfológica de los ríos. Barcelona, España: Agència Catalana de l'Aigua. 160p.
23. MUNNÉ, A.; PRANT, N.; SOLÀ, C.; BONADA, N.; RIERA-DEVALL, M. 2003. A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams. *QBR index.* *Aquat Conserv.* 13:147-164.
24. NOVOTNY, V.; BARTOSOVA, A.; O'REILLY, N.; EHLINGER, T. 2005. Unlocking the relationship of biotic integrity of impaired waters to anthropogenic stresses. *Water Res.* 39(1):184-198.
25. PALMA, A.; FIGUEROA, R.; RUIZ, V. 2009. Evaluación de ribera y hábitat fluvial a través de los índices QBR e IHF. *Gayana* 73(1):57-63.
26. PARDO, I.; ÁLVAREZ, M.; CASAS, J.; MORENO, J.L.; VIVAS, S.; BONADA, N.; ALBA-TERCEDOR, J.; JAIME-CUÉLLAR, P.; MOYA, G.; PRANT, N.; ROBLES, S.; SUÁREZ, L.M.; TORO, M.; VIDAL-ABARCA, R.M. 2002. El hábitat de los ríos mediterráneos diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Lim.* 21(3-4):115-134.
27. PILIÈREA, A.; SCHIPPERA, A.; BREUREA, A.; POSTHUMAB, L.; ZWARTB, D.; DYERC, S.; HUIJBREGTS, M. 2014. Comparing responses of freshwater fish and invertebrate community integrity along multiple environmental gradients. *ECOL INDIC.* 43:215-226.
28. PIÑÓN-FLORES, M.A.; PÉREZ-MUNGUÍA, R.M.; TORRES-GARCÍA, U.; PINEDA-LÓPEZ, R. 2014. Integridad biótica de la microcuenca del río Chiquito, Morelia Michoacán, México, basada en el ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos. *Rev Biol Trop.* 62(2):219-229.
29. REYNOLDSON, T.; NORRIS, R.; RESH, V.; DAY, K.; ROSENBERG, D. 1997. The reference condition: A comparison of multimetric and multivariate approaches to assess water-quality impairment using benthic macroinvertebrate. *Nor. Amer. Bent. Soc.* 16(4):833-852.
30. RÍOS, S.L.; BAILEY, R.C. 2006. Relationship between riparian vegetation and stream benthic communities at three spatial scales. *Hydrobiologia.* 553:153-160.
31. RÍOS-TOUMA, B.; ACOSTA, R.; PRAT, N. 2014. The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Rev. Biol. Trop.* 62(2):249-273.
32. ROLDÁN, G.; RAMÍREZ, J. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia. 440p.
33. ROLDÁN, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia. 175p.
34. STODDARD, J.; LARSEN, D.; HAWKINS, C.; JOHNSON, R.; NORRIS, R. 2006. Setting expectations for the ecological condition of running waters: the concept of reference condition. *Ecol. Appl.* 16:1267-1276.
35. SUÁREZ-ALONSO, M.L.; VIDAL-ABARCA, M.R.; SÁNCHEZ-MONTOYA, M.M.; ALBA-TERCEDOR, J.; ÁLVAREZ, M.; AVILÉS, J.; BONADA, N.; CASAS, J.; JAÍMEZ-CUÉLLAR, P.; MUNNÉ, A.; PARDO, I.; PRAT,

- N.; RIERADEVALL, M.; SALINAS, J.M.; TORO, M.; VIVAS, S. 2002. La ribera de los ríos mediterráneos y su calidad: el uso del índice QBR. *Limnetica* 21(3-4):135-148.
36. TEJERINA-GARRO, F.; MALDONADO, M.; IBÁÑEZ, C.; PONT, D.; ROSET, N.; OBERDORFF, T. 2005. Effects of natural and anthropogenic environmental changes on riverine fish assemblages: a framework for ecological assessment of rivers. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 48(1):91-108.
37. TERESA, F.; CASATTI, L. 2010. Importância da vegetação ripária em região intensamente desmatada no sudeste do Brasil: um estudo com peixes de riacho. *J Aquat Sci.* 5(3):444-453.
38. WALLIN, M.; WIEDERHOLM, T.; JOHNSON, R.K. 2003. Guidance on establishing reference conditions and ecological status class boundaries for inland surface waters. Sweden: CIS Working Group 2.3. REFCOND. 93p.
39. WHITTIER, T.; STODDARD, J.; LARSEN, D.; HERLIHY, A. 2007. Selecting reference sites for stream biological assessments: best professional judgment or objective criteria. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 26(2):349-360.

Recibido: Mayo 18 de 2017

Aceptado: Noviembre 20 de 2017

#### Cómo citar:

Galeano-Rendón, E.; Monsalve-Cortes, L.M.; Mancera-Rodríguez, N.J. 2017. Evaluación de la calidad ecológica de quebradas andinas en la cuenca del río Magdalena, Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(2): 413-424.

# CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE PLOMO CON INTERCAMBIADORES CATIONICOS DE CARBÓN XANTADO

## ADSORPTION CAPACITY OF LEAD WITH CATIONICS EXCHANGERS OF XANTED COAL

Fredy Colpas Castillo<sup>1</sup>, Arnulfo Tarón Dunoyer<sup>2</sup>, Yelitz Vasquez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Químico, M.Sc., Profesor investigador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Química, Grupo de investigación Carboquímica. Universidad de Cartagena, Campus de San Pablo, Cartagena-Bolívar, Colombia, e-mail: fcolpasc1@unicartagena.edu.co; <sup>2</sup>Químico Farmacéutico, M.Sc., Profesor investigador, Facultad de Ingenierías, Grupo de GIBAE. Universidad de Cartagena, Av. del Consulado Calle 30 # 48-152, Cartagena-Bolívar, Colombia, e-mail: atarond@unicartagena.edu.co; <sup>3</sup>Químico Puro, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Química, Grupo de investigación Carboquímica. Universidad de Cartagena, e-mail: yelitzavasquez2792@gmail.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 425-433, Julio-Diciembre 2017

### RESUMEN

En este estudio, se describe la adsorción de plomo ( $Pb^{2+}$ ) en soluciones acuosas, a partir de carbón modificado, mediante tratamiento con  $CS_2$  y NaOH, empleando una relación 16,6:1 NaOH/Carbón p/p y 4,08:1  $CS_2$ /carbón p/p. Se realizaron pruebas de pH, cinéticas e isothermas de adsorción, para evaluar la capacidad de adsorción del carbón xantado y carbón no xantado. Los grupos azufre en el carbón xantado fueron identificados por espectroscopia infrarroja de reflectancia difusa (FTIR) y comparados con los espectros del carbón no xantado. Los resultados muestran que la mejor remoción de plomo en la solución con una concentración de 100mg de  $Pb^{2+}$ /L y dosis de 50mg de adsorbente/10mL, respectivamente, fue a un valor de pH 5,0, logrando un porcentaje de adsorción de 98%. Los estudios cinéticos indican que el proceso de adsorción puede alcanzar el equilibrio alrededor de 120min, siguiendo una cinética de pseudo-segundo orden, para ambos materiales. El estudio de las isothermas indica que el carbón se ajusta mejor a una isoterma de tipo Langmuir y cuando se somete a la xantación, se ajusta a una isoterma de tipo Freundlich.

Palabras clave: Carbón, isoterma Langmuir, xantatos, efluentes industriales.

### SUMMARY

This study describes the adsorption of lead ( $Pb^{2+}$ ) in aqueous solutions of modified coal by treatment with  $CS_2$  and NaOH, using a ratio of 16,6:1 NaOH/coal (w/w) and 4,08  $CS_2$ /coal (w/w). Different tests such as acidity, kinetic and

adsorption isotherms were carried out in order to assess the adsorption capacity of xanted and non-xanted coal. The sulfur groups presented in the xanted coal were identified by infrared spectroscopy (FTIR) and they were compared with non-xanted coal spectrum. The results show that the best lead removal in the solution (with a concentration of 100mg  $Pb^{2+}$ /L and 50mg of adsorbent) was obtained at pH 5.0 for both coal (xanted and non-xanted) with an adsorption percentage of 98%. The kinetic studies indicate that the adsorption process can reach the equilibrium in about 120 minutes, following a pseudo-second order kinetics for both materials. The isotherms study indicates that the coal fits best to a Langmuir-type isotherm, however when the coal is xanted, it fits best to a Freundlich-type isotherm.

Key words: Coal, Langmuir isotherm, xanthates, industrial effluents.

### INTRODUCCIÓN

La contaminación de los cuerpos de agua con plomo y otros metales pesados ha puesto en peligro la salud de seres humanos y animales, pues al no degradarse, los metales se pueden acumular en los tejidos vivos, causando diversas enfermedades y trastornos, por su efecto tóxico y cancerígeno (Wan & Hanafiah, 2008). Actualmente, existen diferentes focos de contaminación por plomo en los cuerpos de agua de la bahía de Cartagena, a consecuencia de la actividad industrial que se lleva a cabo en la zona de mamonal, en especial, en las empresas del sector petroquímico, donde se hace necesario implementar sistemas de tratamiento adecuados. A fin de remover estos metales pesados de las aguas

residuales, se han utilizado diversos métodos convencionales; sin embargo, estos métodos no son económicos ni eficaces, cuando la concentración de los metales se encuentra en un intervalo de concentración de 1 a 100mgL<sup>-1</sup> (Torres *et al.* 2013).

Las unidades de intercambio iónico son sistemas de tratamiento de aguas residuales adecuados para la remoción de metales pesados, los cuales, utilizan un lecho relleno de material sólido, con propiedades de intercambio iónico, para la remoción de contaminantes. El material sólido, generalmente utilizado, consiste en una resina polimérica de origen sintético importada y fabricada en Estados Unidos.

La obtención de resinas de intercambio iónico a partir de recurso natural no renovable y abundante, como es el caso del carbón mineral, es una alternativa importante para el desarrollo de la investigación encaminada a la obtención de nuevo material de intercambio iónico, dada la importancia de su aplicación y de su valor comercial.

El carbón es un mineral que presenta en su composición química radicales carboxílicos y fenólicos, los cuales, lo hacen un sustrato ideal para la síntesis de xantatos, por su alto contenido de grupos funcionales hidroxilo, aumentando drásticamente la capacidad de intercambio de iones, por medio de la incorporación de grupos xantatos o sulfonación a la matriz carbonosa. Así lo demuestra el trabajo realizado por Orjuela *et al.* (2000), que obtuvo intercambiadores catiónicos de acidez fuerte, a partir de la sulfonación de cuatro carbones colombianos. Los grupos azufre, se caracterizan por tener una alta afinidad por metales pesados, pero una baja afinidad por metales ligeros. Los xantatos, se forman por reacción de un sustrato orgánico que contiene grupos hidroxilos con disulfuro de carbono, en condiciones básicas (Liang *et al.* 2009). Los carbones de medio rango presentan, en su estructura, un porcentaje importante de oxígeno, que lo hace ser importante para la incorporación de grupos xantatos, en la matriz carbonosa.

En estado natural, los carbones de bajo rango, como los lignitos y los sub-bituminosos, presentan alguna capacidad de intercambio, debido a la presencia de radicales carboxílicos y fenólicos, que son poco estables, de carácter débil, con facilidad de ionización y posterior desactivación en soluciones iónicas

La retención de metales pesados, a partir de la incorporación de grupos xantatos en materiales carbonosos ha sido materia de interés, destacando las investigaciones adelantadas por Haenel (1992), donde utilizó la xantación para aumentar el contenido de grupos funcionales, para la formación de complejos de metales en el carbón, a través de los electrones libre enlazantes del disulfuro de carbono CS<sub>2</sub> (Khalir *et al.*

2012). En otro estudio, se prepararon resinas de intercambio iónico, a partir de xantación de residuos maderosos, obteniendo resultados importantes en la remoción de plomo en soluciones acuosas; sus resultados reflejaron el aumento en la remoción de plomo, entre el material xantado y sin xantizar (Nuñez *et al.* 2017). En esta investigación, se propone un proceso para el aprovechamiento de residuos agroindustriales, útiles en la obtención de resinas de intercambio iónico, a partir de residuos maderosos, de actividades forestales. Se prepara un adsorbente, a partir de la incorporación de grupos xantatos a la superficie del carbón y la evaluación de su factibilidad, para adsorber Pb<sup>2+</sup> de soluciones acuosas, mediante estudios de adsorción, estudios cinéticos y de valores de pH, favorables para la adsorción.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En esta investigación, se utilizó un diseño experimental de tipo factorial, a un solo nivel, para un solo tipo de carbón, ensayando tres valores de pH y realizando todas las experiencias por triplicado. La concentración de Pb<sup>2+</sup> se determinó por espectrometría de absorción atómica de llama, en un equipo ICE 3000 Thermo Scientific, con corrección Zeeman. Las soluciones fueron preparadas aplicando una solución amortiguadora de acetato de sodio/ácido acético, ajustando la fuerza iónica con NaCl. Todos los reactivos utilizados fueron de grado analítico.

**Xantación del material adsorbente:** Para realizar la xantación, se utilizó carbón sub-bituminoso de características térmicas favorables, bajo nivel de azufre, de cenizas y con bajas emisiones de óxidos de nitrógeno, procedente de la mina El Descanso, ubicada en el corregimiento de la Loma, del departamento del Cesar (Colombia).

Primeramente, el mineral fue sumergido en una solución de acetona de grado reactivo durante de siete días, para lograr su hinchamiento y transcurrido este periodo, se lavó varias veces con agua destilada, hasta obtener valores constantes en la conductividad del agua de lavado y se secó a 70°C, por 24h. Posteriormente, se molió en un molino de bolas, para reducir su tamaño de partículas; se tamizó, para seleccionar un tamaño de partícula de 0,225mm; posteriormente, se lavó con HCl 0,1N y, por último, con agua destilada, hasta pH neutro; luego, se secó a 70°C por 24h, para eliminar sustancias de color y posibles contaminantes. El producto obtenido se denominó C.

A continuación, se tomaron 25g de carbón hinchado y del mismo tamaño de partícula y se introdujeron en un recipiente de polietileno de 2L, agitado mecánicamente. Se adicionaron 424mL de una solución 4M de NaOH, empleando una relación 16.6:1 NaOH/carbón p/p, agitando por tres horas; luego, 102mL de CS<sub>2</sub> puro, con una relación 4,08:1 CS<sub>2</sub>/



carbón p/p, agitando por cuatro horas; se dejó la mezcla en reposo por 16 horas y, posteriormente, se realizó un filtrado; se lavó varias veces con agua desionizada y se secó, a una temperatura de 70°C, de acuerdo con la metodología de Saswati & Vinod (2006). Este producto se denominó CS.

**Experimentos de adsorción:** El efecto del pH sobre la adsorción de  $Pb^{2+}$  se examinó a partir de la mezcla de 50mg de CS y C, con 10mL de solución de 100ppm de  $Pb^{2+}$ , en un beaker de 100mL, a 25°C. Los análisis, se realizaron a valores de pH, comprendidos entre 3,0 y 5,0 ajustando mediante la adición de solución 0,1M, de  $HNO_3$  y 0,1M, de NaOH. Después de tres horas de agitación, las soluciones se filtraron y se determinó la concentración del filtrado. Para el estudio cinético de  $Pb^{2+}$ , se mezclaron 500mg de adsorbente, con 100mL de solución, a una concentración de 100ppm de  $Pb^{2+}$ , en un Erlenmeyer de 250mL, a un valor de pH =5,0 durante 2,2h, a 25°C. Posteriormente, se extrajeron muestras a diferentes intervalos de tiempo y se sometieron a un proceso de filtración, para luego determinar su concentración. Los experimentos de adsorción para  $Pb^{2+}$  fueron realizados en un beaker de 100mL, mezclando 50mg de adsorbente, con 10mL de solución de  $Pb^{2+}$  de 25, 50, 100, 200 o 400ppm, a un pH=5, durante dos horas, a 25°C. La cantidad de metal adsorbido se determinó usando la ecuación 1 (Nuñez *et al.* 2017):

$$q_e = \frac{C_0 V_0 - C_e V_0}{m} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde: Cantidad de metal adsorbido;  $C_0$  es la concentración inicial de  $Pb^{2+}$  en  $mgL^{-1}$ ;  $V_0$  el volumen inicial de la solución en L;  $C_e$ , la concentración en el equilibrio de  $Pb^{2+}$  en  $mgL^{-1}$  y m es la masa del adsorbente.

**Caracterización de los adsorbentes:** Los espectros infrarrojos de C y CS, se obtuvieron mezclando y macerando 1mg de muestra con 100mg de KBr, comprimiendo, para obtener una pastilla, que se analizó en un equipo de FTIR

(SHIMADZU-8400), en el rango de  $4000-400cm^{-1}$ , para identificar los grupos funcionales que intervienen en la adsorción de metales pesados.

**Análisis estadísticos:** Los datos, se analizaron mediante ANOVA (una vía), para determinar diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre las muestras. Se utilizó el software SPSS (versión 17.0 para Windows). Todos los ensayos se realizaron por triplicado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis próximo y último del carbón mineral, se realizó según las normas ASTM; estos resultados se aprecian en la tabla 1. De acuerdo con los resultados del análisis próximo y último se puede afirmar, que el carbón procedente de la mina El Descanso es de tipo subbituminoso, cuya macroestructura presenta grupos funcionales y compuestos alifáticos, que actúan como fase móvil, que lo hacen importante para darle funcionabilidad a la matriz carbonosa, mediante la reacción de xantación, que permite la incorporación de los grupos xantatos.

**Efecto del pH:** En la figura 1, se observa que el pH es un factor que afecta la adsorción de metales pesados en solución acuosa. El porcentaje de plomo adsorbido se determinó mediante la ecuación 2:

$$Q = (C_i - C_f) * V / m \quad (\text{Ec 2})$$

Donde: Q es la capacidad de adsorción (mg de metal/g de adsorbente); V es el volumen de la solución (mL);  $C_i$  es la concentración inicial de metal en solución (mg/L);  $C_f$  es la concentración en el equilibrio de la solución (mg/L) y m es la cantidad de adsorbente seco.

A valor de pH bajo se observa una pobre adsorción de  $Pb^{2+}$ , como resultado de la fuerte repulsión electrostática de los

Tabla 1. Análisis próximo y elemental del carbón sin xantar.

Análisis próximo del carbón sin xantar (%)		Análisis elemental del carbón sin xantar (%)	
Humedad	8,10±0,006	Azufre	0,230±0,011
Material volátil	35,1±0,260	Carbono	58,30±0,620
Cenizas	3,40±0,025	Nitrógeno	1,410±0,070
Carbón fijo	53,4±0,260	Hidrógeno	3,680±0,090
Poder calorífico	1,50 ±0,025	Oxígeno	36,31±0,602

Los valores representan la media de tres determinaciones.

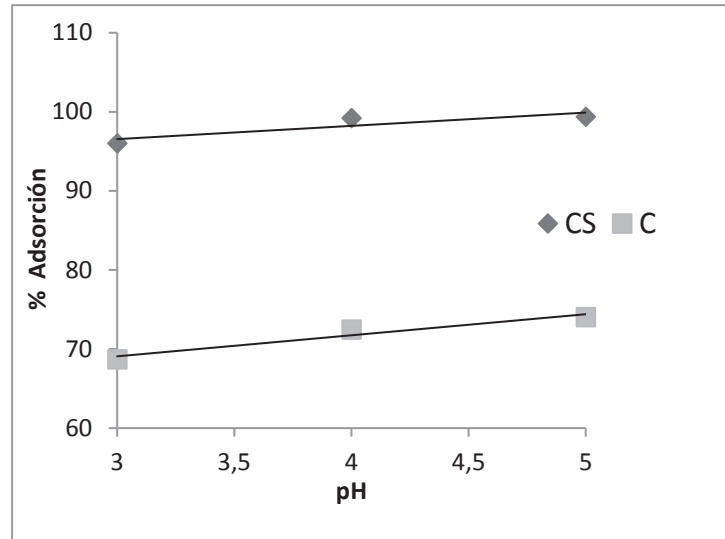


Figura 1. Efecto del pH en la adsorción de Pb<sup>2+</sup> con C y CS.

iones H<sup>+</sup> en la superficie del carbón con los iones metálicos, los cuales, impiden que estos interactúen con el adsorbente (Saswati & Vinod, 2006). Al aumentar el pH del medio, la fuerza de repulsión se hace débil, favoreciendo la difusión de los iones de Pb<sup>2+</sup> hacia la superficie del adsorbente, donde aumenta la adsorción (Jiang *et al.* 2009). De la figura 1, se infiere que la máxima adsorción de C y CS se obtiene a pH= 5,0, con porcentajes de 74 y 99% de soluciones de 100ppm de Pb<sup>2+</sup> y dosis de 50mg de adsorbente/10mL, respectivamente. La principal ventaja de CS sobre C es que la adsorción de Pb<sup>2+</sup> es mayor para CS a todos los valores de pH. Lo anterior concuerda con lo reportado por Torres *et al.* (2013), al evaluar la adsorción de Pb<sup>2+</sup> en cáscara de pimienta y cáscara de pimienta xantada; observaron que a pH bajos la adsorción de la cáscara de pimienta es pobre, como resultado de la fuerte repulsión electrostática, mientras que la adsorción de Pb<sup>2+</sup> es grande para la cáscara de pimienta xantada, en todos los intervalos de pH; resultados similares fueron obtenidos por Taty-Costodes *et al.* (2003), Liang *et al.* (2009) y Liang *et al.* (2011).

**Cinética de adsorción:** Una de las propiedades más importantes de los adsorbentes es la rapidez con la que el adsorbato es retenido y alcanza el equilibrio. El modelo matemático que describe la cantidad de Pb<sup>2+</sup> adsorbido de la solución por el adsorbente, en un intervalo de tiempo, están dadas por la ecuación 3 (Núñez *et al.* 2017):

$$\left(\frac{\text{mg Pb}^{2+}}{\text{g}}\right)_n = \frac{[(CV)_{n-1} - (CV)_n]}{g} + \left(\frac{\text{mg Pb}^{2+}}{\text{g}}\right)_{n-1} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde: C es la concentración remanente de Pb<sup>2+</sup> en mgL<sup>-1</sup> en un tiempo t; V es el volumen de la solución remanente

en un tiempo t en L y n es el número de datos que han sido tomados.

La gráfica de Pb<sup>2+</sup> adsorbido como función del tiempo, permite identificar el momento en que se alcanza el equilibrio y la correspondiente capacidad de adsorción q<sub>e</sub> (Silgado *et al.* 2014). Para evaluar la tasa de adsorción Pb<sup>2+</sup> en C y CS, se consideraron dos modelos cinéticos (pseudo primer y pseudo segundo orden).

El modelo cinético de pseudo-primer orden fue propuesto por Lagergren y se expresa mediante la ecuación 3 (Núñez *et al.* 2017), donde: q<sub>e</sub> y q<sub>t</sub> son las capacidades de adsorción (mgg<sup>-1</sup>) en el equilibrio y en el tiempo t, respectivamente, y k<sub>1</sub> es la constante de velocidad del modelo de pseudo-primer orden (min<sup>-1</sup>). Los valores de k<sub>1</sub> se obtienen a partir de la intersección y la pendiente de la gráfica de log (q<sub>e</sub> - q<sub>t</sub>) Vs t:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad (\text{Ec 4})$$

El modelo cinético de pseudo-segundo orden está dado por la ecuación 5, donde: q<sub>e</sub> y q<sub>t</sub> se definen como en el modelo de pseudo-primer orden y k<sub>2</sub> es la constante de velocidad del modelo de pseudo-segundo orden (gmg<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup>) (Torres *et al.* 2013). Los valores de k<sub>2</sub> y q<sub>e</sub> se pueden obtener a partir de la intersección y la pendiente de la gráfica de t/q<sub>t</sub> Vs t (Núñez *et al.* 2017; Silgado *et al.* 2014):

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (\text{Ec 5})$$

Este modelo también supone que la velocidad de adsorción inicial h<sub>0</sub> (mgg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>) es proporcional al cuadrado del nú-

mero de sitios restantes de superficie libre y viene definida, como se expresa por la ecuación 6 (Núñez *et al.* 2017):

$$h_0 = k_2 q_e^2 \quad (\text{Ec } 6)$$

Donde:  $q_e$  y  $k_2$  son la capacidad de adsorción ( $\text{mg g}^{-1}$ ) y la constante de velocidad del modelo de pseudo-segundo orden ( $\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$ ). Los resultados obtenidos para el  $q_e$  de cada modelo, las respectivas constantes cinéticas y el coeficiente de regresión  $R^2$ , se describen en la tabla 2.

Se observa que para el modelo cinético de pseudo-primer orden, los valores teóricos de  $q_e$  para C y CS difieren respecto a los  $q_e$  experimentales, esto se evidencia en el coeficiente de regresión de 0,919 y 0,901, para C y CS, respectivamente. En cuanto al modelo de pseudo-segundo orden, los valores de  $q_e$  experimental concuerdan con los  $q_e$  teóricos para ambos adsorbentes, con un coeficiente de regresión de 1, para C y CS; por lo tanto, el mecanismo de adsorción de los iones de  $\text{Pb}^{2+}$  en C y CS están representados por el modelo cinético de pseudo-segundo orden, de acuerdo con lo repor-

Tabla 2. Parámetros cinéticos para C y CS. Parámetros isotérmicos de Langmuir y Freundlich para la adsorción de  $\text{Pb}^{2+}$  en C y CS.

Modelo cinético								
Adsorbente	Pseudo primer orden				Pseudo segundo orden			
	$q_e$ ( $\text{exp}$ )	$q_e$ modelo ( $\text{mg g}^{-1}$ )	$K_1$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$R^2$	$q_e$ modelo ( $\text{mg g}^{-1}$ )	$K_2$ ( $\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$ )	$R^2$	$H_0$ ( $\text{mg g}^{-1}$ )
C	16,752	15,98	0,031	0,919	17,311	0,018	1	5,980
CS	19,816	19,70	0,056	0,901	19,594	0,036	1	14,18
Isotermas de adsorción								
Adsorbente	Langmuir				Freundlich			
	$q_m$ , $\text{mg g}^{-1}$	B $\text{Lmg}^{-1}$	$R^2$	RL	$K_F, \text{L g}^{-1}$	N	$R^2$	
C	10,44	0,416	0,971	0,035	1.042	0,394	0,914	
CS	60,10	0,025	0,530	0,320	96,39	0,680	0,981	

tado por Torres *et al.* (2013), Liang *et al.* (2011) y Liang *et al.* (2009), quienes evaluaron la adsorción de plomo en cáscara de pimienta y de naranja; esto indica que la adsorción química es el mecanismo de control de la velocidad. En cuanto a la velocidad inicial,  $H_0$  es mayor para el carbón xantado, lo que confirma que la xantación aumenta la afinidad del bioadsorbente hacia los metales.

**Isotermas de adsorción:** Se evaluaron utilizando el modelo de Langmuir y Freundlich. La isoterma de Langmuir viene dada por la ecuación 6, donde:  $q_e$  es la cantidad de material adsorbido por una cantidad específica de adsorbente ( $\text{mg g}^{-1}$ );  $C_e$  es la concentración de equilibrio ( $\text{mg L}^{-1}$ );  $q_m$  es la cantidad de metal o contaminante necesario para formar una monocapa en la superficie ( $\text{mg g}^{-1}$ ) y expresa la capacidad máxima de adsorción del adsorbente, mientras que  $b$  es la constante de Langmuir ( $\text{Lmg}^{-1}$ ) (Núñez *et al.* 2017; Silgado *et al.* 2014; Šćiban *et al.* 2006):

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m b} + \frac{C_e}{q_m} \quad (\text{Ec. } 7)$$

Las características esenciales de la isoterma de Langmuir, se pueden expresar en términos de una dimensión constante, conocido como el factor de separación RL, que está dado por la ecuación 8:

$$RL = \frac{1}{1 + bC_0} \quad (\text{Ec. } 8)$$

Donde:  $b$  es la constante de Langmuir y  $C_0$  es la concentración inicial de sorbato en la solución, descritas anteriormente. El factor de separación RL indica la forma de la isoterma, si la adsorción es favorable o no, de acuerdo con los siguientes criterios: si  $RL > 1$ , es desfavorable;  $RL = 1$ , lineal;  $0 < RL < 1$ , favorable y  $RL = 0$ , la adsorción es irreversible (Núñez *et al.* 2017; Memon *et al.* 2007). A diferencia de la isoterma de Langmuir, que supone una superficie homogénea, la isoterma de Freundlich considera una superficie heterogénea. La isoterma de Freundlich, se utiliza a presiones bajas y está

representada por la ecuación 9, donde:  $q_e$  es la cantidad de material adsorbido por una cantidad específica de adsorbente ( $\text{mg g}^{-1}$ );  $C_e$  es la concentración de equilibrio ( $\text{mg L}^{-1}$ ) en la fase líquida;  $K_F$  es la constante de Freundlich y  $n$  el factor de heterogeneidad, el cual, depende de la sustancia (Núñez *et al.* 2017; Liang *et al.* 2009):

$$\text{Log } q_e = \text{log } KF + \frac{1}{n} \text{log } C_e \quad (\text{Ec. 9})$$

Las figuras 2a y 2b ilustran los resultados obtenidos para C y CS.

Las isothermas de la figura 2a muestran que la capacidad de adsorción en el equilibrio  $q_e$  incrementa, como una función de la concentración  $q_e$  en la solución, mientras que la figura 2b confirma que la adsorción de  $\text{Pb}^{2+}$ , mediante C y CS es favorable, pues el valor de RL para todas las concentraciones de metal, se encuentran en el intervalo de 0 – 1. Según Kumar *et al.* (2000) esto quiere decir que la adsorción es más favorable a concentraciones más altas.

En la tabla 2, se observan los parámetros cinéticos para C y CS y los parámetros isotérmicos de Langmuir y Freundlich, para la adsorción de  $\text{Pb}^{2+}$  en C y CS, los cuales, se determinaron por ajuste de mínimos cuadrados. Para determinar cuál de los dos modelos de isothermas se ajusta mejor a la adsorción de  $\text{Pb}^{2+}$ , se evaluaron los coeficientes de correlación, una medida que permite conocer cómo se ajustan los valores pronosticados con los valores experimentales (Pillai *et al.*

2013; Varga *et al.* 2013; Putra *et al.* 2014). Los resultados presentan coeficientes de correlación con respecto a la adsorción de  $\text{Pb}^{2+}$  en C,  $n$  de 0,971 y 0,914, respectivamente, para un nivel de significancia del 0,05, indicando que el modelo que mejor se ajusta es el de Langmuir, en comparación con el modelo Freundlich.

La adsorción de  $\text{Pb}^{2+}$  se da sobre una superficie de adsorbente homogénea, que forma una monocapa, donde cada sitio de adsorción puede adherir una sola molécula de adsorbato y tienen la misma energía de adsorción. Para el CS, se observa que los coeficientes de correlación fueron de 0,53 y 0,981, para los modelos de Langmuir y Freundlich, respectivamente, indicando que la adsorción sigue la isoterma de Freundlich; esto significa, que la remoción de  $\text{Pb}^{2+}$  ocurre, debido a la distribución de energía de los sitios activos para adsorción y la ausencia de monocapas. Lo anterior concuerda con lo investigado por Liang *et al.* (2009), quienes estudiaron la adsorción de  $\text{Pb}^{2+}$  en cáscara de naranja y en cáscara de naranja xantada y concluyeron que la adsorción de  $\text{Pb}^{2+}$  en la cáscara de naranja sigue una isoterma de tipo Freundlich, pero una vez xantada, sigue una isoterma tipo Langmuir. Por otra parte, Torres *et al.* (2013) establecieron que la adsorción de  $\text{Pb}^{2+}$ , a partir de cáscara de pimienta xantada y no tratada, sigue una isoterma de tipo Freundlich, lo que quiere decir que el tipo de isoterma de adsorción depende de la naturaleza del bioadsorbente utilizado (Bsoul *et al.* 2014).

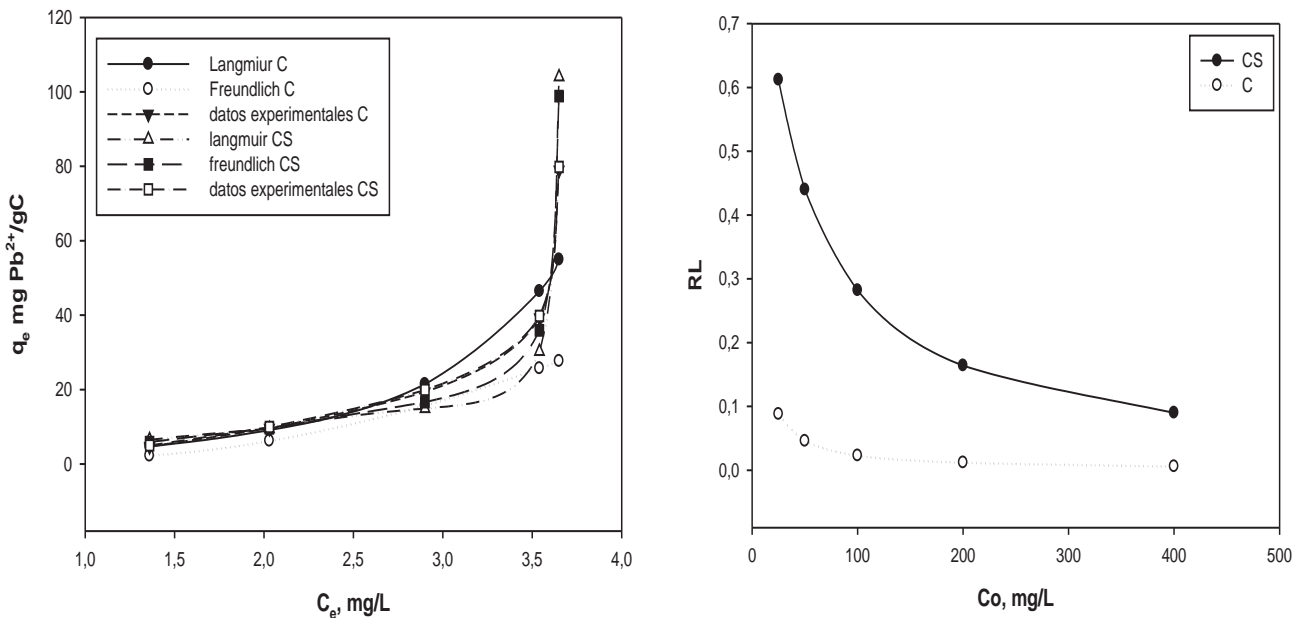


Figura 2. A) Isotherma de Langmuir y Freundlich para la adsorción de  $\text{Pb}^{2+}$  en C y CS; B) Factor de separación en la adsorción de  $\text{Pb}^{2+}$  en C y CS.

**Espectroscopia infrarroja:** Los espectros FTIR de C y CS se muestran en las figuras 3 y 4. En el espectro de C, los picos anchos e intensos de absorción alrededor de  $3442\text{cm}^{-1}$ , corresponden a vibraciones de tensión del enlace O-H, tales como alcoholes y fenoles, presentes en el carbón. Los picos a  $2920$  y  $2851\text{cm}^{-1}$ , se atribuyen a la tensión del enlace C-H de los grupos alcanos, debida a los grupos  $-\text{OCH}_3$  y  $-\text{CH}_2\text{OH}$ , presentes en la estructura del carbón, como la lignina (Liang *et al.* 2011). El pico observado a  $1696\text{cm}^{-1}$  es el resultado de la vibración de tensión del enlace C=O, debido a los grupos carbonilo de la lignina. Los picos que aparecen a  $1648$ ,  $1616$ ,  $1560$ ,  $1542$ ,  $1510$ ,  $1456$ ,  $1431$  y  $1423\text{cm}^{-1}$ , se deben a vibraciones de tensión de los enlaces C=C de los grupos aromáticos de la lignina. Los picos a  $1313$ ,  $1338$ ,  $1190$ ,  $1167$  y  $1114\text{cm}^{-1}$ , se asignan a la torsión o deformación O-H y vibraciones de tensión de C-O, de alcoholes pri-

marios y secundarios. Algunos cambios se observaron en el espectro de CS con respecto al de C.

La presencia de los grupos xantatos en el CS, se identifican por la aparición de nuevos picos, a  $610$  y  $1033,88\text{cm}^{-1}$ , que corresponden a los enlaces C-S y C=S; concuerda con lo reportado por Pillai *et al.* (2013), quien identificó la incorporación de grupos azufre por la aparición de picos, a  $538$ ,  $1020$  y  $1151,5\text{cm}^{-1}$ , que corresponden a las vibraciones C-S, C=S y S-C-S. Por otro lado, Panda *et al.* (2008) identificaron la presencia grupos xantatos en cáscara de *Lathyrus mativus* por los picos aparecidos, a  $661,5$ ,  $1080,5$ ,  $1163$  y  $1200$  a  $1250\text{cm}^{-1}$ . Mustafa *et al.* (2004) sostienen que las bandas de absorción característicos de los grupos xantatos, se encuentran en la región de  $800\text{-}1200\text{cm}^{-1}$  (Núñez *et al.* 2016).

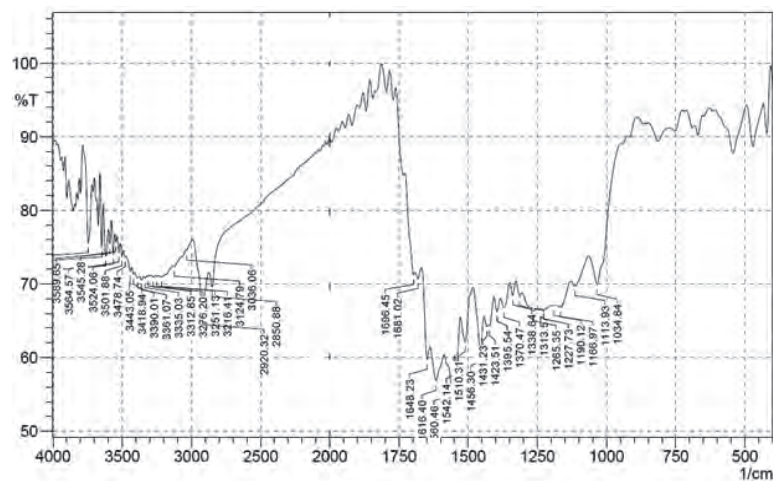


Figura 3. Espectro FTIR de C.

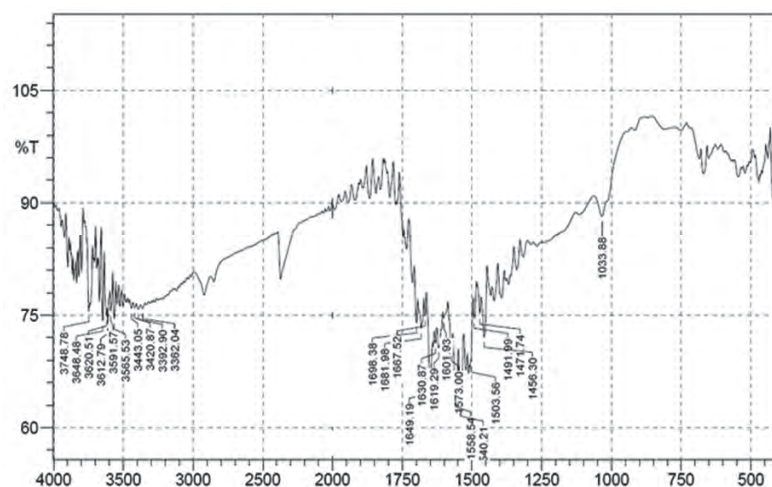


Figura 4. Espectro FTIR de CS.

El carbón xantado presenta un gran potencial como un adsorbente eficiente y útil para la adsorción de  $Pb^{2+}$ , pues su capacidad de adsorción es de 60mg  $Pb^{2+}$  por gramos de adsorbente, ajustándose la adsorción a la isoterma de Freundlich, mientras que el carbón sin xantar, se ajusta a la isoterma de Langmuir. El pH del medio es un factor que afecta la adsorción de  $Pb^{2+}$  en solución acuosa, siendo el pH=5,0 el punto donde se observó la mayor remoción, con porcentajes de adsorción de 74 y 99%, para el carbón y carbón xantado, respectivamente.

El análisis cinético mostró que el equilibrio de adsorción es alcanzado en, aproximadamente, 120min, siguiendo una cinética de pseudo-segundo orden, para ambos materiales. Los cambios observados en los espectros infrarrojos muestran que, efectivamente, se realizó la incorporación de los grupos xantatos en la estructura química del carbón.

**Agradecimientos:** A todos los miembros de los grupos de investigación Carboquímica y GIBAE de la Universidad de Cartagena. **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. BSOUL, A.; ZEATOUN, L.; ABDELHAY, A.; CHIHA, M. 2014. Adsorption of copper ions from water by different types of natural seed materials. *Desalination Water Treat.* (United Kingdom). 52:5876-5882.
2. HAENEL, M. 1992. Recent progress in coal structure research. *Fuel.* (Netherlands). 71:1211-1223.
3. JIANG, Y.; PANG, H.; LIAO, B. 2009. Removal of copper (II) ions from aqueous solution by modified bagasse. *J. Hazard. Mater.* (Netherlands). 164:1-9.
4. KHALIR, W.; HANAFIAH, M.; SOAD, S.; NGAH, W.; MAJID, Z. 2012. Batch column and thermodynamic of Pb (II) adsorption on xanthated rubber (*Hevea brasiliensis*) leaf powder. *J. Applied Sciences.* (Pakistan). 12:1142-1147.
5. KUMAR, A.; RAO, N.N.; KACIL, S.N. 2000. Alkali-treated straw and insoluble straw xanthate as low cost adsorbents for heavy metal removal - preparation, characterization and application. *Bioresource Technol.* (Netherlands). 71:133-142.
6. LIANG, S.; GUO, X.; FENG, N.; TIAN, Q. 2009. Application of orange peelxanthate for the adsorption of  $Pb^{2+}$  from aqueous solutions. *J. Hazard. Mater.* (Netherlands). 170: 425-429.
7. LIANG, S.; GUO, X.; TIAN, Q. 2011. Adsorption of  $Pb^{2+}$  and  $Zn^{2+}$  from aqueous solutions by sulfured orange peel. *Desalination.* (Netherlands). 275:212-216.
8. MEMON, S.Q.; SHAH, N.W.; KHUHWAR, M.Y.; BHANGER, M.I. 2007. Sawdust-A green and economical sorbent for the removal of cadmium (II) ions. *J. Hazard. Mater.* 139(1):116-121.
9. MUSTAFA, S.; HAMID, A.; NAEEM, A. 2004. Xanthate adsorption studies on chalcopyrite ore. *Int. J. of Min. Process.* (Netherlands). 74:317-325.
10. NIÑEZ, J.; COLPAS, F.; TARÓN, A. 2017. Aprovechamiento de residuos maderosos para la obtención de resinas de intercambio iónico. *Rev. Temas Agrarios.* (Colombia). 22(1):53-60.
11. NIÑEZ, J.; COLPAS, F.; FERNANDEZ, R. 2016. Xantação de resíduos de sawdust para adsorção de íons de chumbo a partir de soluções aquosas. *Periódico Tche Química.* (Brasil). 14(27):131-138.
12. ORJUELA, A.; CIVETTA, N.; RIVERA, J.; BOYACÁ, A.; DÍAZ, J. 2000. Preparación de intercambiadores catiónicos a partir de carbón. *Rev Col. de Química.* 29(2):53-59.
13. PANDA, G.K.; DAS, S.K.; GUHA, A.K. 2008. Niquely biosorption of cadmium in the shell functionalized *Lathyrus sativus*. *Colloid Surf.* (Netherlands). 62:173-179.
14. PILLAI, S.; ELDHO ABRAHAM, D.; GIRIJA, N.; GEETHA, P.; JACOB, L.; KOSHY, M. 2013. Biosorption of Cd(II) from aqueous solution using xanthated nano banana cellulose: Equilibrium and kinetic studies. *Ecotoxicol. Environm. Safety.* (United States). 98:352-360.
15. PUTRA, W.; KAMARI, A.; YUSOFF, S.; ISHAK, C.; MOHAMMED, A. 2014. Biosorption of Cu(II), Pb(II) and Zn(II) ions from aqueous solutions using selected waste materials: adsorption and characterisation studies. *J. Encapsulation Adsorpt. Sci.* (China). 4(1):25-35.
16. SASWATI, C.; VINOD, T. 2006. Role of various parameters in synthesis of insoluble agrobased xanthates for removal of copper from wastewater. *Bioresour. Technol.* (Netherlands). 97:2407-2413.

17. SILGADO, K.J.; MARRUGO, G.D.; PUELLO, J. 2014. Adsorption of chromium (VI) by activated carbon produced from oil palm endocarp. *Chem. Eng. Trans.* (Italy). 37:721-726.
18. ŠČIBAN, M.; KLAŠNJA, M.; ŠKRBIĆ, B. 2006. Modified softwood sawdust as adsorbent of heavy metal ions from water. *J. Hazard. Mater.* 136: 266-271.
19. TATY-COSTODES, V.C.; FAIDUET, H.; PORTE, C.; DELACROIX, A. 2003. Elimination of Cd (II) and Pb (II) ions starting from aqueous solutions by adsorption on sawdust. *J. Hazard. Mater.* 105:21-142.
20. TORRES, T.; ROA, G.; FAL, C.; BARRERA, C.; UREÑA, F.; PAVÓN, T.H. 2013. Improving lead sorption through chemical modification of de-oiled allspice husk by xanthate. *Fuel.* (Netherlands). 110:4-11.
21. VARGA, M.; TAKÁCS, M.; ZÁRAY, G.; VARGA, I. 2013. Comparative study of sorption kinetics and equilibrium of chromium (VI) on charcoals prepared from different low-cost materials. *Microchem J.* (Netherlands). 107:25-30.
22. WAN NGAH, W.; HANAFIAH, M. 2008. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A review, *Bioresour. Technol.* (Netherlands). 99:3935-3948.
- Recibido: Mayo 17 de 2017  
Aceptado: Octubre 2 de 2017

## Cómo citar:

Colpas Castillo, F.; Tarón Dunoyer, A.; Vásquez, Y. 2017. Capacidad de adsorción de plomo con intercambiadores catiónicos de carbón xantado. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(2): 425-433.





# ADSORCIÓN DE PLOMO (II) EN SOLUCIÓN ACUOSA CON TALLOS Y HOJAS DE *Eichhornia crassipes*

## ADSORPTION OF LEAD (II) WITH STEMS AND LEAVES OF *Eichhornia crassipes* IN AQUEOUS SOLUTION

Lissette Vizcaino Mendoza<sup>1</sup>, Natalia Fuentes Molina<sup>2</sup>, Harold González Fragozo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ing. Medio Ambiente. M.Sc., Ingeniería Ambiental. Universidad de La Guajira, Cr. 4 No.14<sup>a</sup>-79, Riohacha - La Guajira, Colombia, email: lvizcaino@uniguajira.edu.co; <sup>2</sup> Ing. Ambiental y Sanitario, M.Sc. Ciencias Ambientales. Universidad de La Guajira, Cr. 9 No. 3 sur – 20, San Juan del Cesar - La Guajira, Colombia, e-mail: nnfuentes@uniguajira.edu.co; <sup>3</sup> Microbiólogo, Esp. Pedagogía Ambiental. Instituto Nacional de Formación Técnico profesional, Cr. 13 No.7<sup>a</sup>- 61, San Juan del Cesar - La Guajira, e-mail: hgonzalez@infotep.edu.co

Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient. 20(2): 435-444, Julio-Diciembre, 2017

### RESUMEN

La presencia de metales pesados, como el plomo ( $Pb^{+2}$ ), en los cuerpos de agua genera alteraciones sobre la calidad ambiental y la salud pública, debido a su solubilidad y su capacidad de acumulación en la cadena trófica, problemática que se puede incrementar por la acumulación de *Eichhornia crassipes*, una maleza acuática con alta capacidad invasora, cuya presencia en los ecosistemas acuáticos favorece los procesos de eutrofización y crecimiento de microorganismos patógenos, vectores de enfermedades. Como alternativa para la eliminación de metales pesados y el aprovechamiento de tallos TEC y hojas HEC de *E. crassipes*, se evaluó la capacidad de adsorción y de eficiencia de remoción de  $Pb^{+2}$  en solución acuosa, de dicha biomasa. Inicialmente, se realizaron ensayos batch, para analizar la influencia de la dosis de adsorbente, tiempo de contacto y pH de la solución. Como método de disposición final, se analizó la calcinación, a temperaturas de 700 y 800°C. Los datos experimentales de equilibrio fueron correlacionados, utilizando los modelos de Langmuir y Freundlich. El modelo que mejor se ajustó fue el de Langmuir, con  $R^2 = 0,9816$  TEC y  $R^2 = 0,9854$  HEC, lográndose una máxima capacidad de adsorción de 172,41mg/g TEC y 131,58mg/g HEC, con 0,2g de biomasa/200mL, pH 5,5 y 3h de contacto. En todos los ensayos, se lograron remociones de  $Pb^{+2}$  superiores al 97%. Los ensayos de calcinación indican que, a temperaturas  $\geq 800^\circ C$ , es posible estabilizar la biomasa residual, impidiendo que los cationes metálicos removidos sean liberados de la matriz biológica, por efectos de soluciones lixiviantes de bajo pH.

Palabras clave: Biosorción, Buchón de agua, isoterma de Langmuir, isoterma de Freundlich, metales pesados.

### SUMMARY

The presence of heavy metals such as lead ( $Pb^{+2}$ ) in water bodies causes alterations in environmental quality and public health due to their solubility and capacity of accumulation in the food chain. Problems that can be increased by the accumulation of *Eichhornia crassipes* an aquatic weed with high invasive capacity whose presence in the aquatic ecosystems favors the processes of eutrophication and growth of pathogenic microorganisms vectors of diseases. As an alternative for the removal of heavy metals and the use of TEC stems and HEC leaves of *E. crassipes*, the adsorption capacity and removal efficiency of  $Pb^{+2}$  in aqueous solution of this biomass were evaluated. Initially batch tests were performed to analyze the influence of the adsorbent dose, contact time and solution pH. As final disposal method, the calcination was analyzed at temperatures of 700 and 800°C. The equilibrium experimental data were correlated using the Langmuir and Freundlich models. The best fit model was the Langmuir model with  $R^2=0.9816$  TEC and  $R^2=0.9854$  HEC, achieving a maximum adsorption capacity of 172.41mg/g TEC and 131.58mg/g HEC with 0.2 g Of biomass/200mL, pH 5.5 and 3h of contact.  $Pb^{+2}$  removals above 97% were achieved in all tests. Calcination tests indicate that at temperatures  $\geq 800^\circ C$  it is possible to stabilize the residual biomass by preventing the removed metal cations from being released from the biological matrix by the effects of low pH leaching solutions.

Key words: Biosorption, water buffer, Langmuir isotherms, Freundlich isotherms, heavy metals.

### INTRODUCCIÓN

El plomo es una sustancia ambientalmente abundante, que se encuentra en las aguas marinas, con concentraciones

entre 0,003 y 0,20mg/L, en el suelo de terrenos no cultivados, con valores de 8 a 20mg Pb/kg, mientras que, en terrenos cultivados, se puede llegar a encontrar por encima de 360mg Pb/kg y cerca de fuentes de contaminación industrial, el suelo alcanza contenidos de 10g Pb/kg o más (Rubio *et al.* 2004). La contaminación del agua por plomo, se debe a los efluentes industriales no tratados, generados por fábricas de pinturas, baterías, municiones, minería, entre otros. Debido a su toxicidad, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) lo ha clasificado entre las 20 sustancias químicas más peligrosas para la salud humana, estableciendo un límite máximo permisible de 0,001ppm, en agua potable (Lavado *et al.* 2010).

Los métodos de mayor aplicación en el tratamiento de efluentes que contienen metales pesados, como el plomo, son la precipitación, el intercambio iónico, la osmosis inversa y la adsorción (Lavado *et al.* 2010). La adsorción es un fenómeno superficial, en el cual, un soluto o adsorbato (átomos, iones o moléculas) es transferido a un material sólido poroso (adsorbente), separándolo de la fase líquida, en que se encontraban inicialmente, en contraposición a la absorción, que es un fenómeno de volumen. La mayor parte de los adsorbentes son materiales altamente porosos, donde el proceso tiene lugar fundamentalmente sobre las paredes de los poros, en puntos específicos (McCabe *et al.* 1998).

Cuando la adsorción se desarrolla empleando materiales de origen biológico, se denomina biosorción, la cual, es una interacción física indirecta entre iones y componentes celulares, ya sea de organismos vivos o muertos, como microorganismos, hongos, levaduras, algas, residuos vegetales, entre otros (Murithi *et al.* 2014); debido a la gran afinidad del adsorbente por las especies del adsorbato, este último es atraído hacia el sólido y enlazado por diferentes mecanismos. Este proceso continúa hasta que se establece un equilibrio entre el adsorbato disuelto y el adsorbato enlazado al sólido (Cuizano & Navarro, 2008).

*Eichhornia crassipes* conocida como Jacinto acuático o buchón de agua es una macrofitas con carácter altamente hidrofílico (Atehortúa & Gartner, 2013), utilizada en procesos de fitorremediación, técnica en la que se aprovecha la capacidad de la planta para adsorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes, como los metales pesados (Delgadillo *et al.* 2011). Sus tallos y sus hojas constituidos por polisacáridos, como lignina, celulosa y hemicelulosa, se distribuyen en su pared celular, a nivel nano-estructural, dando como resultado redes de lignina e hidratos de carbono, cuyos principales grupos funcionales generan sobre la superficie porosa del material sitios activos, con alta afinidad, para la captura y la eliminación de metales pesados, tales como Pb(II) (Guo *et al.* 2007; Ramírez & Enríquez, 2015).

Especies similares, como *Salvinia biloba raddi* (Tello *et al.* 2015) y *Typha domingensis* y *Canna generalis* (Vera *et al.* 2016) han sido empleadas en procesos de fitoremediación de efluentes contaminados con plomo, logrando eficiencias de remoción, superiores al 85%.

En la presente investigación, se evaluó la capacidad de adsorción y la eficiencia de remoción de Pb (II) de la biomasa seca de tallos y de hojas de la macrofitas acuática *E. crassipes*, a fin de generar una alternativa económica y ambientalmente sostenible, para el tratamiento de efluentes contaminados con bajas concentraciones de metales pesados, en el orden de 1 a 100mg/L (Cuizano & Navarro, 2008).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se cosecharon tallos y hojas de *E. crassipes* ubicados en las riberas del río Ranchería, en un lugar ubicado a 930m de la Universidad de La Guajira, en jurisdicción del municipio de Fonseca, en coordenadas 10°53'59.1" N y 72°49'47.6" W. En el laboratorio, se lavaron con agua de la llave para eliminar residuos de sedimentos y otras impurezas. Los tallos y las hojas, se cortaron en fracciones de 1cm de longitud, aproximadamente, se lavaron con agua destilada y se secaron a 60°C, hasta peso constante. Las biomásas, se trituraron, empleando una licuadora doméstica y se tamizaron para la selección de un tamaño de partícula de 1mm, de acuerdo con el procedimiento experimental utilizado por Atehortúa & Gartner (2013) y Vizcaino & Fuentes (2015).

Ensayos de biosorción de plomo en solución acuosa: Se realizaron en un sistema batch, empleando un equipo de prueba de jarras, con soluciones de concentración inicial de 30,951ppm de Pb<sup>+2</sup>, preparadas con PbO<sub>2</sub>. Los parámetros velocidad de agitación 200rpm y temperatura 28,5°C, se mantuvieron constantes. Se analizó la influencia de las variables independientes: modificación alcalina, dosis de adsorbente (g/mL), tiempo de contacto (h) y pH de solución, sobre las variables de respuesta: capacidad de adsorción (mg/g) y porcentaje de remoción (%R) (Maldonado *et al.* 2012). La concentración residual de plomo,  $C_e$  de la fase acuosa, se determinó por espectrometría de absorción atómica. Los ensayos, se realizaron por triplicado en el laboratorio de química de la universidad de La Guajira. Las determinaciones de la concentración de Plomo, se desarrollaron en el Laboratorio Químico de Consultas Industriales (LQCI), de la Universidad Industrial de Santander.

Influencia de la modificación química: Se desarrolló en dos fases: inicialmente, la biomasa seca de tallos y de hojas de *E. crassipes* fue tratada con soluciones de NaOH y Ca(OH)<sub>2</sub>, a concentraciones 0,2M, en tratamientos por separado, empleando 800mL de solución, a pH 4,5 y 8g de biomasa.

Las biomásas tratadas, se secaron en estufa a 60°C hasta peso constante y se almacenaron para su posterior uso. Para analizar el efecto de la modificación química, se emplearon 0,5g de biomasa y 100mL de solución (Vizcaino & Fuentes, 2015), durante un tiempo de contacto de 24h y un valor de pH=4,5.

**Influencia de la dosis de adsorbente y tiempos de contacto:** Las dosis de adsorbente se evaluaron empleando cinco concentraciones diferentes de tallos y de hojas de biomasa seca de *E. crassipes* (0,2; 0,5; 0,8; 1,4; 2,0; g/200mL) y tiempos de contacto de 24h. Los valores iniciales y finales de pH se determinaron empleando un pH-metro WTW modelo 3110.

Para el análisis de la influencia del tiempo de contacto, se emplearon 0,5g de biomasa, en 100mL de solución metálica, con pH=4,5 y tiempo de retención de 0,5; 1,0; 1,5; 2 y 3h.

**pH óptimo para la biosorción de  $Pb^{2+}$  con *E. crassipes*:** En vasos de precipitado, se dispusieron 200mL de solución de plomo, ajustando cada muestra a diferentes pH 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5 y 6,0, utilizando soluciones de NaOH y HNO<sub>3</sub>, a concentración 0,1M. Se añadieron 0,5g de biosorbente, preparado con tallos y con hojas de *E. crassipes* a cada muestra, agitando las muestras a 200rpm, durante 24h, a temperatura ambiente. Una vez transcurrido el tiempo, las muestras se filtraron y se midió el pH final de las soluciones (Cárdenas *et al.* 2013).

Para analizar la influencia de las variables, se utilizó un diseño factorial de tres niveles: dosificación del adsorbente, pH y tiempo de contacto.

**Isotermas de adsorción:** Las curvas de isotermas, se realizaron empleando 100mL de soluciones con concentraciones iniciales de plomo, en el rango de 20 a 100mg/L (García *et al.* 2013). A cada solución, se le agregaron 0,2g de adsorbente y se ajustó el pH a 5,5 unidades (pH óptimo), manteniendo agitación constante durante 24h. El tratamiento de los datos experimentales del proceso de adsorción de  $Pb^{+2}$ , se realizó aplicando los modelos de Langmuir y Freundlich.

**Calcinación de biomasa residual:** Las biomásas remanentes de los ensayos de cinética de adsorción en soluciones con 100ppm, se sometieron a calcinación en una mufla Thermo-lyne Modelo FB 1315M, a 700 y 800°C. Posteriormente, se tomó 1g de la ceniza obtenida y se colocó en contacto con soluciones preparadas con ácido nítrico HNO<sub>3</sub>, con valores de pH de 2,5; 3,5 y 4,5 durante un tiempo de contacto de 24h, a temperatura ambiente (Díaz *et al.* 2003; Vizcaino & Fuentes, 2015).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Efectos de la modificación química:** La biomasa TEC reportó una mayor capacidad de adsorción de Pb en todos los casos analizados, alcanzando su tasa máxima al modificarla con CaCl<sub>2</sub>, mientras que el NaOH mejoró ligeramente eficiencia de remoción de las HEC. En todos los casos, se logró eliminar más del 92% del plomo presente en la solución, consiguiendo solo un aumento del 2,4 y 2,78%, para TEC-CaCl<sub>2</sub> y HEC-NaOH, respectivamente, en comparación con las remociones obtenidas con la biomasa sin modificación.

Los porcentajes de remoción superiores al 93% y reportados por la biomasa inerte sin pretratamiento indican que los tejidos de la planta poseen una alta capacidad de remoción de plomo y no requieren de modificación química para favorecer la captura del catión. Según Atehortúa & Gartner (2013), se debe a su estructura macroporosa y mesoporosa, con baja área superficial y alto contenido de humedad >90%, la cual, al deshidratarse el material deja expuestas una gran cantidad de celdas o cámaras que favorecen la captura de los iones metálicos dispuestos en la solución y a la presencia de grupos funcionales característicos de la celulosa, hemicelulosa y lignina, que incrementan la cantidad de sitios activos disponibles.

**Efectos de la concentración de biomasa:** Los ensayos con diferentes dosis de biomasa (Figura 1a) muestran una disminución progresiva de la capacidad de adsorción, conforme aumenta la cantidad de material adicionado a la solución. La mayor capacidad de adsorción de plomo  $q_{TEC}=29,788\text{mg/g}$  y  $q_{HEC}=26,966\text{mg/g}$ , se logró empleando una dosis de 0,1g de biomasa, dosis mayores generan una disminución de la capacidad de captura del plomo en solución, lo cual, se puede dar como consecuencia de las interacciones electrostáticas entre las partículas de biomasa, disminuyendo los sitios de contacto, por aglomeración de las mismas. Lo anterior indica que, a menor cantidad de biomasa mayor distancia entre partículas y, por consiguiente, mayor adsorción de cationes metálicos (Chuquilin & Rosales, 2016).

**Efectos del tiempo de contacto:** Existe una correlación positiva entre la cantidad de metal removido y el tiempo de contacto con la biomasa vegetal, es decir, a medida que se incrementa el tiempo de exposición aumenta la cantidad de metal eliminado (Figura 1b). Al analizar el comportamiento de la capacidad de adsorción respecto al tiempo de contacto, se observa que ésta aumenta rápidamente durante los primeros 30min, eliminando más del 87% del plomo en solución. Tiempo seguido, la remoción de plomo se da a una tasa más lenta hasta lograr una remoción  $\geq 99\%$ , a tiempos de contacto de 180min, alcanzando la concentración de equilibrio. A tiempos superiores, se puede generar un incre-

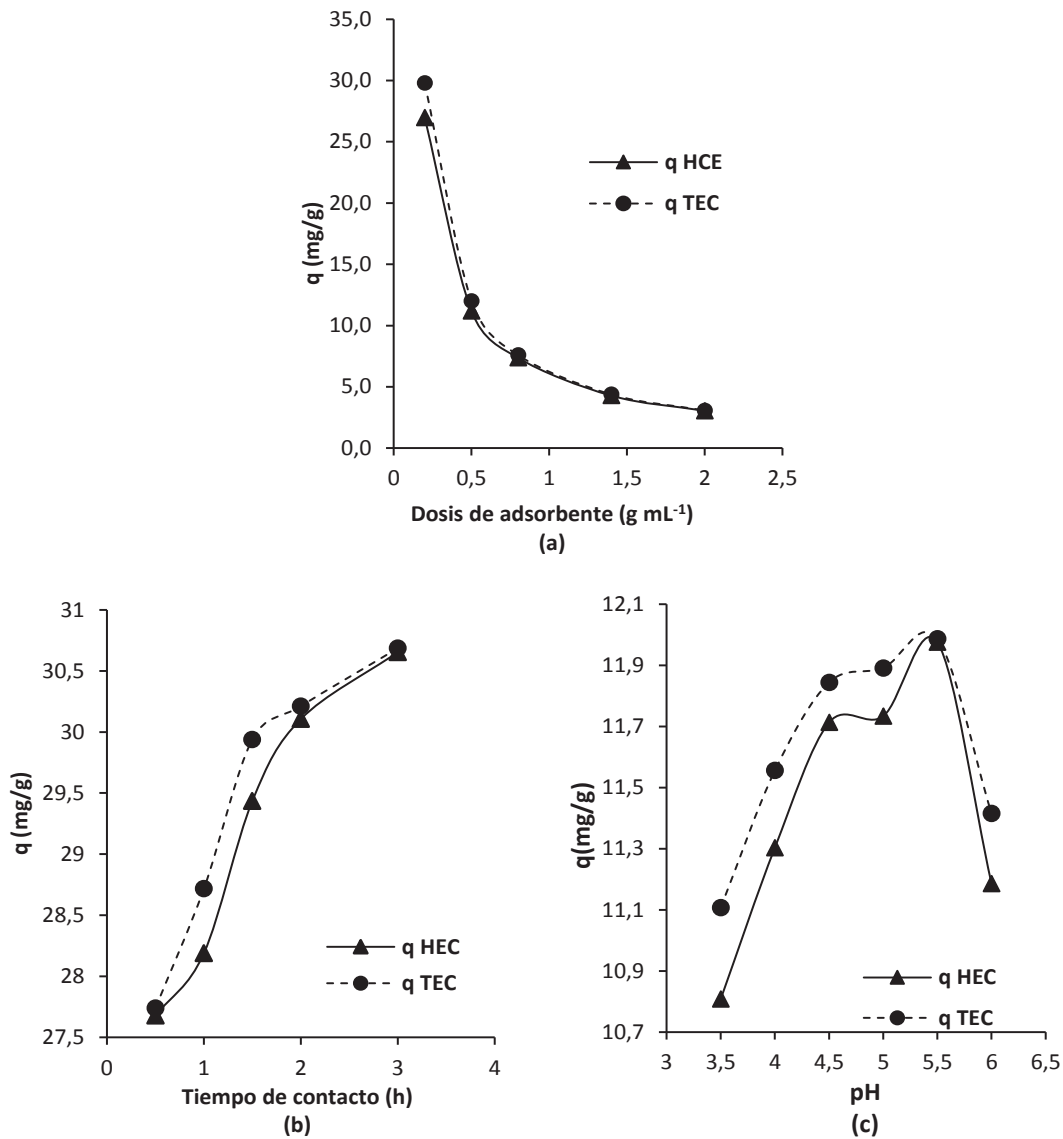


Figura 1. (a) Efectos de la concentración de adsorbente; (b) tiempo de contacto y (c) pH de la solución, sobre la capacidad de adsorción de  $Pb^{+2}$ , con hojas ( $q$ HEC) y tallos ( $q$ TEC) de *Eichhornia crassipes*.

mento de la concentración del metal en la solución, como consecuencia de la saturación de la superficie porosa de las biomásas con cationes de  $Pb^{+2}$ .

Las eficiencias de remoción respecto al tiempo de contacto obtenidas con *E. crassipes* son superiores a las referenciadas por Tello *et al.* (2015) utilizando *Salvinia biloba raddi*, quienes reportan remociones superiores a 90%, para tiempos de contacto de 24h y concentraciones iniciales de 5, 10 y 20ppm; y a las publicadas por Vera *et al.* (2016), en experimentos tipo batch con *Typha dominguensis* y *Canna generalis*, en los cuales, se obtuvieron remociones de plomo

superiores a 90%, a las 21h de contacto y alcanzando la mayor remoción a las 93h de contacto, para concentraciones iniciales de 5, 10 y 15mg/L.

**Efectos del pH de la solución:** En figura 1c, se muestra la relación entre la capacidad de adsorción y el pH de la solución. El comportamiento de la curva indica que existe una mayor atracción entre los iones de  $Pb^{+2}$  y los grupos funcionales superficiales de TEC y HCE a valores de pH, en el rango 5,0 a 6,0 unidades, obteniéndose adsorciones máximas de  $q$ TEC=29,971mg/g y  $q$ HEC=29,941mg/g, al pH 5,5.

En las curvas, se observa claramente que los pH ácidos reducen la capacidad del biomaterial para capturar y retener el plomo, como consecuencia de la solubilización del catión en la matriz acuosa y la hidrólisis del material biológico. A pH menores a 5,5, las cargas superficiales totales se vuelven positivas, generando una competencia entre  $H^+$  y  $Pb^{+2}$ , consecuencia de una fuerza de repulsión que se forma entre ambos (Lodeiro *et al.* 2006) e inhibe la aproximación de los cationes metálicos.

A pH alcalinos superiores a 5,5, se forma  $Pb(OH)_2$ , generando la precipitación del metal (Lavado *et al.* 2010), lo cual, impide que los sitios de contacto en la superficie de la biomasa se enlacen con la especie química, inhibiendo el proceso de biosorción.

El efecto del pH evidenciado en el proceso experimental, se puede explicar en términos de pH del punto de carga cero (pHpzc), en el que la superficie del biosorbente es neutra. Cuando la biomasa se mantiene en una solución que tiene pH menor que pHpzc de biomasa, la protonación de ciertos grupos funcionales ocurre y la biomasa se comporta como una polimatriz cargada positivamente. Un aumento del pH por encima de este punto hace que los grupos funcionales en el tipo de biomasa se desprotonen y actúen como especies negativas (Abdel-Ghani & El-Chaghaby, 2014).

**Eficiencias de remoción:** En la tabla 1, se observa que el porcentaje de plomo removido con respecto a la concentración inicial  $C_i=30,951$  ppm es alto para todos los ensayos analizados, alcanzando eficiencias máximas superiores al 96%, para valores de pH 5,5 y 99%, para tiempos de retención de 1,5h.

En cuanto al efecto de la dosis de adsorbente, los resultados obtenidos muestran que, a mayor dosis de biomasa mayor eficiencia de remoción de  $Pb^{+2}$ , alcanzando un porcentaje superior al 97%, al emplear concentraciones  $\geq 0,4g/100mL$ . Este incremento está relacionado con el aumento del área de contacto del sólido adsorbente y el número de los sitios de biosorción, disponibles en su superficie.

Las eficiencias de remoción de  $Pb^{+2}$  son similares a las reportadas por Óre *et al.* (2015): 97%, con 4g/L de marlo de maíz (*Zea mays*); por Ramírez & Enríquez (2015): 55%, con 1g de lignina (extraída de pseudotallo de plátano) hidratada con  $NaNO_3$  0,01M; por Atehortúa & Gartner (2013): 86,5 y 84,08% empleando 2g/L de *E. crassipes* sin modificar y con modificación térmica 200°C por 6h, respectivamente y por Cárdenas *et al.* (2013): 100 y 94,1% con 1g/100mL de las cepas fúngicas *Mucor rouxii* IM-80 y *Mucor rouxii* mutante.

El análisis factorial indica que la remoción de plomo con *E. crassipes* depende, principalmente, de la concentración de

Tabla 1. Concentraciones en equilibrio ( $C_e$ ) y Eficiencias de remoción (%R) de  $Pb^{+2}$  usando biomasa de tallos (TEC) y hojas (HEC) de *Eichhornia crassipes*, como adsorbente.

Biosorbente		Ce TEC (mg/L)	% R TEC	Ce HEC (mg/L)	%R HEC
Dosis de adsorbente (g/L)	0,2	1,163	96,24	1,925	93,78
	0,5	0,935	96,98	1,557	94,97
	0,8	0,712	97,70	0,917	97,04
	1,4	0,431	98,61	0,742	97,60
	2	0,261	99,16	0,457	98,52
Tiempo de contacto (horas)	0,5	3,212	89,62	3,274	89,42
	1	2,234	92,78	2,763	91,07
	1,5	1,012	96,73	1,515	95,11
	2	0,739	97,61	0,845	97,27
	3	0,265	99,14	0,297	99,04
pH	3,5	3,183	89,72	3,931	87,30
	4	2,062	93,34	2,693	91,30
	4,5	1,341	95,67	1,669	94,61
	5	1,223	96,05	1,617	94,78
	5,5	0,984	96,82	1,012	96,73
	6	2,413	92,20	2,987	90,35

biomasa y el tiempo de contacto (Figura 2). La acidez de la solución genera una influencia significativa solo a valores de pH menores a 5,0; lo anterior indica, que el rango ideal de pH para la remoción de plomo con la biomasa utilizada está entre 5,0 y 6,0 unidades, confirmando que 5,5 es el valor óptimo tal y como se evidenció en los ensayos, a diferentes pH.

Las relaciones concentración de biomasa y tiempo de contacto indican que la adsorción se da a una alta tasa durante

los primeros 90 minutos, eliminando más del 97% del plomo en solución acuosa. El valor del pH no genera gran influencia sobre la biomasa al incrementar su concentración en la solución, observándose que las eficiencias son cercanas al 96%, con fluctuaciones de  $\pm 1\%$ .

De acuerdo con el comportamiento de las curvas, se determina que las condiciones ideales para la remoción de plomo con tallos y hojas de *E. crassipes* se obtienen al utilizar una

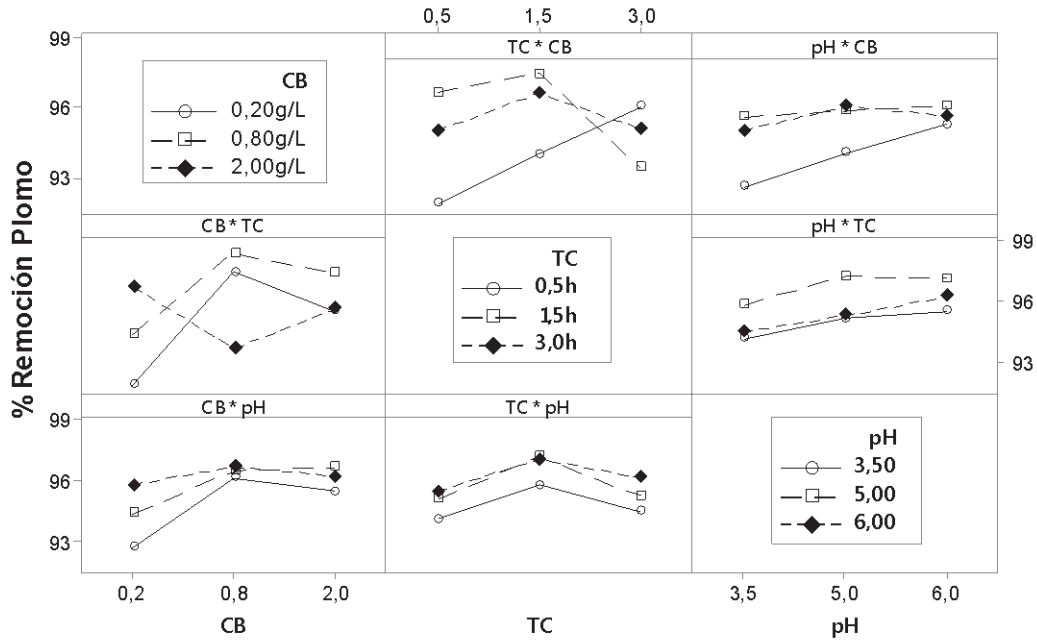


Figura 2. Interacción de las variables concentración de biomasa (CB), tiempo de contacto (TC) y pH en la remoción de plomo con *Eichhornia crassipes*.

concentración de 0,8g/L de biomasa, en una solución de pH ligeramente ácido, con valor óptimo de 5,5, durante un tiempo de contacto de 1,5h, características experimentales, para las cuales, se logra una eliminación de  $Pb^{+2}$  superior al 97%.

**Isotermas de adsorción de plomo ( $Pb^{+2}$ ):** Los factores de correlación indican que los datos experimentales obtenidos en el proceso de adsorción de  $Pb^{+2}$  con hojas y tallos de *E. crassipes* se ajustan mejor al modelo de isoterma de Langmuir  $R^2=0,9854$  y  $R^2=0,9816$ , respectivamente (Figura 3).

Los resultados obtenidos con el modelo de Langmuir indican que las biomazas de tallos y de hojas de *E. crassipes* presentan una superficie homogénea con un número específico de sitios activos que, al saturarse, inhiben el proceso de adsorción del plomo en solución. Asimismo, según este modelo (Tabla 2), las capacidades máximas de adsorción de Pb para tallos y para hojas son 172,4138mg/g y 131,5789mg/g, res-

pectivamente, empleando una dosis de 2g biomasa/200mL solución, pH 5,5 y tiempo de contacto de 24h.

Se establece también, que el enlace entre los sitios activos del adsorbente y el metal se da, principalmente, por fuerzas físicas, limitándose a la formación de una monocapa, en la cual, el número de especies metálicas adsorbidas no excede el total de sitios disponibles y no se considera ninguna reacción de desorción, que pueda tener lugar durante el proceso de remoción.

Por su parte, el modelo de Freundlich indica que existe una fuerte interacción de los iones de  $Pb^{+2}$  con los centros activos de los biosorbentes TEC  $K_f= 20,912$  y  $n=1,536$  y HEC  $K_f=19,747$  y  $n=1,627$ , mientras que el análisis de los valores de  $R_L$  indican que existe un comportamiento isotérmico favorable de las biomazas  $0 < R_L < 1$ .

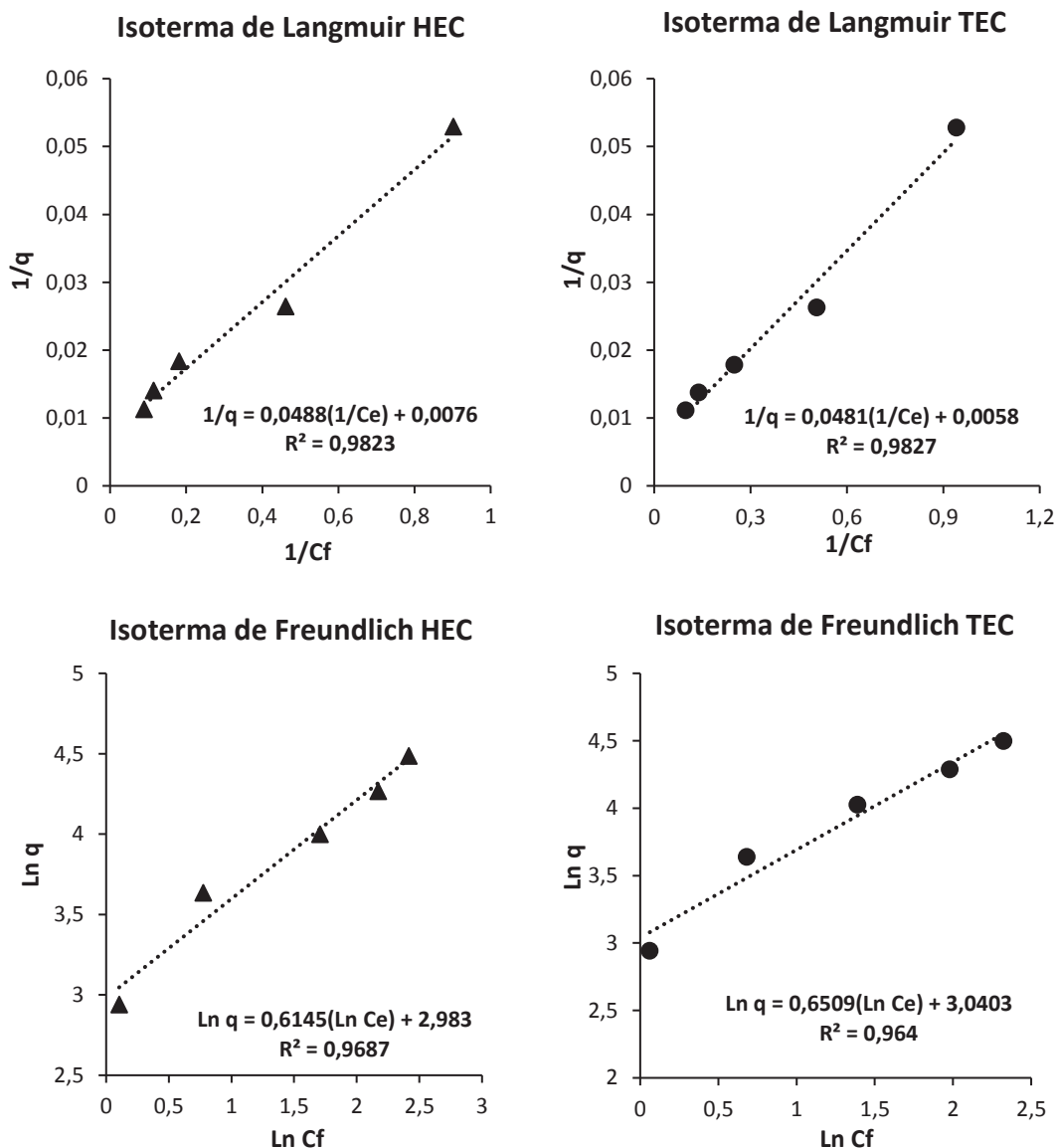


Figura 3. Modelo de isothermas de adsorción de Pb (II), con tallos (TEC) y hojas (HEC) de *Eichhornia crassipes*.

Tabla 2. Constantes de Langmuir y Freundlich para la adsorción de plomo en tallos y en hojas de *Eichhornia crassipes*, modificadas químicamente.

Adsorbente	Isotherma de Langmuir				Isotherma de Freundlich		
	q(mg/g)	b (mg/L)	r	RL	Kf (mg/g)	n	r
TEC	172,4138	8,8448	0,9827	0,00185	20,9115	1,5363	0,9640
HEC	131,5789	6,9210	0,9823	0,00328	19,7460	1,6273	0,9687

Si se comparan las capacidades de adsorción de *E. crassipes* con las de otros biomateriales que han sido usados para la remoción de plomo, tales como cáscara de yuca y ñame:  $q_{max}$  de 52,34 y 98,36mg/g, respectivamente (Tejada *et al.* 2016); bagazo de caña:  $q_{max}$  de 162 y 451mg/g para material sin modificar y modificado con ácido cítrico 0,6M, respectivamente (Tejada *et al.* 2015); carbón activado preparado con semilla de aguaje (*Miurita flexuosa*):  $q_{max}$  74,8mg/g (Sun-Kou *et al.* 2014); Pasto (*Pennisetum clandestinum* hochst) modificado con  $H_2SO_4$  a 1,25%:  $q_{max}$ =139,35mg/g (Maldonado *et al.* 2012), se establece que las biomazas TEC y HEC utilizadas en el presente estudio muestran un alto potencial para la remoción de plomo en solución acuosa.

**Calcinación de biomasa residual:** La curva de la figura 4 muestra que, al aumentar la temperatura de calcinación, la ceniza se hace más resistente a las soluciones ácidas, cuyo pH condiciona, de igual manera, el comportamiento del material calcinado. En todos los casos, la calcinación estabiliza el material residual, logrando una retención de plomo superior al 98%, para una concentración inicial de 100ppm; solo un pequeño porcentaje es liberado por efecto del ácido nítrico empleado, para desorber las cenizas.

La acidez de la solución lixiviante afecta la capacidad de retención de los iones, como consecuencia de la alteración en la estabilidad estructural del biomaterial, haciendo que las

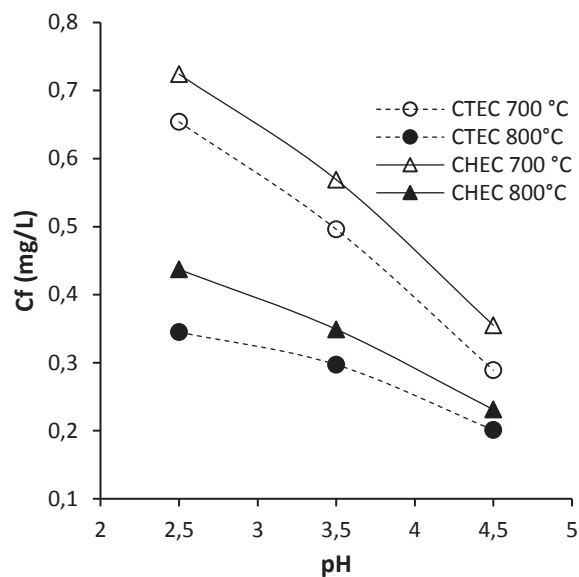


Figura 4. Desorción de plomo en cenizas de tallos (CTEC) y hojas (CHEC) de *Eichhornia crassipes*.

cadenas formadas entre los sitios activos de la pared celular y los cationes se fragmenten, por efecto de la presencia de iones hidronio  $H_3O^+$ , con alta movilidad iónica, que compiten con el catión metálico (Navarro *et al.* 2006).

El comportamiento de las cenizas de TEC y HEC es similar a los reportados por Vizcaino & Fuentes (2015), quienes en ensayos de calcinación de algas rojas, cáscara de naranja y tuna, bajo condiciones similares de temperatura y de tiempo, obtuvieron una retención de plomo superior al 95%.

Los resultados del proceso de desorción indican que el biomaterial constituye una alternativa no solo para el proceso de eliminación del contaminante sino, además, para su almacenamiento y desactivación.

Basado en los resultados obtenidos en la investigación, se concluye que *E. crassipes* es una especie con gran capacidad para la fitorremediación de efluentes residuales contaminados con plomo. La matriz biológica presente en los tallos y las hojas de *E. crassipes* captura los iones  $Pb^{+2}$ , impidiendo su liberación y su movilidad, aun al someterla al ataque de soluciones con pH altamente ácidos, constituyéndola en una alternativa viable y económica para la descontaminación de aguas, con concentraciones de plomo  $\leq 100$ ppm.

Se recomienda realizar ensayos para evaluar la capacidad de regeneración de *E. crassipes* y su rendimiento en un segundo ciclo de biosorción, con el propósito de reutilizar el material biosorbente. Asimismo, se hace necesario realizar ensayos en sistemas de flujo continuo, que permitan establecer los tiempos de ruptura y saturación a diferentes velocidades



de flujo volumétrico, a fin de describir el comportamiento dinámico de las condiciones de operación y el rendimiento de la columna.

**Agradecimientos:** Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad de La Guajira sede Fonseca y a los auxiliares de investigación Emerson Brito, Jain Duran y Gustavo Mejía, por su apoyo y compromiso en las fases de campo y laboratorio. **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:** Esta investigación fue desarrollada con los recursos financieros aportados por los autores y con recursos técnicos aportados por la Universidad de La Guajira.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ABDEL-GHANI, N.; EL-CHAGHABY, G. 2014. Biosorption for metal ions removal from aqueous solution: A review of recent studies. *Int. J. Latest Res. Scienc. Techn.* 3(1):24-42.
2. ATEHORTÚA, E.; GARTNER, C. 2013. Estudios preliminares de la biomasa seca de *Eichhornia crassipes* como adsorbente de plomo y cromo en aguas. *Rev. Col. Materiales.* 4:81-92.
3. CÁRDENAS, J.; MOCTEZUMA, M.; ACOSTA, I.; MARTÍNEZ, V. 2013. Biosorción de Plomo (II) en solución por diferentes biomasas fungicas. *Rev. Latinoam. Recursos Naturales (México).* 9(1):57-61.
4. CHUQUILIN, R.; ROSALES, D. 2016. Estudio de la biosorción de Cd (II) Y Pb (II) usando como adsorbente *Nostoc sphaericum* Vaucher. *Rev. Soc. Quím. Perú.* 81(1):49-60.
5. CUIZANO, N.; NAVARRO, A. 2008. Biosorción de metales pesados: Posible solución a la contaminación a bajas concentraciones. *An. Quim.(España).* 104(2):120-125.
6. DELGADILLO, A.; GONZALEZ, C.; PRIETO, F.; VILLAGOMEZ, J.; ACEVEDO, O. 2011. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Trop. subtrop. agroecosyt.* 14(2): 597-612.
7. DÍAZ, A.; ARIAS, J.; GELVES, G.; MALDONADO, A.; LAVERDE, D.; PEDRAZA, J.; ESCALANTE, H. 2003. Biosorción de Fe, Al y Mn de drenajes ácidos de mina de carbón empleando algas marinas *Sargassum* sp. en procesos continuos. *Rev. Fac. Ingeniería UdeA. (Colombia).* (30):34-48.
8. GARCÍA, V.; BORJA, N.; GUZMAN, E.; YIPMANTIN, A.; MALDONADO, H. 2013. equilibrio de biosorción de plomo (II) y caracterización mediante FT-IR y SEM-EDAX en pectina reticulada proveniente de cáscaras de naranja. *Rev. Soc. Quím. Perú.* 79(3):256-264.
9. GUO, X.; SHAN, X.; ZHANG, S. 2007. Adsorption of metal ions on lignin. *J. Hazardous Materials.* 151(1):134-142.
10. LAVADO, C.; SUN KOU, M.; BENDEZÚ, S. 2010. Adsorción de plomo de efluentes industriales usando carbones activados con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. *Rev. Soc. Quím. Perú.* 76(2):165-178. Disponible desde Internet en: <http://www.redalyc.org/pdf/3719/371937617008.pdf> (con acceso 25/07/2017).
11. LODEIRO, P.; BARRIADA, J.; HERRERO, R.; SASTRE DE VICENTE, M. 2006. The marine macroalga *Cystoseira baccata* as biosorbent for cadmium(II) and lead(II) removal: Kinetic and equilibrium studies. *Environmental Pollution.* 142(2):264-273. Disponible desde Internet en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.10.001> (con acceso 25/07/2017).
12. MALDONADO, A.; LUQUE, C.; URQUIZO, D. 2012. Biosorción de plomo de aguas contaminadas utilizando *Pennisetum clandestinum* Hochst (kikuyo). *Rev. Latinoam. Metal. Mat (Venezuela).* 4:52-57.
13. MCCABE, W.; SMITH, J.; HARRIOTT, P. 1998. Operaciones Unitarias en ingeniería química. (Cuarta edición ed.). Madrid (España): Mc Graw Hill. 1095p.
14. MURITHI, G.; ONINDO, C.; WAMBU, E.W.; MUTHAKIAC, G.K. 2014. Removal of Cadmium(II) Ions from Water by Adsorption using Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) Biomass. *BioResources.* 9(2):3613-3631.
15. NAVARRO, A.; RAMOS, K.; CAMPOS, K.; MALDONADO, H. 2006. Elucidación del efecto del pH en la adsorción de metales pesados mediante biopolímeros naturales: Cationes divalentes y superficies activas. *Rev. Iberoam. Polímeros (País Vasco).* 7(2):113-126. Disponible desde Internet en: <http://www.reviberpol.iibcaudo.com.ve/pdf/MAY06/navarro.pdf> (con acceso 25/07/2017).
16. ÓRE, F.; LAVADO, C.; BENDEZÚ, S. 2015. Biosorción de Pb (II) de aguas residuales de mina usando el marlo de maíz (*Zea mays*). *Rev. Soc. Quím. Perú.* 81(2):122-134.

17. RAMÍREZ, J.; ENRÍQUEZ, M. 2015. Remoción de plomo (II) usando lignina obtenida a partir del procesamiento del seudotallo de plátano. *Acta Agronómica*. 64(3):209-213.
18. RÚBIO, C.; GUTIÉRREZ, A.; MARTÍN IZQUIERDO, R.; REVERT, C.; LOZANO, G.; HARDISSON, A. 2004. El plomo como contaminante alimentario. *Rev. Toxicología (España)*. 21:72-80. Disponible desde Internet en: <http://www.fmed.uba.ar/depto/toxico1/articulos/7.pdf> (con acceso 25/07/2017).
19. SUN-KOU, M.; OBREGON, D.; PINEDO, A.; PAREDES, A.; AYLAS, J. 2014. Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje. *Rev Soc Quím Perú*. 80(4):225-236.
20. TEJADA, C.; MONTIEL, Z.; ACEVEDO, D. 2016. Aprovechamiento de cáscaras de yuca y ñame para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con Pb(II). *Inf. tecnol (Chile)*. 27(1):9-20. Disponible desde Internet en: <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v27n1/art03.pdf> (con acceso 25/07/2017).
21. TEJADA, C.; RUIZ, E.; GALLO, J.; MOSCOTE, J. 2015. Evaluación de la biosorción con bagazo de palma africana para la eliminación de Pb(II) en solución. *Prospect. (Colombia)*. 13(1):59-67. Disponible desde Internet en: <http://dx.doi.org/10.15665/rp.v13i1.360> (con acceso 25/07/2017).
22. TELLO, W.; SALVATIERRA, L.; PÉREZ, L. 2015. Evaluación de los mecanismos de eliminación de Pb<sup>2+</sup> en sistemas de fitorremediación en lotes operados con *Salvinia biloba raddi* (acordeón de agua). *Energeia*. 13(13): 10-17.
23. VERA, K.; RAMOS, K.; CAMARGO, E.; ANDRADE, C.; NUÑEZ, M.; DELGADO, J.; MORALES, E. 2016. Fitorremediación de aguas residuales con alto contenido de plomo utilizando *Typha dominguensis* y *Canna generalis*. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*. 39(2):88-95.
24. VIZCAINO, L.; FUENTES, N. 2015. Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretratada de algas roja, cáscara de naranja y tuna. *Ciencia Ingeniería Neogranadina (Colombia)*. 25(1):43-60.

Recibido: Febrero 27 de 2017

Aceptado: Nov. 19 de 2017

#### Cómo citar:

Vizcaíno Mendoza, L.; Fuentes Molina, N.; González Fragozo, H. 2017. Adsorción de plomo (II) en solución acuosa con tallos y hojas de *Eichhornia crassipes*. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(2): 435-444.

# GESTIÓN TERRITORIAL MEDIANTE ESTRATEGIA DE ASOCIATIVIDAD PARA CASANARE - COLOMBIA

## TERRITORIAL MANAGEMENT THROUGH ASOCIATIVITY STRATEGY OF CASANARE COLOMBIA

Adriana Posada Arrubla<sup>1</sup>, Antonio Esteban Campuzano<sup>2</sup>, Ana Elena Berrocal Mendoza<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Economista Agrícola, Esp. Gestión Social y Ambiental, M.Sc. Planeación Urbana y Regional, Docente Facultad de Ingenierías. U.D.C.A, Calle 222 No. 55-37, Bogotá D.C., Colombia, e-mail: aposada@udca.edu.co; <sup>2</sup> Ingeniero Geógrafo y Ambiental U.D.C.A, Joven líder de Casanare. Transversal 11 No. 1ª-08, Hato Corozal – Casanare, Colombia, e-mail: aesteban-campuzano@hotmail.com; <sup>3</sup> Ingeniera Ambiental, Esp. Gestión Ambiental, M.Sc. Políticas y Desarrollo Sostenible, Institut Catholique de Paris-Francia, e-mail: anaberrocal19@hotmail.com

Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient. 20(2): 445-456, Julio-Diciembre, 2017

### RESUMEN

Ante la necesidad de alternativas de desarrollo en el territorio, la integración entre vecinos se hace cada vez más necesaria y posibilita compartir, no solo responsabilidades sino potencialidades, especialmente, a nivel local. En el caso del departamento de Casanare, en Colombia, se aplicó un método de análisis geográfico-ambiental, para motivar la gestión de una estrategia territorial entre entes municipales. En este estudio, se logró generar cartografía síntesis de los subsistemas ambiental y socioeconómico, cruzados con entrevistas a la comunidad, para el planteamiento de una estrategia de gestión, a partir de la asociatividad de tipo funcional, entre seis municipios.

Palabras clave: Desarrollo territorial, articulación supramunicipal, estrategia territorial.

### SUMMARY

The need for alternative development in the territory, the integration between neighbors becomes increasingly necessary and makes it possible to share not only responsibilities, but potential, especially at the local level. In the case of the Department of Casanare in Colombia, a thesis analysis method was applied to motivate the management of a strategy of territorial between municipal entities. In this study were managed to generate mapping environmental synthesis of subsystems and socio-economic, with interviews with the community, to the approach of a management strategy, from the associativity of functional type, between six municipalities.

Key words: Territorial development, joint supra-municipal, territorial strategy.

### INTRODUCCIÓN

La gestión territorial, entendida como la sumatoria de acciones colectivas para hacer realidad los sueños, que llevan a lograr una armonía en la relación sociedad-naturaleza, exige intervención puntual en un espacio determinado, mediada por estrategias, que permitan el logro gradual de ese sueño colectivo, de tal manera que, a su vez, la sumatoria de estrategias, generan una fuerza y un tejido de interacciones compartidas, capaz de dinamizar un futuro más prometedor y de hacer proyectos innovadores y particulares.

Por ello, es importante indagar por las formas en que se puede establecer la estrategia colectiva, que permita a los habitantes de un territorio crear un mejor futuro. Según Cabeza (2015) es necesario reorientar las políticas y los procesos de gestión territorial, para alcanzar niveles de integración, impulsada por proyectos de desarrollo colectivos. Para Rojas (2016), los objetivos de la gestión territorial deben ser medidos por el logro de bienestar para toda la población y la adaptación armoniosa al medio, sin sobrepasar los límites ecológicos. De hecho, el territorio ya está articulado de manera natural, lo que hace falta es hacer de la división política-administrativa, una oportunidad de acción en conjunto; lo que implica integración de intereses. Y aunque en cada localidad o municipio existe diversidad de intereses colectivos, indefectiblemente, la naturaleza permite mitigar estas diferencias y aunar esfuerzos, para un mejor futuro común (Posada, 2014). En suma, estas acciones o proyectos locales no pueden responder a una lógica inmediatista, sino a una

gradualidad de largo plazo, enlazada con el sentido de respeto por las condiciones naturales de cada espacio territorial, si se quiere, en realidad, construir pilares para soportar escenarios prospectivos de desarrollo armónico.

Según el DNP (2013a) esta integración constituye el escenario que permite la articulación de acciones sectoriales, públicas y privadas, de forma transversal, con el fin de estructurar proyectos integrales de desarrollo regional, con visión a largo plazo, que demandarán la existencia de acuerdos entre el gobierno Nacional y entidades territoriales, como esquemas asociativos, pero al unir esfuerzos de tipo supramunicipal, no se está realizando, en vía directa, una acción regional, asunto que se tiende a confundir, debido a las expectativas que se generan sobre la regionalización y que siguen sin resolverse, en el proceso de ordenamiento territorial (Posada & Berrocal, 2015). Máxime cuando en la República de Colombia (2011), la Ley orgánica de Ordenamiento Territorial, ha creado una serie de figuras administrativas, para abrir la posibilidad de que los entes territoriales se unan para lograr resultados de desarrollo que, en realidad, han traído más confusión que oportunidades reales.

Una de tales oportunidades de asociatividad en Colombia, inducida más por la existencia de recursos financieros que por la intención originaria desde las localidades para trabajar en conjunto, es la que se impulsa por medio del instrumento Contrato Plan, específicamente, en los lineamientos de política 2014-2018 que, según el CONPES (2014), permite enlazar la ejecución de los proyectos al sistema de regalías, como parte del presupuesto público. Lo anterior, motiva analizar la extraña situación de Colombia: basta con remitirse a las estadísticas del DANE (2007), donde, en 1953, existían 817 municipios, y ya en el 2007, habían 1.100 municipios, es decir, en cinco décadas, aumentó el número en 283 municipios, lo que también se puede expresar como una atomización o separación del espacio, debido a intereses de tipo político administrativo, que no demuestra para nada asociatividad, por el contrario, ratifica el continuo proceso de disociación territorial, con lo cual, se resalta, en este artículo, la necesidad de unir esfuerzos, a través de acciones estratégicas, desde el seno de cada ente municipal y en conjunto con sus vecinos, para evitar mayores divisiones y aprovechar los elementos comunes de tipo geográfico-ambiental, que les permiten funcionar como un todo.

En lo que concierne a las estrategias de asociatividad, Fabre (2006) establece que los territorios se asocian para limitar su dependencia del gobierno central, preservando su autonomía en el acceso de recursos que le son asignados y plantea, dos tipos de estrategias utilizadas por las asociaciones de entidades territoriales, para potencializar los intercambios de sus fuerzas existentes: La creación de una situación de dependencia mutua, de manera que se estimule el poder de

influencia entre sí y, la formalización de las relaciones y de los intercambios, que conlleve a un futuro más estable. En ambas, la proximidad geográfica facilita la relación entre las entidades asociadas y multiplica las oportunidades de encuentro. Para Donzelot (2003), el desarrollo de una estrategia de asociatividad consiste en aumentar la concentración de flujos de intercambio entre los municipios pertenecientes a la asociación, mientras que para Bally (2017) es la construcción de una comunicación intercomunal pertinente y centrada en el interés general de los asociados, ya que permite agrupar las problemáticas y las soluciones comunes y unas obligaciones colectivas capaces de co-producir desarrollo.

El referente internacional de la asociatividad es Francia, en donde, según Loubet (2013), la eficiencia de este país, en cuanto a cooperación local e intermunicipal, se traduce en recomposiciones territoriales y gubernamentales, debido a que los representantes de los municipios se confrontan, en el día a día, al ejercicio complejo de la cooperación y la definición de proyectos territoriales. En particular, una experiencia francesa de asociatividad, que sirve de referente para Casanare, es la del sindicato, conformado por los municipios de Arcueil, Cachan, Fresnes y Lhay-les –Roses, que se agruparon en el marco de una convención de asociación, para elaborar, conjuntamente y en cooperación con el Estado, un estatuto intermunicipal para el ambiente, lo que les permitió determinar objetivos para cada dominio ambiental, ya fuera aire, agua, desechos, energía o ruido y al examinar la transversalidad de las problemáticas, crearon una estrategia y un programa de acción al interior de un marco ambiental institucional común (Holec, 1998).

Por su parte, en un análisis sobre la asociatividad territorial europea, abordado por Pavani & Estupiñán (2016), reseñan el término como un principio que está en relación con las fusiones y la cooperación local, de tipo estructural y funcional y concluyen que, en Colombia, aún corresponde a una figura de estrategia sin fuerza, para la organización territorial. En otros países, el concepto término, principio o elemento de asociatividad, no es muy utilizado. En Chile, por ejemplo, se emplea el término asociativismo, para referirse a acciones de gestión micro y macro institucional y asumen el asociativismo territorial, como una modalidad de agrupación de municipalidades, en torno a un proyecto común (Erazo Jiménez *et al.* 2012).

La APC (2017), en su balance sobre la asociatividad, desde la óptica internacional en Colombia, ha destacado que corresponde a una estrategia para la construcción de capital social y la generación de economías de escala, porque genera inclusión productiva e integración en cadenas productivas regionales y nacionales y porque funciona como modelo de cooperación entre actores, para el desarrollo territorial. Es, en esta vía, que el trabajo asociativo en el departamento del

Casanare se hace importante, debido a que, por su potencial estratégico, ha pasado por situaciones de conflicto armado, que han disminuido los indicadores de derechos humanos y que, con urgencia, requiere nuevas formas de accionar, para reconstruir la confianza desde lo local (ONU, 2007). Específicamente en Casanare, existen antecedentes sobre asociatividad supramunicipal, como el realizado por la Asociación de Municipios del Ariari, quienes se han organizado buscando objetivos de desarrollo social (AMA, 2017). Este tipo de asociación es analizada por Ayala (2005), quien concluye, que corresponden a una forma de expresión local particular y que es una forma de manifestar la capacidad funcional de los territorios.

Parte de la problemática de Casanare es que está pasando por una transición en la que sus posibilidades de desarrollo se han visto menguadas, como consecuencia de la dependencia de los recursos provenientes de las regalías del petróleo y, por ello, necesita con urgencia explorar otras alternativas de desarrollo, que estén en estrecha relación con su potencial socioambiental, pero no extractivo. Al respecto, Vargas & León (2016) identifican los efectos ambientales de la explotación petrolera en este lugar de Colombia, encontrando fuertes cambios en la cobertura boscosa y en los suelos agrícolas y, por ende, afectaciones a los ecosistemas y a las comunidades locales, que demuestran cómo, ni los municipios, ni el departamento, ni el país, han estado preparados para establecer modelos que consideren el potencial socio-ambiental, por encima de proyectos cortoplacistas de tipo extractivo.

A partir de lo anterior y para abordar el tema de este artículo, los autores proponen diferenciar tres tipos o tendencias de la asociatividad así:

**Asociatividad funcional:** Corresponde a la ejecución de acciones jalonadas por un objetivo central, que genera una fuerza especial, con flujos que van desde y hacia adentro del lugar, que es el líder en la gestión para la ejecución de tales acciones, entre unidades que tienen elementos y dinámicas comunes. En términos de espacio, abarca los lugares con factores comunes de tipo geográfico-ambiental y, en términos de tiempo, se extiende gradualmente al largo plazo, porque al involucrar variables ambientales, el resultado es un proceso continuo, que se va consolidando en el corto, mediano y largo plazo.

**Asociatividad estructural:** Corresponde a una reorganización espacial y político-administrativa del gobierno local, que implica un nuevo mapa del territorio y una nueva forma de administración pública más compleja. En términos de espacio, se refiere al cambio que se le imprime a la división político-administrativa de algún ente territorial o a la sumatoria de divisiones político-administrativas precedentes y, en

términos de tiempo, se concreta en la relación directa con los periodos de gobiernos de los entes involucrados, es decir, actualmente en Colombia, es de 4 años.

**Asociatividad coyuntural:** Corresponde a la aplicación de instrumentos, como planes, programas o proyectos puntuales, que obedecen a un objetivo o alcance puntual y a unos recursos financieros en correspondencia que, especialmente, están ligados al presupuesto destinado para la ejecución particular de las metas preestablecidas en cada instrumento plan, en un momento dado que, usualmente, se invierte, al acabarse el proyecto. En términos de espacio, se refiere, exclusivamente, al área de influencia del instrumento a ejecutar y, en términos de tiempo, se determina por las metas a lograr, en especial, ligadas a la disponibilidad financiera y, por lo regular, son de un año de duración.

En consecuencia, dado que la asociatividad es una acción estratégica, en este artículo, no se exalta la configuración de nuevas regiones, sino, en esencia, se destaca, como criterio para la integración, la posibilidad de que funcionen articuladamente las propuestas de tipo supramunicipal, como acciones, no solo públicas sino privadas, sectoriales y, especialmente, poblacionales. Expresado de manera figurada, si la naturaleza ha estado de acuerdo en trabajar como un sistema articulado, le es más fácil a los seres racionales propender por un desarrollo armónico, a partir de su ejemplo. Es por ello, que el objetivo de este escrito consiste en aplicar un método de análisis geográfico ambiental, que arroje resultados espacializables, en el marco de la gestión territorial, para aportar bases al departamento del Casanare, Colombia, conducentes a la práctica de estrategias colectivas supramunicipales.

## MATERIALES Y MÉTODO

El sujeto de estudio geográfico o lugar de aplicación del objetivo fue el Departamento de Casanare, ubicado al Oriente de Colombia, en la región de la Orinoquia; limita con 5 departamentos y lo conforman 19 municipios, de los cuales, Yopal, es la capital. El estudio, se realizó en 4 etapas consecutivas a saber: en la primera, se identificaron los aspectos del subsistema ambiental y del socioeconómico, para establecer elementos espacializables de asociatividad, como parte del sistema territorial. La información de base, se obtuvo con las alcaldías municipales y con los datos de geoservicios disponibles en el país.

En la segunda etapa, se procedió a elaborar las figuras cartográficas, para visualizar el contenido de 12 variables: 6, correspondientes al subsistema ambiental y 6, al subsistema socioeconómico. Estos mapas fueron realizados con el sistema de información geográfica "ArcMap 10.3", a partir de diferentes fuentes de información cartográfica, trabaja-

da en formato raster y vector. En la tercera etapa, se logró un acercamiento directo con la comunidad, aplicando una encuesta social de percepción aleatoria. Se logró recabar información con 10 preguntas, en cada uno de los 19 municipios, a un promedio de 10 personas, por cada uno, para un total de 190 entrevistas; realizar las encuestas fue fundamental para poder entender la situación de los municipios. Adicionalmente, en esta etapa, se revisó la existencia y el funcionamiento formal de las diferentes secretarías, encargadas oficialmente de los principales temas que representan el desarrollo local: educación, salud, desarrollo económico, planeación, hacienda, seguridad y convivencia, desarrollo social, infraestructura y obras públicas, ambiente y agricultura. El contar con estos resultados aportó a la investigación una mayor precisión, para dar cumplimiento al objetivo trazado, ya que permite discretizar la percepción de la población sobre el potencial de asociatividad, desde los elementos geográfico-ambientales del territorio.

En la cuarta y última etapa, se diseñó la propuesta estratégica de asociatividad territorial, en aras del desarrollo para el departamento del Casanare y de sus municipios, para lo cual, se realizó un análisis y cruce de las variables, tanto del subsistema ambiental como del socioeconómico, de manera que se pudiera determinar el grado de homogeneidad, en diferentes entes territoriales, lo que derivó, en el planteamiento de una propuesta preliminar, que responde a necesidades y oportunidades compartidas entre varios municipios.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con la metodología aplicada, se presenta, primero, la síntesis cartográfica de las variables consideradas, para obtener elementos comunes de tipo geográfico-ambiental, enlazado, no solo como un subsistema ambiental sino como subsistema socioeconómico y que, en esencia, suman el potencial para la funcionalidad entre entes territoriales locales, para una estrategia de asociatividad. Posteriormente, se presentan los resultados de las entrevistas a la comunidad, en relación con el tema y, para finalizar, la propuesta de asociatividad resultante.

### La potencialidad del departamento de Casanare desde el subsistema ambiental (Figura 1)

- Geología: predomina el lomerío, piedemonte y altiplanicie; constituye una zona de transición entre la llanura y la cordillera oriental, entre los 300 y 1.000 m.s.n.m., lo que potencia explotación de yacimientos de petróleo y gas.
- Recurso hídrico: se destacan los niveles de captación y de utilización de agua para actividades agrícolas y minero energéticas.
- Zonas de protección ambiental: se resaltan zonas de reserva forestal, zonas de alta biodiversidad, ecosistemas

frágiles y estratégicos, cuencas, páramos y humedales.

- Ecosistemas: predominan los biomas de tipo pedio-boma y heliobioma, los pediobimas y corresponden a selvas de galería, que atraviesan áreas de sabana, con largos periodos de inundación.
- Erosión: se presenta erosión severa, causada por acciones antrópicas.
- Cobertura vegetal: el bosque tropical se encuentra, principalmente, en las montañas, piedemonte y en las orillas de los caños y de los ríos.

### La potencialidad del departamento de Casanare desde el subsistema social (Figura 2)

- Densidad poblacional: es baja y se considera una desventaja para lograr mayor cobertura de los servicios básicos, por asuntos de presupuesto.
- Resguardos indígenas: aportan un valor cultural incalculable, por el potencial de intercambio de conocimiento que se obtiene en estas comunidades; existen tres áreas, donde se localizan comunidades indígenas: el resguardo de Barronegro y Chaparral, Orocué y el resguardo de Mochuelo.
- Unidades industriales; solo existen 11 municipios con un rango bajo de industrias, lo que expresa una baja dinámica de desarrollo económico.

### Consideraciones de la comunidad sobre el potencial de asociatividad territorial (Figura 3)

Se destaca que el 100% de los encuestados admiten que el Casanare es un buen lugar para vivir, lo que, de inmediato, lleva a pensar en la posibilidad de continuar construyendo un mejor futuro. La población de los municipios de Hato Corozal, Paz de Ariporo, Trinidad, San Luis de Palenque, Orocué, Villanueva y Tauramena le dan mucha importancia al medio natural, especialmente, a la belleza paisajística que ofrece este territorio, asunto que potencia la asociatividad, con actividades propuestas por la población en función del ecoturismo. El poblador de Casanare ve, como positivo, la posibilidad de asociarse entre municipios, principalmente, para mantener sus tradiciones, como la ganadería y para innovar en actividades agroindustriales.

### Capacidad administrativa local para el desarrollo en los entes territoriales de Casanare (Cuadro 1)

Sin excepción, tanto la administración de los 19 municipios como la de la gobernación, cuentan con una secretaría general de gobierno. La diferenciación, se presenta en los otros diez temas relativos al desarrollo local, que como se puede apreciar en los datos obtenidos, demuestran una fuerte contradicción entre el potencial del subsistema ambiental y la disponibilidad de recursos para su administración y manejo, principalmente, en lo relativo a la secretaría de ambiente y a la de agricultura y aunque la mayoría cuenta con secretaría

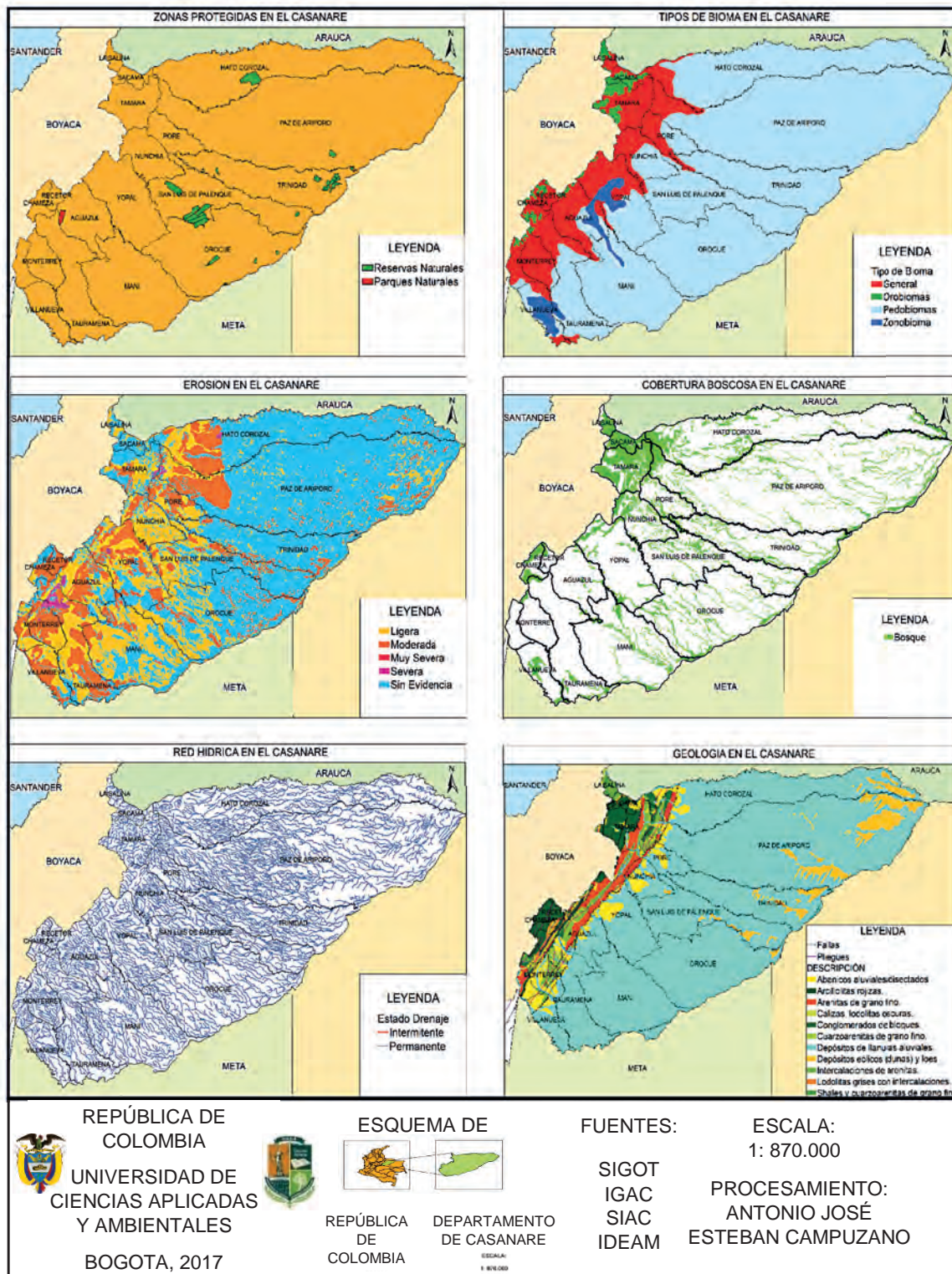


Figura 1. La potencialidad del departamento de Casanare desde el subsistema ambiental.

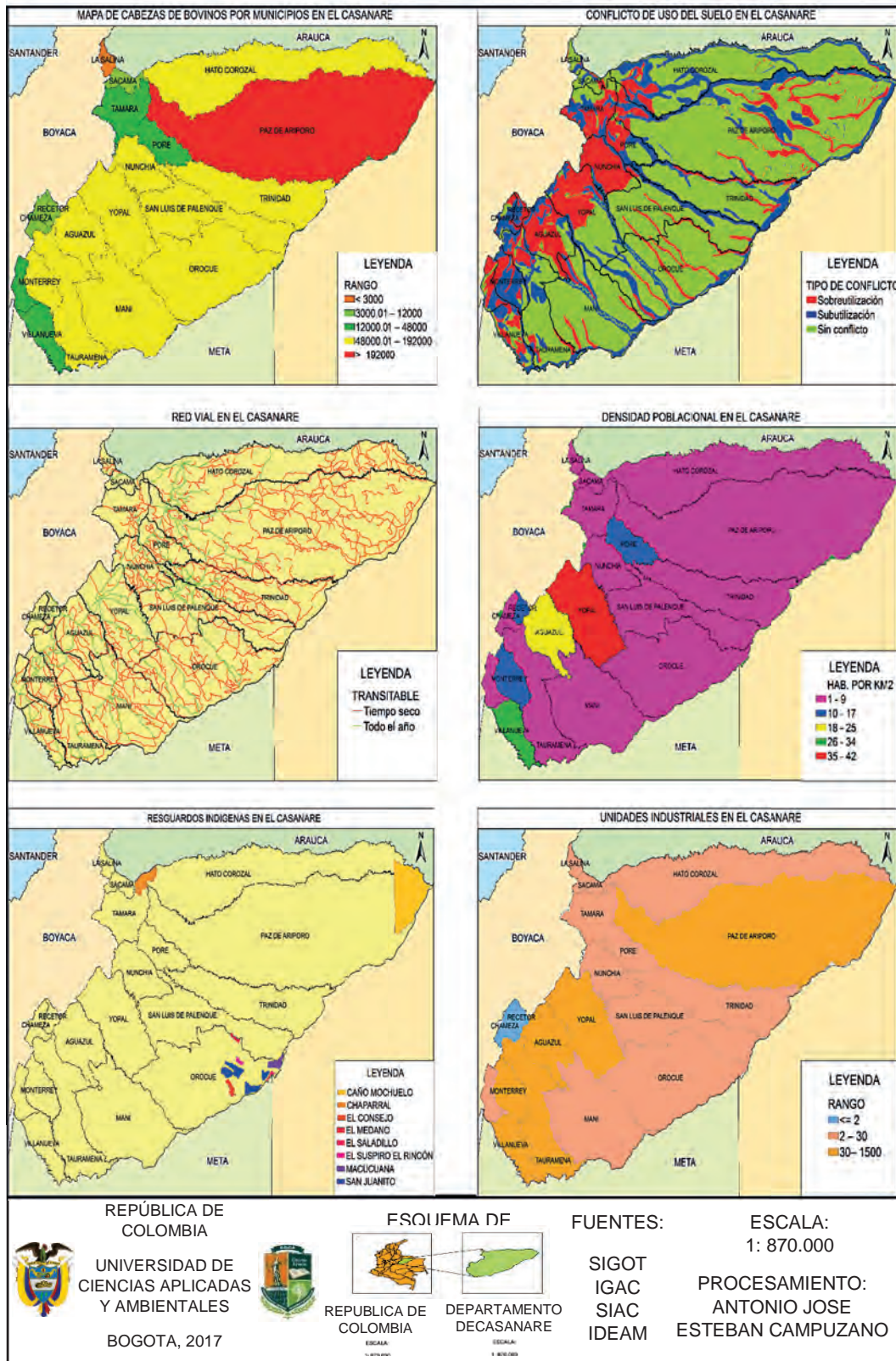


Figura 2. La potencialidad del departamento de Casanare desde el subsistema socioeconómico.



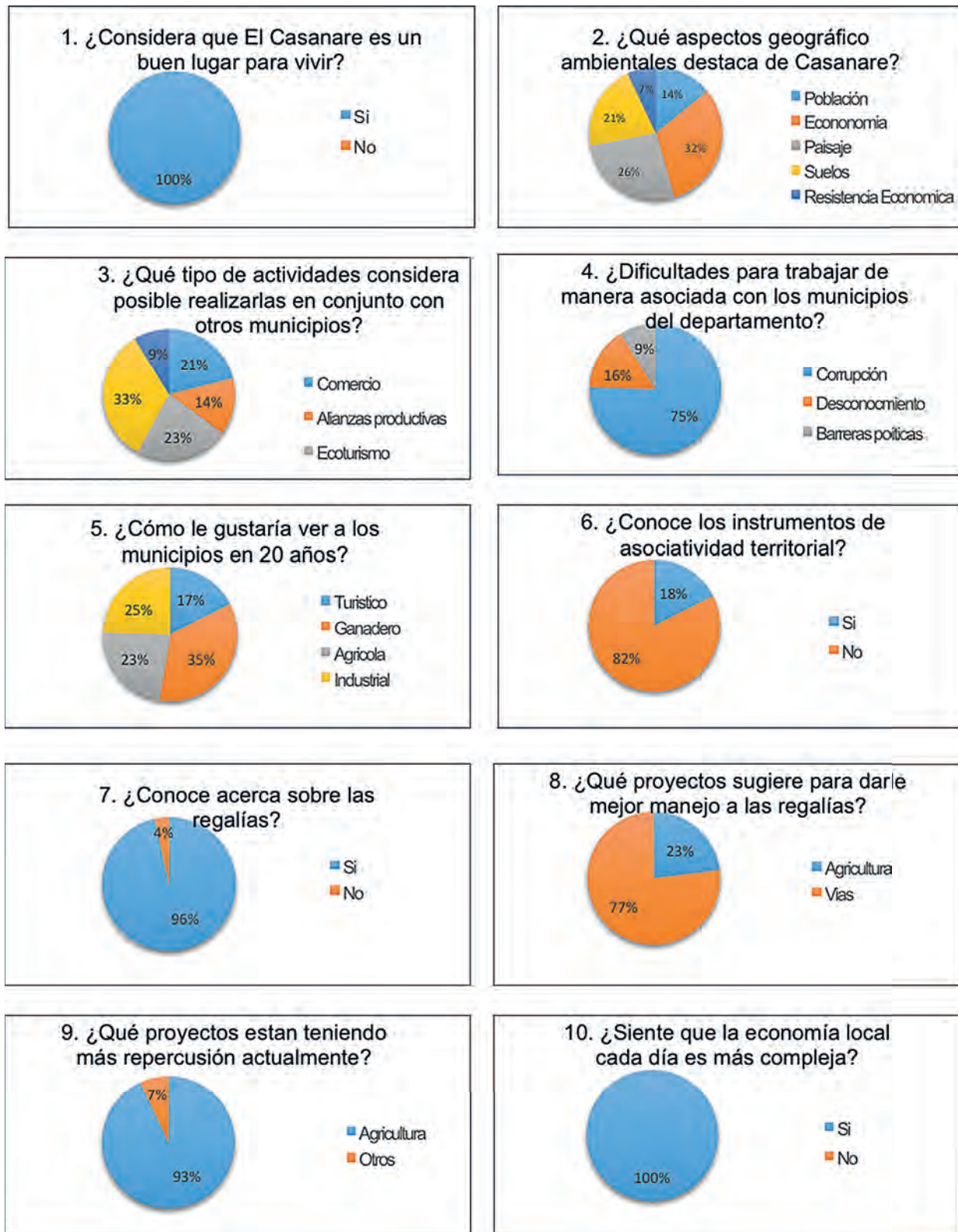


Figura 3. Consideraciones de la comunidad sobre el potencial de asociatividad territorial.

Cuadro 1. Capacidad administrativa local para el desarrollo, en los entes territoriales de Casanare.

ENTE TERRITORIAL	S. EDUCACIÓN	S. SALUD	S. DESARROLLO ECONOMICO	S. PLANEACIÓN	S. HACIENDA	S. SEGURIDAD Y CONVIVENCIA	S. DESARROLLO SOCIAL	S. INFRAESTRUCTURAS Y OBRAS PUBLICAS	S. AMBIENTE	S. AGRICULTURA
CASANARE	X	X		X	X		X	X	X	X
YOPAL	X	X	X		X					
AGUAZUL	X		X		X			X	X	
CHÁMEZA				X	X		X	X		
HATO COROZAL				X	X					
LA SALINA				X	X			X		
MANÍ					X		X	X	X	
MONTERREY			X		X	X	X	X	X	
NUNCHÍA				X	X		X	X		
OROCUÉ				X	X		X	X		
PAZ ARIPORO		X		X				X		X
PORE			X	X	X		X	X		
RECETOR				X			X	X		
SABANALARGA				X	X		X	X		
SÁCAMA				X						
SAN LEJIS PALENQUE				X	X		X	X		
TÁMARA			X	X	X		X	X	X	
TAJIRAMENA			X		X		X	X		
TRINIDAD	X	X			X			X		
VILLANQUEVA			X	X	X		X	X	X	X

de planeación y de hacienda, lo que se esperaría es que hubiera una propuesta de manejo administrativo más acorde con las potencialidades del Departamento.

#### **Propuesta estratégica de asociatividad territorial (Figura 4)**

Para la estrategia de gestión territorial, se seleccionaron seis municipios entre 19, con los cuales, se puede llevar a cabo una asociatividad preliminar en el Departamento de Casanare, que jalone, posteriormente, otros procesos: Hato Corozal, Paz de Ariporo, Pore Trinidad, San Luis de Palenque y Orocué. La elección, se hizo, por una parte, debido a sus potencialidades ambientales conjuntas y, por otra, por el potencial de las variables sociales y las respuestas de la comunidad. Se destaca el potencial hídrico que, a su vez, puede ser utilizado como fuentes de transporte; se ubica el mayor número de reservas indígenas, que representan la multiculturalidad; tienen una economía estable con vocación agrícola y ganadera y, actualmente, en menor proporción, minero-energética; son, además, los entes territoriales que, según la comunidad, motivan el ejemplo para construir un mejor futuro en conjunto. Las acciones para desarrollar la estrategia de asociatividad territorial deberán estar enlazadas por actividades de: agroindustria amigable con el ambiente, ecoturismo, conectividad (vial, eléctrica, de comunicación), protección y manejo de los ecosistemas estratégicos y de la diversidad étnica y cultural. Para gestionar los recursos compartidos es fundamental mantener estas acciones como prioritarias y darles continuidad, en el largo plazo y, en ningún momento, como una sumatoria de proyectos cortoplacistas, lo cual, permitirá un desarrollo más homogéneo y sostenido.

Con los resultados logrados, se evidenció, no solo la necesidad de hacer más visible al Departamento del Casanare, en Colombia, sino la dificultad de aplicar una metodología que tenga en consideración el deseo de las comunidades locales, ya que el acceso a la zona y a la información son limitadas. Además, la diversidad territorial exige, por sí, una variedad de apuestas entre municipios socios, dependiendo de sus intereses. Una propuesta en una vía similar es la que realizan Cáceres *et al.* (2013), para el municipio de Yopal, en la que resaltan la oportunidad de organizarse entre pequeños y medianos productores agrícolas y la dinamización del turismo asociativo integrado a cadenas productivas agrícolas, para el desarrollo de la ruralidad.

Por otra parte, se ha observado una expectativa coyuntural y cortoplacista, propiciada por el Estado, en la intención de distribuir recursos, a nivel de región, pero que no es bien comprendida por las comunidades, a quienes les urge resolver una cantidad de demandas sociales acumuladas, a través de alguna oportunidad de recursos financieros, que pudiera surgir con la elaboración de un proyecto, lo cual, no excluye la opción de aprovechar la priorización de proyectos de in-

versión, sean de la Nación, del Departamento, de recursos del Sistema General de Regalías –por parte de los Órganos Colegiados de Administración y Decisión-, de la Corporación Autónoma de los Recursos Naturales o de la sumatoria de recursos financieros locales, siempre y cuando se le dé continuidad a estas mismas acciones, en el mediano y largo plazo, para motivar a otros municipios a asociarse, de manera estratégica, hasta que se logre cobertura por subregiones, en todo el departamento.

Entonces, en localidades que, por largos periodos han buscado su desarrollo tan solo de manera endógena y no exógena, la opción de ver a su vecino, como parte de un todo, que posibilita un desarrollo conjunto y que le trae bienestar para ambos, se convierte en una oportunidad que, al final, se concreta en la gestión territorial. Se insiste en la diferencia sobre la asociatividad, como estrategia de desarrollo regional, que parte de una directriz nacional, DNP (2013b), porque aquí se resalta es la asociatividad, que nace de la gestión local y jalona procesos de desarrollo supramunicipal, en un territorio con factores comunes, especialmente, de tipo geográfico-ambiental, lo que está en la misma vía de lo que plantean Moreno *et al.* (2014), quienes aconsejan que, para el futuro de Colombia, en el marco del postconflicto, se debe incentivar la asociatividad municipal, con el fin de articular planes y fondos de inversión.

En este punto, es importante recordar el recorrido de Francia, en materia de asociatividad, en donde, actualmente, existen diversos tipos de asociaciones, según las capacidades que despliegan como gestores, para estructurar proyectos suficientemente atractivos, originales e innovadores y para conseguir recursos financieros, que les permitan hacer real los proyectos (Pasquier, 2012).

En conclusión, el Departamento, como unidad intermedia entre los municipios y la Nación, debe motivar, coordinar y articular procesos de largo plazo, de tipo supramunicipal, con motores en localidades claves, que promueva objetivos de desarrollo sostenible y que logren, en primera instancia, concretar la estrategia de asociatividad funcional. Si un municipio ve como una estrategia de desarrollo la oportunidad de asociarse es porque tiene la posibilidad de ofrecer algo positivo a su vecino o porque tienen una serie de necesidades que se puede resolver de manera compartida, ya que cuentan con ofertas naturales similares y demandas sociales conjuntas.

En Colombia existen varias posibilidades de hacer proyectos en conjunto, pero si corresponden solamente a una asociatividad coyuntural; esta posibilidad nace y muere con el proyecto puntual. mientras que los proyectos de tipo funcional, basados en el potencial socioambiental, le permiten duración, consolidación y multiplicación. La estrategia de asocia-

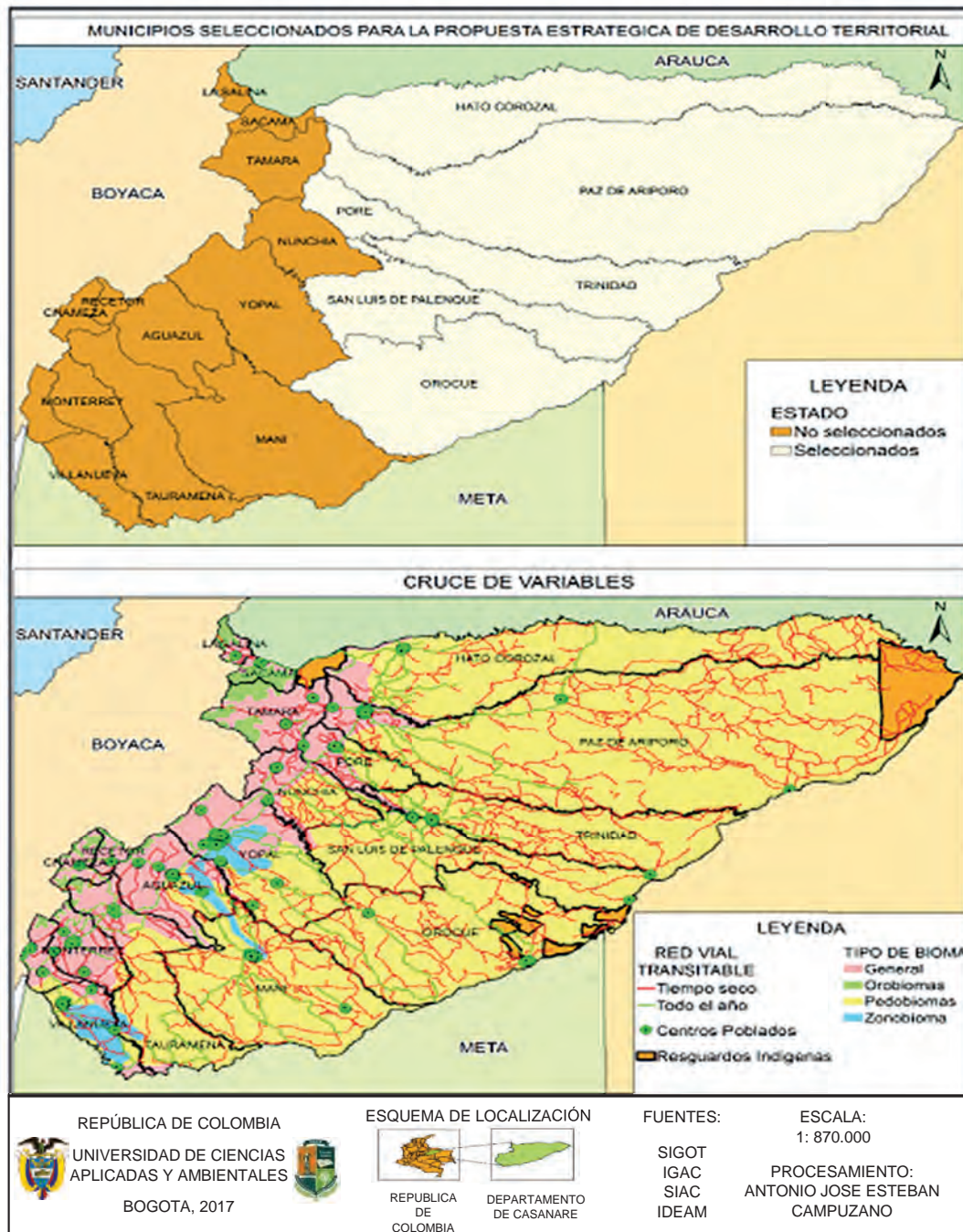


Figura 4. Propuesta estratégica de asociatividad territorial en el departamento del Casanare.

tividad es el pegamento de los intereses comunes; lo natural es la base y lo social es lo que establece la ruptura o la unión; por ello, el ejercicio de asociatividad, se refleja en la capacidad de ARTICULACIÓN. La desarticulación es consecuencia de la falta de acción y de gestión local, pero con la asociatividad, se potencian las acciones que generan un mejor futuro. La visión de desarrollo supramunicipal debe partir desde la base, porque son los municipios los que deben establecer los factores comunes, que los remiten a dinamizar la estrategia de asociarse.

En las circunstancias de Colombia, se sugiere aprovechar la oportunidad de los instrumentos plan de ordenamiento departamental y de ajustar los planes de ordenamiento territorial municipal, de manera articulada, en donde el Departamento no pretenda sustituir al Municipio, como célula de planificación y gestión territorial, sino que lo apoye en procesos que trascienden en el tiempo, en el espacio y en los objetivos, como son las estrategias de asociatividad territorial, capaces de representar la concurrencia, a partir de un análisis de posibles proyectos de base natural y social, ya que estos proyectos son los que mueven los intereses reales y no los creados por coyunturas políticas. La asociatividad funcional, tratada en este escrito, quiere confirmar el mensaje de la naturaleza, sobre mantener unidos los elementos del subsistema ambiental y potenciarlos con las capacidades del subsistema social.

**Agradecimiento:** Los autores agradecen a la U.D.C.A, por financiar el proyecto de investigación “La coherencia de la gestión territorial en Colombia”, que dio origen a este manuscrito. **Conflicto de Intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado por los autores y declaran ser quienes originaron el artículo y no presentan conflicto de intereses.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AGENCIA PRESIDENCIAL DE COOPERACIÓN –APC-. 2017. Asociatividad. Balance de las experiencias de cooperación internacional en Colombia. 24p. Disponible desde Internet en: [https://www.apccolombia.gov.co/sites/default/files/archivos\\_usuario/publicaciones/asociatividad-baja.pdf](https://www.apccolombia.gov.co/sites/default/files/archivos_usuario/publicaciones/asociatividad-baja.pdf) (con acceso 13/08/2017).
2. AYALA, M. 2005. Las asociaciones de municipios en Colombia. El marco normativo frente a la realidad institucional. *Rev. Opera*. 5(5):45-54.
3. ASOCIACIÓN DE MUNICIPIOS DEL ARIARI –AMA-. 2017. Disponible desde Internet en: <http://web.archive.org/web/20130816061828/http://www.a-m-a.com.co/> (con acceso 21/04/017).
4. BALLY, J.L. 2017. Communication, Guides des élus. Un ouvrage juillet. DIRCOM 10. Francia.
5. CABEZA, I. 2015. Cohesión territorial: organización para reducir los desequilibrios territoriales. *Bitácora*. 25(1):51-56.
6. CÁCERES G., L.S.; PARDO E., C.E.; TORRES, A.M. 2013. La asociatividad y las cadenas productivas: una alternativa de desarrollo para el municipio de Yopal, Casanare. *Cooperativismo & Desarrollo*, 21(102):69-75.
7. CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL –CONPES-. 2014. República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Documento 3822, 40p.
8. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA –DANE-. 2007. Documento DIVIPOLA. Disponible desde Internet en <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/divipola/divipola.pdf> (con acceso 17/06/2017).
9. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN –DNP-. 2013a. Comité Especial Interinstitucional. Definición legal y funcional de los esquemas asociativos en Colombia. 81p.
10. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN –DNP-. 2013b. Balance preliminar de los procesos asociativos en Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Colombia. 45p.
11. DONZELOT, J. 2003. Faire société: La Politique de la ville aux Etats-Unis et en France. La couleur des idées. 368p.
12. ERAZO JIMÉNEZ, M.S.; VILLALTA PÁJICAR, M.; MORALES JELDES, M. 2012. Representaciones sociales del asociativismo municipal en educación: Un marco conceptual para la educación chilena. *Polis (Santiago)*. 11(31):141-156.
13. FABRE, P. 2006. Les associations face aux communes: quels leviers d’actions pour l’appropriation des ressources. Journée de Recherche « Quel management pour les associations? ». CERMAT-LOG. 18p.
14. HOLEC, N. 1998. Création d’un syndicat intercommunal à Arcueil, Cachan, Fresnes, L’Hay-les-Roses- dialogues, propositions, histoires pour une citoyenneté mondiale

15. LOUBET, 2013. L'apprentissage de la coopération intercommunale: modalités et instruments, L'espace politique. Revue en ligne, n° 18. Disponible desde Internet en: <http://espacepolitique.revues.org/2454> (con acceso 15/06/2017).
16. MORENO, C.; TRUJILLO, A.; VELÁSQUEZ, F.; RONDÓN C.; GARZÓN, C.; RESTREPO, D. 2014. Descentralización en clave de paz. Fundación Konrad Adenauer. Colombia. 106p.
17. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS –ONU-. 2007. Derechos Humanos y DIH: Diagnóstico Departamental Casanare. 14p. Disponible desde Internet en: [http://www.acnur.org/t3/uploads/media/COI\\_2169.pdf](http://www.acnur.org/t3/uploads/media/COI_2169.pdf) (con acceso 20/09/2017).
18. PAVANI, G.; ESTUPIÑÁN A, L. 2016. Déficit municipal y compleja circulación de la figura de la asociatividad territorial: Lectura comparada para comprender el caso colombiano. Civilizar. 16(30):21-50.
19. PASQUIER, R. 2012. Le pouvoir régional. Mobilisations, décentralisation et gouvernance en France. Questions de communication 23. Presses de Sciences po, coll. 380p.
20. POSADA, A.; BERROCAL, A. 2015. Reconfiguración regional en el marco del ordenamiento territorial; Francia, un espejo para Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(1):271-281.
21. 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.
22. REPÚBLICA DE COLOMBIA. 2011. Ministerio del interior y justicia. Ley orgánica de Ordenamiento Territorial, 1454, 34p.
23. ROJAS, J. 2016. Post-acuerdo y gestión territorial en Colombia. Bitácora 26(2):135-146.
24. VARGAS, Y.; LEÓN, N. 2016. Exploración y explotación de petróleo: enfoque geográfico de los efectos ambientales en el Piedemonte llanero. Perspectiva Geográfica. 21(2):199-224.

Recibido: Julio 18 de 2017

Aceptado: Sept. 29 de 2017

#### Cómo citar:

Posada Arrubla, A.; Campuzano, A.E.; Berrocal Mendoza, A.E. 2017. gestión territorial mediante estrategia de asociatividad para Casanare –Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.20(2): 445-456.

# EFFECTO DE LOS ASPECTOS DEMOGRÁFICOS EN LA VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL SERVICIO. UNA REVISIÓN

## EFFECT OF THE DEMOGRAPHIC ASPECTS IN THE VALUATION OF THE QUALITY OF THE SERVICE. A REVIEW

Juan Carlos Vergara Schmalbach<sup>1</sup>, Víctor Manuel Quesada Iburgüen<sup>2</sup>, Francisco Javier Maza Ávila<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Candidato a Doctor en Ciencias Sociales, mención Gerencia, profesor adscrito a la Facultad de Ciencias Económicas. Universidad de Cartagena (Colombia), Avenida del consulado Calle 30 N°48 – 152, e-mail: jvergaras@unicartagena.edu.co;

<sup>2</sup> Doctor en Ingeniería de la Organización, profesor (jubilado). Universidad de Cartagena (Colombia), e-mail: vquesadaibarguen@gmail.com; <sup>3</sup> Doctor en Ciencias Sociales y Jurídicas, profesor adscrito a la Facultad de Ciencias Económicas y al Instituto Internacional de Estudios del Caribe. Universidad de Cartagena (Colombia), Avenida del consulado Calle 30 N°48 – 152, e-mail: fmazaa@unicartagena.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 457-467, Julio-Diciembre, 2017

### RESUMEN

Comprender los elementos que determinan la satisfacción de usuarios o de clientes de un servicio permite a las organizaciones –tanto públicas como privadas- diseñar e implementar estrategias dirigidas a mejorar los niveles de lealtad y de recompra, entre otras intenciones futuras. Este artículo tiene como propósito evidenciar el efecto que tienen las variables demográficas, como elementos o constructos determinantes de la calidad de un servicio. Para lograr este cometido, se han tenido en cuenta artículos de investigación publicados en revistas indexadas en Scopus, Science Direct y Ebsco Host, durante el periodo 2006-2016, referentes a casos empíricos, donde se analizaron las relaciones de las variables demográficas sobre constructos, que caracterizan la calidad del servicio. La revisión permitió evidenciar la existencia de efectos, positivos o negativos, de los aspectos demográficos de los clientes o consumidores, sobre las expectativas, las percepciones, la satisfacción y las intenciones futuras, siendo el género, la edad, los ingresos y el nivel de estudios, las variables con mayores incidencias.

Palabras clave: Calidad del servicio, aspectos demográficos, satisfacción, intenciones futuras, percepción.

### SUMMARY

Understanding the elements affecting the satisfaction of users and customers of a service enable organizations to conduct actions and strategies focused in performance the levels of loyalty and repurchase, among other future behaviour.

The purpose of this article is to evidence the demographic variables effect, as one of the factors or constructs which could become an important determinant of the service quality. To achieve this purpose were taken into account papers published in the last 10 years, that included into an empirical case, some demographics variables. As result from this analysis, was evidenced effects -positives or negatives- from the demographics elements over the expectatives, perceptions, satisfaction and future behaviour, being the gender, age, income, and study level the variables with the most incidences.

Key words: Service quality, demographics, satisfaction, future Intentions, perception.

### INTRODUCCIÓN

Los estudios referentes a la valoración de la calidad de un servicio permiten conducir a la identificación de los elementos que explican los niveles de satisfacción de un cliente, información coadyuvante en los procesos de toma de decisiones en las organizaciones, tanto públicas como privadas, con beneficio directo en dicho cliente (Vergara-Schmalbach *et al.* 2011; Vergara-Schmalbach & Quesada, 2011). En la literatura, se encuentran diversos resultados de investigaciones que, mediante el desarrollo de aplicaciones empíricas, demuestran una relación consistente entre las expectativas y las percepciones –entendidas como antecedentes de la satisfacción-; también, señalan el papel de las percepciones, como motivadoras del comportamiento del cliente del servicio (Vergara-Schmalbach *et al.* 2012). Estas relaciones, se

pueden representar bajo un modelo general de Ecuaciones Estructurales, que permite valorar los efectos entre los constructos que caracterizan el servicio (Bolton & James, 1991).

El esquema general para el análisis de la calidad del servicio, según la simplificación propuesta por Cronin & Taylor (1992), consiste en un modelo compuesto por tres factores o constructos: Percepción, Satisfacción e Intenciones futuras –este último, representado por variables como la lealtad, la recompra, las quejas y reclamaciones, la recomendación boca a boca y la recompra-; a su vez, dichos constructos son alimentados por un conjunto de datos, expresados a través de variables observadas, que provienen de una muestra o población.

La desventaja de la simplificación planteada con anterioridad, de amplia utilización en el análisis de la calidad de un servicio cualquiera, es que deja a un lado la posibilidad de introducir otros elementos que podrían ser determinantes de la calidad de un servicio, tales como los datos demográficos de los clientes. Vale anotar que las variables demográficas suelen estar presentes en los cuestionarios de percepción (Bradburn *et al.* 2004); sin embargo, su inclusión se limita únicamente a los siguientes aspectos:

- Indagar si una muestra está sesgada o es representativa de la población (Bradburn *et al.* 2004; Mitchell & Jolley, 2010; 2012).
- Caracterizar la población encuestada, a partir de sus características demográficas (Mitchell & Jolley, 2010).
- Definir nuevas variables independientes o predictores (Wedel & Desarbo, 2002).
- Conocer el perfil del cliente o consumidor (Nettleton, 2003).

En este sentido, la inclusión de las características demográficas del cliente, no solo como una forma para facilitar filtros o clasificaciones –como suele ser consideradas-, sino como parte del modelo para evaluación de la calidad del servicio, podría traer, como principal beneficio, la posibilidad de contar con la información necesaria para el diseño de estrategias de segmentación. También permitiría la planeación de acciones dirigidas por grupos demográficos para mejorar los niveles de satisfacción y, por ende, la actitud favorable del cliente hacia el servicio en cuestión. Por ello, el objetivo de este artículo, se centra en evidenciar el efecto que tienen las variables demográficas, como elementos o constructos determinantes de la calidad de un servicio, a partir de la revisión de los artículos referentes a casos empíricos, publicados en revistas que se encuentren indexadas en las principales bases de datos, como Scopus, Science Direct y Ebsco Host, durante el periodo 2006-2016. Vale aclarar que una revisión previa durante el periodo de análisis no arrojó artículos de revisión similares al propuesto.

La estructura que recoge este artículo, se presenta a continuación: tras este epígrafe introductorio, en el siguiente apartado, se resume la metodología que se propone para la identificación de los artículos de investigación, referidos a casos empíricos, que consideran variables demográficas en el análisis de la calidad del servicio; en el apartado Resultados y Discusión, se analizan los métodos empleados, en cada uno de los artículos identificados, para el análisis cuantitativo del efecto de las variables demográficas en la calidad de un servicio; además, se muestran los efectos de dichas variables demográficas en la valoración de la calidad de un servicio. Al final de este apartado y de acuerdo con los resultados obtenidos, se presentan la Discusión y las Conclusiones. El último apartado corresponde a la Bibliografía.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Como propósito del presente artículo, se realizó una revisión de investigaciones sobre valoración de la calidad en distintos servicios que integran elementos del perfil demográfico de clientes, con el fin de demostrar, desde la literatura, evidencias del efecto que tienen las variables demográficas en la calidad del servicio, cómo se estructura este tipo de investigación y cuáles son los métodos que han empleado para su análisis. Para ello, se revisaron, de forma sistemática, artículos científicos indexados en las bases de datos especializadas Science Direct, Scopus y Ebsco Host, durante el periodo 2006-2016, orientados a demostrar la relación de las variables demográficas sobre otros constructos, sea a partir del desarrollo de un caso empírico o desde su aplicación a un servicio en particular. Por ello, se utilizaron las siguientes palabras clave, que fueron incorporadas a las bases de datos de forma combinada: *Service Quality, Estructural Equation Modelling -SEM-, Demographics Variables, Gender, Age e Income*. Para facilitar la inclusión y el análisis de los documentos consultados, se propuso un esquema de clasificación de las investigaciones, según el resultado arrojado, tal como se explica a continuación:

- Supuesto A: Se demuestra cuantitativamente que existe una o varias relaciones –que pueden ser causales o no- entre las variables demográficas y las variables que valoran la calidad del servicio: Expectativas, Percepciones, Satisfacción e Intenciones futuras.
- Supuesto B: Se encuentran puntuaciones más altas en uno o varios indicadores o variables que cuantifican la calidad del servicio, de acuerdo a las clasificaciones demográficas, sin llegarse a demostrar un efecto correlacional o causal.

En el primer supuesto (Supuesto A), la o las variables demográficas tienen un efecto relacional o causal en una o varias variables estructurales del modelo; por ejemplo, al aumentar la edad del usuario o cliente encuestado, la satisfacción sobre el servicio recibido disminuye. Para el segundo resultado



(Supuesto B), no se demuestra la relación causal entre el resto de variables consideradas; verbigracia, que el promedio de los hombres califique con una puntuación más alta la calidad del servicio recibido que las mujeres, pero no se demuestre una correlación significativa entre las variables género y la calidad del servicio.

Los resultados de la revisión bibliográfica podrían evidenciar el efecto que tienen las variables demográficas en la calidad de un servicio, lo que justificaría la importancia y la necesidad de su inclusión a la hora de realizar estudios de este tipo, así como para determinar cuáles, de dichas variables, deben ser priorizadas al momento de diseñar estrategias, que apunten a mejorar los niveles de satisfacción e intenciones futuras de los clientes.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La revisión de la literatura sobre casos empíricos de valoración de calidad del servicio, que incluyen variables demográficas, arrojó un total de 28 artículos científicos, evidenciando la existencia de pocas investigaciones sobre el tema (Salvador, 2007). En los artículos científicos analizados, los datos demográficos suelen provenir de preguntas estandarizadas, tales como la edad, el género, los ingresos, la raza y la educación (Lavrakas, 2008), siendo la variable género la más empleada en las investigaciones revisadas. Se observa, que dichas variables suelen ser medidas como categóricas, cuyas respuestas encajan en categorías secuenciales, exhaustivas y mutuamente excluyentes (Melnyk & Morrison-Beedy, 2012; Randolph & Myers, 2013). Si la variable considera solo dos categorías posibles, esta variable suele ser clasificada como categórica dicotómica o binaria, como ocurre en la categorización usual del género, variable que acepta solo dos posibles resultados: masculino o femenino (Beaudry & Miller, 2016).

La relación entre las variables demográficas con aquellas que influyen en la valoración de la calidad del servicio suele ser contradictoria (Lee *et al.* 2011), donde dichas contradicciones se desprenden de las diferentes valoraciones encontradas sobre las distintas dimensiones del servicio; por ejemplo, Ladhari & Leclerc (2013) no pudieron demostrar una relación entre el género y la valoración de la calidad de los servicios financieros online, pero sí encontraron que las mujeres reportaron mayores niveles en la calidad del servicio, satisfacción, confianza y lealtad que los hombres. Por su parte, Zalatar (2012) realizó un estudio del servicio de bancos comerciales, arrojando que los hombres tienden a valorar mejor otros aspectos, como la infraestructura y los materiales, que son visualmente atractivos, mientras que las mujeres aprecian mejor la preparación de los empleados, en cuanto al conocimiento necesario para responder a las preguntas de los clientes. En línea contraria a las investigaciones anteriores, Ganesan-Lim *et al.* (2008), Tolpa (2012),

Belanche *et al.* (2016) y Zeng *et al.* (2016) no encontraron evidencia del efecto del género en la calidad del servicio.

La edad también es una variable demográfica de uso recurrente en los estudios sobre valoración de la calidad. Ganesan-Lim *et al.* (2008) demostraron una fuerte evidencia entre la edad y las percepciones en la calidad del servicio, donde las valoraciones sobre lo tangible, los resultados y las interacciones fueron significativamente más altas en personas maduras comparadas con personas jóvenes.

Si las variables demográficas muestran un efecto significativo sobre las variables que cualifican la calidad del servicio en los estudios de percepción, se podría conducir estrategias para diferenciar o segmentar el servicio, a partir de la identificación del perfil de los usuarios (Khosrow-Pour, 2012; Wedel & Desarbo, 2002). Es así que Calabrese *et al.* (2016) encontraron diferencias en cuanto a las expectativas y las percepciones sobre las acciones de Responsabilidad Social Empresarial llevadas a cabo por bancos, donde las mujeres puntuaron las expectativas significativamente más altas que los hombres; por tanto, en emprendimientos futuros, estas empresas podrían aumentar la eficacia, si en el diseño, la planificación, la ejecución y la evaluación de las iniciativas de Responsabilidad Social Empresarial tienen en cuenta dichas variaciones en las expectativas, según el género.

En cuanto a los servicios públicos, se registra en la literatura varios estudios que consideran las variables demográficas, dentro del análisis de la calidad de los servicios ofrecidos, con resultados ambiguos; por ejemplo, en los resultados del estudio realizado por Zeng *et al.* (2016) sobre el servicio de recolección de basuras, no se encontró un efecto significativo del género sobre la disposición a pagar por el servicio. Por otro lado, Morton *et al.* (2016) hallaron que, al valorar la calidad del servicio de transporte, los hombres tienden a calificar un poco mejor que las mujeres, los aspectos relacionados con la seguridad. En un análisis ampliado, basado en las 5 dimensiones expuestas por Parasuraman *et al.* (1988), Mokhlis (2012) encontró un efecto significativo en las dimensiones Tangibles y Confiabilidad, donde las mujeres tienden a otorgar una importancia mayor en estos dos elementos que los hombres, en el momento de evaluar la satisfacción total sobre el servicio recibido.

En la misma línea, Belanche *et al.* (2016) no pudieron demostrar una relación directa entre el género, el apego a la ciudad y el uso de los servicios públicos urbanos, explicado por la naturaleza propia de los servicios públicos, que están orientados a toda la comunidad; sin embargo, en ese estudio, la edad y el nivel de educación tuvieron un efecto positivo y negativo sobre el apego a la ciudad, respectivamente. En la tabla 1, se resumen los estudios analizados, clasificados cronológicamente, según el tipo de resultado documentado y el efecto generado

Tabla 1. Estudios analizados sobre el efecto del género en la percepción de la calidad.

Autores del estudio	Tipo de resultado	Variables con efecto significativo	Descripción del Efecto
Anic & Radas (2006)	Supuesto A	Género, Tamaño del Hogar, Edad, Localización	Las mujeres muestran ser más leales que los hombres. Las personas más cercanas al sitio de venta son más leales que las personas lejanas. La edad y el tamaño del hogar muestran una relación positiva con la lealtad del cliente.
Salvador (2007)	Supuesto A	Género	Resultados variados sobre la puntuación de los indicadores de calidad, expectativas e indicadores de satisfacción.
Patterson (2007)	Supuesto A	Edad, Ocupación	Las personas con edad entre 35 años o más muestran un comportamiento más leal que los clientes más jóvenes.
Ganesan-Lim <i>et al.</i> (2008)	Supuesto A	Edad	La edad tiene un efecto positivo en todos los aspectos de la calidad del servicio.
Juwaheer (2011)	Supuesto A	Género	Las mujeres encuestadas evaluaron las expectativas con un puntaje promedio mayor a los hombres en todas las variables de calidad. En cuanto a las percepciones, las mujeres mostraron una puntuación en 5 de 7 variables.
Palli & Mamilla (2012)	Supuesto A	Género	Los resultados indicaron que no hubo diferencias significativas en la valoración de la satisfacción general de los encuestados en cuanto a la edad, la ocupación y el ingreso. Se encontró diferencia significativa en la satisfacción general de los encuestados sólo en términos de género
Anand & Selvaraj (2012)	Supuesto A	Localización	Este estudio reveló que no existe una relación significativa entre las variables demográficas y el nivel de satisfacción, con excepción a la elección de la entidad financiera con respecto a la localización.
Mokhlis (2012)	Supuesto A	Género	Las mujeres tienen una incidencia mayor que los hombres en la puntuación de la satisfacción a partir de las valoraciones de los tangibles, fiabilidad sobre el servicio recibido.
Zalatar (2012)	Supuesto B	Género	Resultados variados sobre la puntuación de expectativas y percepciones.
Tolpa (2012)	Supuesto B	Género	No existe mucha diferencia entre los géneros masculino y femenino sobre las expectativas en el servicio.
Sasikala (2013)	Supuesto A	Género, Edad, Estado Civil, Ocupación, Ingreso	Demuestran una asociación significativa entre género, edad, estado civil, ocupación y la calidad del servicio, satisfacción y lealtad. No demuestran una asociación entre ingreso y satisfacción. No encuentran una asociación significativa entre el nivel de educación y la calidad del servicio, satisfacción y lealtad.
Maruvada & Bellamkonda (2013)	Supuesto A	Género, Ingreso	Existe un efecto entre el género y el ingreso el servicio ofrecido aborto.
Akbar (2013)	Supuesto A	Género, ocupación, ingreso	Las variables demográficas explican en un 57% la variación de la puntuación en la lealtad del cliente (intención de re-compra), en un 52% la variación en la recomendación boca a boca y 54% en la insinceridad sobre el precio.
Saad <i>et al.</i> (2013)	Supuesto A	Ingreso	El nivel de ingreso tiene un efecto positivo sobre la lealtad del cliente (entre mayor es el ingreso, mayores son los niveles de lealtad).
Afzal & Pakistan (2013)	Supuesto A	Edad, Educación, Estado Civil, Duración de la Relación con la empresa, Categoría del Cliente	La edad, educación, duración de la relación con la empresa y categoría del cliente tienen un impacto positivo en la lealtad del cliente. Las personas casadas tienden a ser más leales con la empresa que los solteros.

Continuación Tabla 1.

<b>Autores del estudio</b>	<b>Tipo de resultado</b>	<b>VARIABLES con efecto significativo</b>	<b>Descripción del Efecto</b>
Bhattacharya & Dash (2013)	Supuesto A	Edad, Educación, Ocupación, Ingreso	La satisfacción global del cliente es dependiente de la edad, educación, ocupación e ingreso del encuestado.
Irshad <i>et al.</i> (2013)	Supuesto A	Edad, Ingreso, Educación	El nivel de ingresos y la edad (establecida por grupos de usuarios) tienen un impacto moderado en el clima del servicio. El nivel de educación tiene un impacto en el clima del servicio y la percepción sobre la calidad del servicio.
Singh (2013)	Supuesto A	Género, Educación, Ingreso, Ocupación	El género tiene un efecto en algunos aspectos de la calidad del servicio (capacidad de resolver problemas, motivación de amigos y parientes a comprar). El nivel de educación, el nivel de ingreso y estado civil tienen efectos diferentes en la intención de comprar en otro almacén. El estado civil tiene un efecto significativamente alto en el comportamiento de las quejas de los clientes
Jain (2013)	Supuesto B	Educación, Género, Ocupación, Ingreso	Los clientes sin nivel universitario tienen puntuaciones significativamente mayores que los clientes graduados con respecto a la percepción de aseguramiento de la calidad del servicio. Los clientes con menor nivel de ocupación e ingresos valoran la calidad con una puntuación mejor.
Ladhari & Leclerc (2013)	Supuesto A	Género	Las mujeres reportaron mayores niveles en la calidad del servicio, satisfacción, confianza y lealtad que los hombres
Min & Khoon (2014)	Supuesto A	Nacionalidad, Género, Edad, Estudios	Los hombres valoran con una puntuación más alta los indicadores de motivación (expectativas y percepciones) y la satisfacción. La nacionalidad, edad y nivel de estudios tiene efectos variados en la valoración de la calidad.
Mutlaq & Otaibi (2014)	Supuesto A	Edad, Tamaño de la Familia, Ingreso	La edad, el tamaño de la familia y el ingreso tienen un efecto positivo sobre la calidad percibida del servicio.
Hagan (2015)	Supuesto A	Género, Ocupación, Educación	Las mujeres perciben la calidad del servicio con una puntuación mayor. Los clientes con menor nivel de educación tienen una buena percepción de la calidad del servicio. Las personas retiradas perciben la calidad del servicio como alta.
Zeng <i>et al.</i> (2016)	Supuesto A	Edad, localización, ingreso	A mayor edad, mayor disposición para pagar, A mayor ingreso, menor disposición para pagar. En cuanto a la localización, a mejor ubicación o estatus, mayor es la disposición para pagar por el servicio.
Morton <i>et al.</i> (2016)	Supuesto A	Edad, Género, Estatus Ingreso, Educación	Existe evidencia del género con efecto positivo sobre la calidad del servicio (Masculino = 1, Mujer = 0). También se evidencia que, a mayor edad, mayor es la valoración de la calidad del servicio. Con respecto al estado económico, los autores evidencian diversos efectos. También concluyen que a mejor nivel de educación, menor es la valoración de la calidad del servicio.
Calabrese <i>et al.</i> (2016)	Supuesto B	Edad, Género, Educación	Resultados variados sobre la puntuación de expectativas y percepciones.
Belanche <i>et al.</i> (2016)	Supuesto A	Edad, Educación	La edad tiene un efecto positivo sobre la valoración de los tangibles, mientras que la educación tiene un efecto contrario.

Fuente: Elaboración propia, a partir del análisis de diversos estudios sobre género y calidad del servicio.

por las variables demográficas identificadas –Supuesto A o B-. Uno de los fines de los modelos cuantitativos de valoración de la calidad de un servicio cualquiera consiste en permitir la detección de relaciones significativas entre los constructos del modelo, para poder determinar los factores que tienen efecto sobre los indicadores de calidad. Para validar los constructos y poder encontrar las relaciones significativas, se emplean uno o varios métodos multivariados para el análisis de datos, tales como las Regresiones Múltiples, Análisis de Componentes Principales, Análisis Discriminante múltiple, Análisis de Correlaciones, Análisis de Varianza y Covarianza, Análisis de Clúster, Análisis Conjunto, Análisis de Correspondencia, Análisis Factorial Confirmatorio y Modelos de Ecuaciones Estructurales, entre otros (Hair Jr *et al.* 2014).

Para Steenkamp & Van Trijp (1991), las relaciones entre variables independientes y dependientes, suelen ser representadas como hipótesis estadísticas dentro de un modelo conceptual, donde se prueba si existe un efecto significativo entre las variables demográficas sobre las demás variables, que caracterizan la calidad del servicio; la validez equivale al grado en que los constructos alcanzan un significado empírico y teórico. En la tabla 2, se muestran los métodos de análisis de datos en los estudios indagados sobre valoración de la calidad en servicios variados, tales como financieros, transporte, comercio, educación y salud, entre otros, que incluyen variables demográficas, dentro de sus modelos cuantitativos.

Tabla 2. Caracterización de los estudios analizados sobre casos de valoración de la calidad del servicio, que incluyen variables demográficas.

Servicio evaluado	Autores del estudio	Variables demográficas	Tamaño de la muestra	Método / herramienta utilizada
Financiero	Saad <i>et al.</i> (2013)	Género, Edad, Ingreso, Ocupación, Estilo de Vida	150	Regresión Múltiple
	Zalatar (2012)	Género	96	Análisis de brechas / GAP
	Ladhari & Leclerc (2013)	Edad, Género, Educación	376	Modelos de Ecuaciones Estructurales
	Jain (2013)	Educación, Género, Ocupación, Ingreso	330	Correlación, Prueba F, ANOVA
	Ramez (2011)	Género, Edad, Educación, Nacionalidad, Ocupación	195	ANOVA
	Anand & Selvaraj (2012)	Género, Estado Civil, Edad, Educación, Dependientes, Ocupación, Ingresos	50	Prueba Chi-Cuadrado
	Sasikala (2013)	Género, Edad, Estado Civil, Ocupación, Ingreso, Educación	200	ANOVA / Análisis de correlaciones
	Afzal & Pakistan (2013)	Género, Edad, Educación, Estado Civil, Duración de la Relación con la empresa, Categoría del Cliente	200	Prueba Chi-Cuadrado / ANOVA
	Bhattacharya & Dash (2013)	Género, Edad, Estado Civil, Localización, Educación, Ocupación, Ingreso	518	Prueba Chi-Cuadrado
Servicios Públicos	Belanche <i>et al.</i> (2016)	Edad, Género, Educación	464	Modelos de Ecuaciones Estructurales / Regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS)
	Mokhlis (2012)	Edad, Género, Educación	234	Análisis de Regresión Múltiple / Análisis Discriminante Multivariado
	Zeng <i>et al.</i> (2016)	Edad, Género, Educación, Localización, Ingreso	518	Regresión logística

Continuación Tabla 2.

Servicio evaluado	Autores del estudio	Variables demográficas	Tamaño de la muestra	Método / herramienta utilizada
Transporte	Tolpa (2012)	Edad, Género	79	Análisis de brechas / GAP
	Morton <i>et al.</i> (2016)	Edad, Género, Ingreso, educación	3797	Análisis Factorial Confirmatorio
	Ganesan-Lim <i>et al.</i> (2008)	Edad, Género, Ingreso	224	Análisis Factorial Confirmatorio
	Maruvada & Bellamkonda (2013)	Género, Ingreso	607	MANOVA
Comercio	Anic & Radas (2006)	Género, Edad, Tamaño del Hogar, Ingreso, Localización	300	Regresión Múltiple
	Mutlaq & Otaibi (2014)	Género, Estado Civil, Edad, Educación, Tamaño del Hogar, Ingreso, Localización	408	Regresión Múltiple
	Singh (2013)	Género, Edad, Localidad, Estado Civil, Educación, Ocupación, Ingresos	540	ANOVA
Turismo / Hotelería	Hagan (2015)	Nacionalidad, Edad, Género, Educación, Religión, Ocupación	358	ANOVA
	Juwaheer (2011)	Género	401	Prueba Chi-Cuadrado / MANOVA / Análisis Discriminante Multivariado
	Akbar (2013)	Género, Edad, Estado Civil, Localización, Ocupación, Educación	680	Regresión Múltiple
Educación	Min & Khoon (2014)	Nacionalidad, Género, Edad, Estudios	263	Modelos de Ecuaciones Estructurales
	Palli & Mamilla (2012)	Edad, Género, Ocupación, Ingreso	120	Análisis de correlaciones / ANOVA
Servicios varios	Salvador (2007)	Edad, Género	1008	Análisis de Regresión Múltiple
	Patterson (2007)	Género, Edad, Ocupación	700	ANOVA
Responsabilidad Social Empresarial	Calabrese <i>et al.</i> (2016)	Edad, Género, Educación	908	Coficiente de Cohen (d)
Salud	Irshad <i>et al.</i> (2013)	Género, Edad, Ingreso, Educación	912	ANOVA

Fuente: Elaboración propia, a partir del análisis de diversos estudios sobre calidad del servicio.

En las investigaciones consultadas, se desarrollaron casos empíricos, en su mayoría, centrados en un servicio en particular. En la tabla 3, se muestra una ficha resumen sobre los elementos usuales que estructuran las investigaciones analizadas.

En cuanto a la medición de las relaciones entre las variables demográficas y los demás constructos, es apropiado codificar las categorías dispuestas por variable demográfica para su posterior tratamiento en los modelos cuantitativos (David & Sutton, 2011). Una forma de codificación consiste en la

asignación de un número consecutivo para cada una de las categorías de selección o a través de una agrupación particular de categorías, por ejemplo, convirtiendo las variables categóricas en categóricas dicotómicas, permitiendo su inclusión y su tratamiento dentro del modelo, como variables discretas (Monette *et al.* 2014) o como variables Dummy, en modelos de regresión (Hardy, 1993). En las variables nominales, por ejemplo, ocupación, el orden de la numeración asignado por categoría no es relevante (Rubin, 2013). En la tabla 4, se ilustra un ejemplo de la codificación de las categorías de variables demográficas.

Tabla 3. Caracterización resumen de los estudios analizados sobre variables demográficas.

Número de variables demográficas promedio	4
Número de variables demográficas promedio con efecto significativo	3
Variables demográficas con mayor número de efectos encontrados (Aproximado)	Género, Edad
Tamaño de muestra promedio	522,11
Tamaño de muestra mínimo	79
Tamaño de muestra máximo	3797
Método estadístico más utilizado	ANOVA

Fuente: Elaboración propia, a partir del análisis de diversos estudios sobre calidad del servicio analizados.

Tabla 4. Codificación de categorías demográficas segmentadas en dos opciones.

Pregunta	Codificación / Categoría	Tipo de Variable
Género	0 - Masculino 1 - Femenino	Nominal, Dicotómica
Edad	0 - 15 a 29 años 1 - 30 a 54 años 2 - 55 a 64 años 3 - 65 a 79 años 4 - Mayores de 80 años	Intervalo
Ingreso	0 - \$15000 - 25000 1 - \$26000 - 35000 2 - \$36000 - 50000 3 - \$50000 - 100000 4 - \$100000 - 250000 5 - Ingresos mayores a \$250000	Ratio

Fuente: Elaboración propia, basado en la clasificación de categorías agrupadas realizada por Ganesan-Lim *et al.* (2008).

En cuanto al tratamiento cuantitativo de los aspectos demográficos en modelos correlacionales y causales, se deben considerar el carácter cualitativo de las variables nominales que, a pesar de una codificación, serán consideradas como discretas por naturaleza y, por tanto, no podrán ser asumidas como normalmente distribuidas (Finney & Distefano, 2006) afectando un requisito de los modelos estadísticos de tipo paramétricos.

En resumen, y a partir del análisis de artículos de investigación referidos a la valoración de la calidad del servicio, se evidencia la existencia de diversos efectos de los aspectos demográficos de los clientes o consumidores sobre las expectativas, las percepciones, la satisfacción y las intenciones futuras. Con la información analizada en este artículo, se complementa el conocimiento general sobre el efecto de las variables demográficas, cuyo aporte principal radica en la

justificación de la inclusión de los datos demográficos en los estudios de valoración de la calidad del servicio, en el desarrollo de nuevos casos.

Los resultados del análisis planteado en este apartado muestran que los efectos de las variables demográficas sobre la calidad del servicio son diversos; estas diferencias obedecen al tipo de servicio recibido, las dimensiones evaluadas y las actitudes entre géneros. Pueden, además, variar entre países, con contextos históricos y culturales diferentes, como concluyen los estudios realizados por Yoshida (2011) y Marković & Janković (2013). En el caso particular de la variable Género, que la persona sea hombre o mujer, tendría un efecto en la forma de valorar el servicio recibido, lo que podría influenciar en el resultado final. Estos cambios en el esquema de pensamiento, se pueden deber a estereotipos (Ganesan-Lim *et al.* 2008), exposición hormonal, teorías socio-culturales,

teoría de la evolución y la hipótesis de selectividad que, a su vez, definen la ética y la moralidad, la confianza, las emociones, la sensibilidad, el estilo paternal e, incluso, los comportamientos de consumo (Meyers-Levy & Loken, 2015).

Como se demuestra en las investigaciones consultadas, la edad, el ingreso y el nivel de estudio, también pueden ser importantes determinantes del comportamiento del consumidor, al igual que el género; un ejemplo de este tipo de resultados, se encuentra en el estudio realizado por Hagan (2015), en el servicio de hoteles, donde el autor recomienda la inclusión de las variables nivel de educación y de ocupación, además del género, para mejorar la calidad del servicio, a partir de la segmentación por grupo de invitados.

El conocimiento de la existencia de incidencias de las variables demográficas sobre la calidad de un servicio no solo podría, sino que debería, derivar en la formulación e implementación de estrategias diferenciadas por grupos segmentados de individuos, enfocadas en mejorar los indicadores de satisfacción e intenciones futuras, adaptando los servicios a las características demográficas de los clientes o consumidores. Para Mokhlis (2012) y Min & Khoo (2014) esta diferenciación ayudaría al desarrollo de estrategias de mercado basado en las variables demográficas, cuyos datos provenirían de las consultas realizadas a los clientes y el tratamiento cuantitativo, bajo esquemas que permitan determinar las relaciones entre variables estructurales, adecuadas al contexto. Como recomendación final, en futuras investigaciones sobre estrategias empresariales, se invita a incluir los resultados de los estudios de valoración de la calidad del servicio que tienen en cuenta las variables demográficas, donde se integren y se evalúe el impacto de las acciones de marketing en los segmentos del mercado, previamente identificados.

**Conflicto de intereses:** Este 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. AFZAL, N.; PAKISTAN, S. 2013. Impact of customer satisfaction and demographic factors on customer' S loyalty in banking sector of Pakistan. *Middle-East J. Scientific Res (Pakistan)*. 18(5):721-727.
2. AKBAR, S. 2013. Determinants of service quality and customer loyalty through the moderating effect of socio demographic characteristics. *International J. Hospitality & Tourism Systems (India)*. 6(2):81-91.
3. ANAND, S.V.; SELVARAJ, M. 2012. Impact of demographic variables on customer satisfaction in banking sector – an empirical study. *International J. Scientific Res. Publications (Francia)*. 2(5):1-7.
4. ANIC, I.D.; RADAS, S. 2006. The role of satisfaction and demographic factors in building store loyalty. *Ekonomiska Politika (Croacia)*. 1(108):67-86.
5. BEAUDRY, J.S.; MILLER, L. 2016. *Research literacy: a primer for understanding and using research*. Guilford Publications (EEUU). 380p.
6. BELANCHE, D.; CASALÓ, L.V.; ORÚS, C. 2016. City attachment and use of urban services: benefits for smart cities. *Cities (EEUU)*. 50:75-81.
7. BHATTACHARYA, S.; DASH, M.K. 2013. Measurement of customer satisfaction on demographic variables of banking sector in national capital region - an empirical analysis. *Prestige International J. Management & It- Sanchayan (India)*. 2(2):78-107.
8. BOLTON, N.; JAMES, H.D. 1991. A longitudinal analysis of the impact of service changes on customer attitudes. *J. Marketing (EEUU)*. 55(1):1-9.
9. BRADBURN, N.; SUDMAN, S.; WANSINK, B. 2004. *Asking questions: the definitive guide to questionnaire design - for market research, political polls, and social and health questionnaires*. John Wiley & Sons (EEUU). 448p.
10. CALABRESE, A.; COSTA, R.; ROSATI, F. 2016. Gender differences in customer expectations and perceptions of corporate social responsibility. *J. Cleaner Production (Países Bajos)*. 116(1):135-149.
11. CRONIN, J.J.; TAYLOR, S.A. 1992. Measuring service quality: a reexamination and extension. *J. Marketing (EEUU)*. 56(3):55-68.
12. DAVID, M.; SUTTON, C.D. 2011. *Social research: an introduction*. Sage Publications. (Inglaterra). 680p.
13. FINNEY, S.; DISTEFANO, C. 2006. Non-normal and categorical data in structural equation modeling. En: Hancock, G.R.; Mueller, R.O. (eds.). *Structural Equation Modeling: a second course in structural equation modeling*. Information Age (EEUU). p.269-312.
14. GANESAN-LIM, C.; RUSSELL-BENNETT, R.; DAGGER, T. 2008. The impact of service contact type and demographic characteristics on service quality perceptions. *J. Services Marketing (Inglaterra)*. 22(7):550-561.

15. HAGAN, E. 2015. Service quality perceptions and socio-demographic characteristics of hotel guests in the western region of Ghana. *J. Tourism Hospitality and Sport* (Inglaterra). 10(1):16-30.
16. HAIR Jr, J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E. 2014. *Multivariate data analysis*. Pearson Education Limited (Inglaterra). 899p.
17. HARDY, M.A. 1993. *Regression with dummy variables*. Sage Publications (Inglaterra). 91p.
18. IRSHAD, R.; HASHMI, M.; HASSAN, A.; ZAHID, T.; HASSAN, S. 2013. Demographic variables impact on service climate and overall customer perception about service quality: evidence from healthcare industry. *World Applied Sciences J. (Pakistan)*. 26(6):737-743.
19. JAIN, P. 2013. Service assurance perception and customer demography: empirical study of state bank of India. *Global J. Management and Business Studies (India)*. 3(7):689-694.
20. JUWAHEER, T.D. 2011. Gender bias in hotel guests' perceptions of service quality: an empirical investigation of hotels in Mauritius. *E-Review of Tourism Res. (EEUU)*. 9(5):164-189.
21. KHOSROW-POUR, M. 2012. Cases on assessment and evaluation in education. *IGI Global (EEUU)*. 669p.
22. LADHARI, R.; LECLERC, A. 2013. Building loyalty with online financial services customers: is there a gender difference? *J. Retailing Consumer Services (Inglaterra)*. 20(6):560-569.
23. LAVRAKAS, P.J. 2008. *Encyclopedia of survey research methods*. Sage Publications (Inglaterra). 1000p.
24. LEE, J.H.; KIM, H.D.; KO, Y.J.; SAGAS, M. 2011. The influence of service quality on satisfaction and intention: a gender segmentation strategy. *Sport Management Review (Australia)*. 14(1):54-63.
25. MARKOVIĆ, S.; JANKOVIĆ, S.R. 2013. Exploring the relationship between service quality and customer satisfaction in croatian hotel industry. *Tourism Hospitality Management (Croacia)*. 19(2):149-164.
26. MARUVADA, D.P.; BELLAMKONDA, R.S. 2013. Effects of demographic variables on railway passenger service quality: finding from Indian railway passenger service through rail qual. *Int. J. Advances in Management and Economics (India)*. 2(5):159-163.
27. MELNYK, B.M.; MORRISON-BEEDY, D. 2012. *Intervention research: designing, conducting, analyzing, and funding*. Springer Publishing Company (EEUU). 496p.
28. MEYERS-LEVY, J.; LOKEN, B. 2015. Revisiting gender differences: what we know and what lies ahead. *Journal of Consumer Psychology (EEUU)*. 25(1):129-149.
29. MIN, S.; KHOON, C.C. 2014. Demographic factors in the evaluation of service quality in higher education: A Structural Equation Model (Sem) Approach. *Int. J. Marketing Studies (Canadá)*. 6(1):994-1010.
30. MITCHELL, M.L.; JOLLEY, J.M. 2010. *Research design explained*. Wadsworth Cengage Learning (EEUU). 645p.
31. MITCHELL, M.L.; JOLLEY, J.M. 2012. *Research design explained*. Wadsworth Cengage Learning (EEUU). 723p.
32. MOKHLIS, S. 2012. The influence of service quality on satisfaction: a gender comparison. *Public Administration Research (Canadá)*. 1(1):103-112.
33. MONETTE, D.R.; SULLIVAN, T.J.; DEJONG, C.R. 2014. *Applied social research: a tool for the human services*. Brooks/Cole Cengage Learning (EEUU). 552p.
34. MORTON, C.; CAULFIELD, B.; ANABLE, J. 2016. Customer perceptions of quality of service in public transport: evidence for bus transit in Scotland. *Case Studies on Transport Policy (Países Bajos)*. 4(3):199-207.
35. MUTLAQ, N.; OTAIBI, A. 2014. Psychographic factors influence Saudi consumer's service quality in hypermarket. *Int. J. Learning & Development (EEUU)*. 4(4):97-113.
36. NETTLETON, D. 2003. *Análisis de datos comerciales*. Ediciones Díaz De Santos (España). 195p.
37. PALLI, J.G.; MAMILLA, R. 2012. Students' opinions of service quality in the field of higher education. *Creative Education (EEUU)*. 3(4):430-438.
38. PARASURAMAN, A.; ZEITHAML, V.A.; BERRY, L.L. 1988. Servqual: a multiple-item scale for measuring consumer perceptions of service quality. *Journal of Retailing (Inglaterra)*. 64(1):12-40.



39. PATTERSON, P.G. 2007. Demographic correlates of loyalty in a service context. *J. Services Marketing (Inglaterra)*. 21(2):112-121.
40. RAMEZ, W.S. 2011. Customers' socio-economic characteristics and the perception of service quality of Bahraini commercial banks. *International J. Business and Management (Canadá)*. 6(10):113-126.
41. RANDOLPH, K.A.; MYERS, L.L. 2013. *Basic statistics in multivariate analysis*. Oxford University Press (Inglaterra). 224p.
42. RÚBIN, A. 2013. *Statistics for evidence-based practice and evaluation*. Brooks/Cole Cengage Learning (EEUU). 350p.
43. SAAD, R.; ISHAK, H.; JOHARI, N.R. 2013. The impact of demographic factors toward customer loyalty: a study on credit card users. *Marketing Management (India)*. 55(1):13078-13084.
44. SALVADOR, C. 2007. Diferencias de género en la percepción de la calidad del servicio. Un estudio exploratorio. *Boletín de Psicología (España)*. 89(1):29-45.
45. SASIKALA, D. 2013. The impact of service quality on customer satisfaction and loyalty in Indian banking sector: an empirical study through Servperf. *Asia Pacific J. Marketing & Management Review (India)*. 2(6):151-163.
46. SINGH, A. 2013. Demographic variables as antecedents of service quality and purchasing intention aspects in retailing. *Global J. Management and Business Res. Accounting and Auditing (EEUU)*. 13(3):61-67.
47. STEENKAMP, J.B.E.M.; VAN TRIJP, H.C.M. 1991. The use of Lisrel in validating marketing constructs. *Int. J. Res. Marketing (Países Bajos)*. 8(4):283-299.
48. TOLPA, E. 2012. *Measuring customer expectations of service quality: case airline industry*. Aalto University School of Economics (Finlandia). 95p.
49. VERGARA-SCHMALBACH, J.C.; QUESADA, V.M. 2011. Análisis de la calidad en el servicio y satisfacción de los estudiantes de ciencias económicas de la universidad de Cartagena mediante un modelo de ecuaciones estructurales. *Redie (México)*. 13(1):108-122.
50. VERGARA-SCHMALBACH, J.C.; QUESADA, V.M.; BLANCO, I. 2011. Análisis de la calidad en el servicio y satisfacción de los usuarios en dos hoteles cinco estrellas de la ciudad de Cartagena (Colombia) mediante un modelo de ecuaciones estructurales. *Ingeniare-Rev. Chilena Ingeniería (Chile)*. 19(3):420-428.
51. VERGARA-SCHMALBACH, J.C.; QUESADA, V.M.; BLANCO, I. 2012. Factores clave para la valoración de la calidad del servicio y satisfacción del cliente: modelos causales, desarrollo y evolución. *Rev. Virtual Universidad Católica Del Norte (Chile)*. 35(1):380-400.
52. WEDEL, M.; DESARBO, W.S. 2002. Market segment derivation and profiling via a finite mixture model framework. *Marketing Letters (Países Bajos)*. 13(1):17-25.
53. YOSHIDA, K. 2011. *Gender perceptions in southeast asian countries: findings from Jica-Ri value surveys*. Japan Int. Cooperation Agency (Japan). 13p.
54. ZALATAR, W.F. 2012. Quantifying customers' gender effects on service quality perceptions of Philippine commercial banks. *Procedia - Social Behavioral Sciences (Inglaterra)*. 57(9):268-274.
55. ZENG, C.; NIU, D.; LI, H.; ZHOU, T.; ZHAO, Y. 2016. Public perceptions and economic values of source-separated collection of rural solid waste: a pilot study in China. *Resources, Conservation And Recycling (Países Bajos)*. 107(1):166-173.

Recibido: Marzo 30 de 2017

Aceptado: Agosto 22 de 2017

#### Cómo citar:

Vergara Schmalbach, J.C.; Quesada Ibarquén, V.M.; Maza Ávila, F.J. 2017. Efecto de los aspectos demográficos en la valoración de la calidad del servicio. Una revisión. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(2): 457-467.



# CLASIFICACIÓN DE PERFILES DE LECTORES DE UN PERIÓDICO DIGITAL

## CLASSIFICATION OF READERS PROFILES OF A DIGITAL JOURNAL

Enrique De La Hoz Domínguez<sup>1</sup>, Adel Mendoza Mendoza<sup>2</sup>, Hoolyana Ojeda De La Hoz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Estudiante del doctorado en Estadística e Investigación Operativa (Universitat Politècnica de Catalunya), Especialista en Estadística, Ingeniero industrial, e-mail: enrique.jose.de.la.hoz.domingu@estudiant.upc.edu;

<sup>2</sup> Magíster en Ingeniería Industrial, Docente de Planta Programa de Ingeniería Industrial. Universidad del Atlántico, e-mail: adelmendoza@mail.uniatlantico.edu.co; <sup>3</sup> Máster en comunicaciones digitales y nuevas tecnologías, e-mail: hojeda@uao.es

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 469-478, Julio-Diciembre, 2017

### RESUMEN

En este artículo de investigación, se analizó el comportamiento de lectores de un periódico digital, con el objetivo de encontrar los perfiles asociados al uso del sitio Web, con el propósito de definir estrategias de contenidos y nuevos productos del periódico. Se tomó una muestra de 689 usuarios, correspondiente a tres meses de actividad, a través de la herramienta Google Analytics; se determinaron las secciones del diario que se utilizaban en cada visita por los usuarios, para consolidar así la base de datos. En el proceso de análisis, se utilizaron las técnicas multivariadas, análisis de componentes principales y análisis de clúster, por medio de la cual, se lograron gráficos y visualizaciones, que permiten una mejor interpretación de los resultados y ayudan al proceso de creación de perfiles de usuario. El resultado muestra la identificación de tres perfiles de usuario, para los cuales, se han definido estrategias de contenidos y de nuevos productos.

Palabras clave: Perfil de usuario, análisis multivariado, análisis de perfil, diario digital

### SUMMARY

In this article, we analyzed the behavior of readers of a digital newspaper in order to find the profiles associated with the use of the website, in order to define content strategies and new newspaper products. A sample of 689 users was taken corresponding to three months of activity, through the tool Google Analytics, it was determined the sections of the newspaper that were used in each visit by the users to consolidate the database. In the process of analysis, the multivariate techniques are used main component analysis and cluster analysis, by means of which graphs and

visualizations were obtained that allow a better interpretation of the results and help to the process of creation of user profiles. The result shows the identification of three user profiles, for which content strategies and new products have been defined.

Key words: User profiles, multivariate analysis, profile analysis, digital newspaper

### INTRODUCCIÓN

Internet ha revolucionado cada uno de los aspectos de la vida diaria, hasta convertirse en una herramienta fundamental e, incluso, imprescindible, en nuestro día a día. Para el 2015, cerca del 50% de la población mundial tenía acceso a Internet y en algunas regiones geográficas, como Europa, Norteamérica y Oceanía, tres de cuatro personas son usuarios frecuentes (Banco Mundial, 2016).

Esta revolución tecnológica abre un espacio para el desarrollo de nuevas oportunidades de negocio, crear nuevos canales informativos y promover la participación ciudadana en los espacios de toma de decisiones. Según los datos recogidos, mediante encuestas sobre los contenidos digitales, realizada por la firma Accenture, se revela cómo el 100% de los CEO encuestados expresan que los contenidos digitales son valiosos para los negocios y que el 73% de las firmas ha gastado más de 50 millones de dólares en contenidos, cada año (Accenture Digital, 2015).

Es así, como los medios de comunicación digitales deben adaptar sus contenidos, con base al nivel de conocimiento que tengan sobre el público objetivo, al cual, va dirigida su información, teniendo en cuenta que el internauta dejó de ser un simple consumidor pasivo y se convirtió en un

protagonista activo, que controla, filtra, censura y distribuye, los contenidos que recibe. El usuario empoderado por las redes sociales decide cuándo, cómo y qué información necesita, accediendo a contenidos que les parezca oportunos, en términos de tiempo, de modo y de cantidad. El mercado de medios de información digital es altamente competitivo, encontrándose desde corporaciones, con músculos financieros muy grandes, hasta pequeños portales Web, con una visión “glocal” de la información, que se da al relacionar los elementos locales y particulares con los mundializados (Bolívar Botía, 2001). Durante el último cuarto de siglo, el uso comercial de Internet ha provocado que el panorama empresarial haya cambiado a un ritmo frenético; es así, como en el proceso de estrategia de marketing, donde las tecnologías digitales están teniendo y tendrá un impacto significativo (Kannan, 2017).

El periódico es uno de los más antiguos medios de comunicación y se ha considerado, durante mucho tiempo, como la principal forma de entrega de información (Chung, 2008). Con la llegada del Internet, se dio el nacimiento de un nuevo formato de presentación de los medios de comunicación, generando un periodismo distinto. En sus inicios, los medios de comunicación no daban mucho valor a su versión digital; ahora, el concepto de Web First (web primero) es imprescindible y consiste en que todos los contenidos se tratan antes en la Web que en el papel. Es más, algunos han nacido digitalmente, por ejemplo, Vilaweb y El Nacional, en España (López, 2015).

En primera instancia, las empresas periodísticas tradicionales visualizaron Internet como un nuevo canal de distribución. “Los periódicos tradicionales saben que hay que estar en la red, pero no saben muy bien para qué” (López & Neira, 2000). La transformación fue tan rápida, que muchos periódicos no sobrevivieron a la etapa digital, solo aquellos que supieron acoplar el modelo de negocio en físico, a las oportunidades de la era digital. Es así, como surgen nuevos servicios de publicidad, de trazabilidad de usuarios, de personalización de la información y de interacción multimedia, que generan nuevas características a la definición de un periódico digital. En este tipo de formato, los usuarios participan en los cambios y en la evolución de estos sitios, porque son productores y revisores de los contenidos (Massari, 2010).

Para los periódicos digitales resulta muy importante conocer su público objetivo, identificando el perfil de sus lectores. El concepto de perfil de usuario de un lector, se puede definir como un vector n-dimensional, donde n es el número de campos de cada característica para identificar un perfil (Vosecky *et al.* 2009). Estudios recientes han analizado las características de los usuarios de sitios Web: Ditoiu & Platon (2012) describen los criterios que un consumidor considera importante en la publicidad de paquetes turísticos, teniendo

en cuenta sus condiciones sociodemográficas; De Amo *et al.* (2015) proponen un método automático de un sistema de soporte de decisión de preferencias, basado en técnicas de minería, que consiste en extraer un perfil de usuario de un conjunto de muestras de preferencia de usuario; en el trabajo de Peng *et al.* (2016), se realiza una revisión de la literatura sobre sistemas de detección y de prevención de intrusiones, basados en perfiles de usuario, para confirmar la legitimidad de acceso en el sistema y Van Dam & Van de Velden (2015) desarrollaron una metodología para explorar perfiles de usuarios de personas conectadas al sitio de Facebook de una empresa.

Conocer el comportamiento de los usuarios ayudará a los medios de comunicación que operan en Internet a identificar, de manera objetiva, su público objetivo, así como profundizar en el conocimiento de su caracterización, comportamiento digital, actitudes y opiniones, perfil socio-económico y los canales habituales de información. Esta información es vital para generar estrategias de posicionamiento y garantizar la sostenibilidad, en el largo plazo, como empresa.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo está centrado en el análisis del comportamiento de los lectores de un periódico digital, en función del uso que hacen de éste, asociado a variables de horario, de frecuencia, de dispositivo de contacto, entre otras.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El enfoque metodológico, para la realización de la investigación, está basado en un estudio descriptivo, cualitativo y cuantitativo, para la identificación de perfiles de usuarios. Se utilizaron las técnicas multivariantes análisis de clúster y análisis de componentes principales. El análisis de clúster es una técnica que permite organizar la información de variables en grupos homogéneos, en función de su similitud o disimilitud entre ellos y el análisis de componentes principales (PCA) es un método multivariado, que permite estudiar y explorar un conjunto de datos de variables cuantitativas, medidas en un conjunto de objetos u observaciones (González, 2006). Dentro de las muchas aplicaciones de estas técnicas, se pueden destacar las que han sido empleadas para determinar características de usuarios (Granell *et al.* 2015; Al Wakeel & Wu, 2016; Assimakopoulos, 2013; Morchid *et al.* 2014).

Los datos analizados fueron obtenidos del Google Analytics; para el estudio, se establecieron tres meses, como periodo de estudio, comprendidos entre el primero (1) de agosto y el treinta y uno (31) de octubre de 2016; en este lapso, se representa el comportamiento normal de los usuarios del diario. Considerando que la capacidad de Google Analytics de asignar un número de usuario único a cada visitante a la

página es posible, se contó con la información, donde se establecieron las páginas que visitó el usuario, en el tiempo de estudio.

Para identificar los patrones o perfiles de comportamiento de los usuarios, se han definido las variables de segmentación y se ha realizado el seguimiento durante un periodo de tiempo de tres meses.

Las variables de segmentación consideradas fueron:

**Portada (p):** 1/0 si/no ha ingresado a la portada del diario (con umbral de tiempo mínimo).

**Política y Sociedad (pys):** 1/0 si/no configura una visita a la sección de política.

**Economía (eco):** 1/0 si/no configura una visita a la sección de economía.

**Deportes (dep):** 1/0 si/no configura una visita a la sección de deportes.

**Cultura (cul):** 1/0 si/no configura una visita a la sección de cultura.

**Entrevistas (ent):** 1/0 si/no configura una visita a la sección de entrevista.

**Opinión (opi):** 1/0 si/no configura una visita a la sección de opinión.

**Videos (vid):** 1/0 si/no accede a la sección de videos.

**Internacional (int):** 1/0 si/no accede a la sección internacional.

El promedio de actividad/uso de productos o servicios en cada categoría, se han utilizado para definir los perfiles de comportamiento estandarizados (independiente del número de visitas). El resultado promedio es el valor relevante de nuestro estudio, dado que para la creación de perfiles

iniciales de usuarios es más importante la frecuencia que la intensidad. Los resultados obtenidos en una selección de usuarios, quienes han visitado el portal más de seis veces en tres meses, se organizaron en una base de datos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Análisis de correlación:** Como fase preliminar al desarrollo de los perfiles, se analizó el nivel de correlación de las variables (Tabla 1), que permitió identificar qué secciones son visitadas, de manera frecuente, de manera conjunta. Los resultados muestran una fuerte correlación entre las secciones:

- Portada, economía, deporte y cultura
- Entrevista, opinión e internacional
- Política y videos

Estos resultados preliminares dieron una idea del comportamiento de los usuarios en la interacción con el portal, que servirá como insumo para el desarrollo de los perfiles de usuario, objetivo principal del presente estudio.

**Análisis de variables activas con componentes principales:** Para aplicar el análisis de componentes principales, se utilizaron las secciones del diario y la interacción de los usuarios como variables; además, se incluyeron variables demográficas, que no actuaron como variables activas, pero ayudaron en la interpretación de los resultados.

Es así, como en el mapa de los ejes principales, se logra explicar un 80% de la inercia total (Figura 1). Cada uno de los puntos en el mapa corresponde a la representación

Tabla 1. Correlación de variables.

	Portada	Política	Economía	Deportes	Cultura	Entrevista	Opinión	Internacional	Videos
Portada	1	-0,2	0,8	0,8	0,8	0,3	0,4	0,3	-0,2
Política	-0,2	1	-0,2	-0,2	-0,2	0,4	0,3	0,4	0,9
Economía	0,8	-0,2	1	0,8	0,8	0,3	0,4	0,3	-0,2
Deportes	0,8	-0,2	0,8	1	0,8	0,3	0,4	0,4	-0,2
Cultura	0,8	-0,2	0,8	0,8	1	0,3	0,4	0,4	-0,2
Entrevista	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	1	0,7	0,7	0,5
Opinión	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,7	1	0,8	0,4
Internacional	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,7	0,8	1	0,6
Videos	-0,2	0,9	-0,2	-0,2	-0,2	0,5	0,4	0,6	1

Fuente: Elaboración propia.

del usuario, según el peso específico de éste con los ejes principales; dado que existe una cantidad de datos

considerables, esta aproximación visual permite identificar, inicialmente, los comportamientos generales de los usuarios.

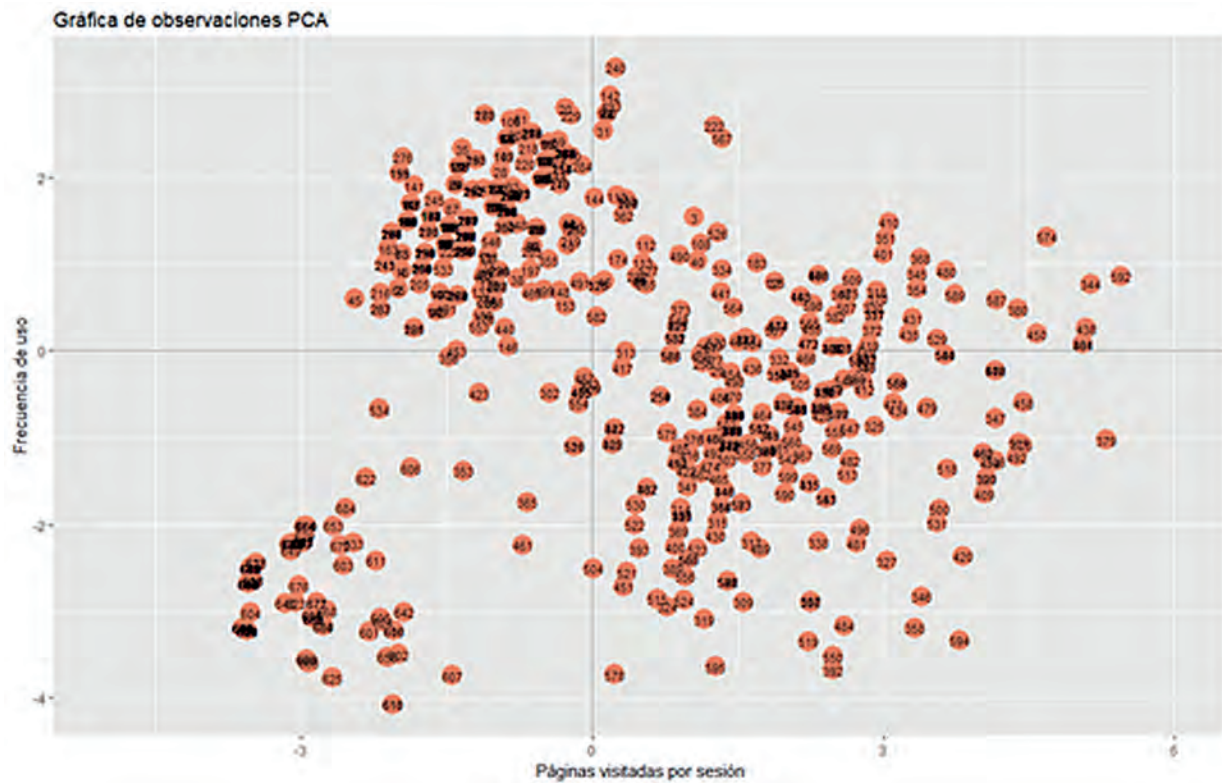


Figura 1. Mapa de lectores PCA.

El primer eje explica un 47% de la inercia, mientras que el segundo, un 33,3%; claramente, se observa una concentración de usuarios en el centro de los ejes, muy común en este tipo de análisis (Peña, 2002). El eje horizontal posiciona a la derecha frecuencias elevadas de uso de las secciones de política, internacional, opinión y deportes; en el lado izquierdo del eje, se concentran los usuarios indicativos de “no uso” o del “uso poco frecuente”. Por su parte, en la franja superior del eje vertical, se sitúan los usuarios asiduos de las secciones de política y de videos, en contraste con la parte inferior del eje, donde se ubican los usuarios menos asiduos. De esta manera, los datos muestran un orden natural ajustado a la escala, desde los usuarios poco frecuentes, hasta los más asiduos.

De cara a profundizar en el análisis, se representan algunas de las variables activas en diferentes planos, lo que facilitará la lectura de los resultados (Figura 2). Los puntos que se

sitúan más a la derecha del plano estarán más relacionados con una interacción mayor de las secciones del diario. En este sentido, se observa que:

- Los dispositivos más minoritarios, móviles y tabletas resultan, a su vez, los más relacionados con usuarios intensivos de videos. El uso del Smartphone, se sitúa más a la derecha que el ordenador, denotando, también, una mayor relación con aquellos individuos que se conectan más a menudo.
- El momento del día también marca diferencias; los momentos de primera hora de la mañana o última del día tienden a estar más a la derecha del plano, relacionados con usuarios frecuentes de noticias internacionales, portada y opinión.
- Por otra parte, la edad en el uso parece no guardar relación con un uso intensivo de las secciones del periódico, ya que no encontramos un patrón claro de esta variable, en cuanto a su disposición en el plano.

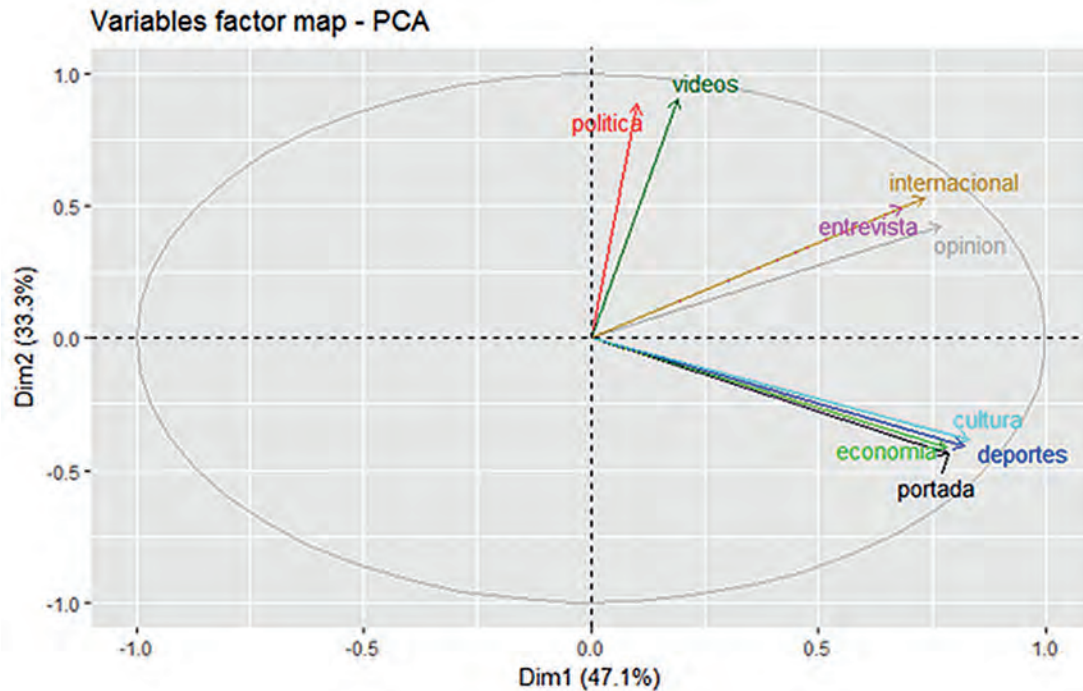


Figura 2. Espacio reducido PCA de variables.

**Número de componentes principales a retener para el clúster:** Para la aplicación del análisis clúster, se partió de la matriz de coordenadas principales de las observaciones, obtenidas a través del análisis de componentes principales. Como se indicó, se presentan varios criterios que pueden ayudar a determinar el número de componentes a retener y aquellos que servirán para el análisis posterior.

En este caso, el método del codo parecía indicar la conveniencia de retener dos componentes, explicando un alto porcentaje de la inercia inicial, en concreto, un 70,3%; siguiendo, para esto, el criterio que recomienda retener un 60% de la inercia inicial, indica que los dos componentes principales son suficientes.

En la práctica, se probó con dos y tres componentes principales. En cualquier caso, dada la elevada dimensionalidad de los datos y con base en los resultados obtenidos, se consideró que la calidad de la información retenida es suficiente, para definir grupos bien perfilados.

Una vez decidido el número de ejes a retener, en el siguiente paso, se buscó determinar el número de segmentos a contemplar en la solución clúster. Para ello, se aplicaron diferentes criterios, en función de método clúster utilizado.

**Determinación del número de clústeres en el análisis de clúster no jerárquico:** El análisis jerárquico, se obtuvo aplicando el método de Ward, uniendo, en cada etapa, los dos clústeres, con el fin de obtener el menor incremento en el valor total de la suma de los cuadrados de las diferencias, dentro de cada clúster (Gallardo, 2011), como se muestra en la figura 3. En este gráfico, se dibujan, claramente, entre dos o tres grupos, evidenciando una estructura de agrupación. Se ha graficado el valor de la variabilidad intra-grupos, para ver cómo evoluciona dicho criterio, a medida que se pide un mayor número de perfiles a la solución clúster; el criterio siempre va a ser menor, a medida que aumenta el número de grupos. Para la determinación del número de grupos, se buscan cambios en la tendencia de la curva. El gráfico muestra un cambio de tendencia en el 2 y parece mostrar uno más ligero en la solución de 6 grupos.

**Selección de la solución de clúster:** Los resultados previos de los distintos métodos aplicados parecen apuntar a la existencia de 2 o 3 grupos. Dado el objetivo de este análisis, encontrar perfiles de lectores del diario y teniendo en cuenta lo heterogéneo que este ámbito puede ser fue que se decantó por las soluciones de tres grupos, dado que se buscó un poco más de detalle en los resultados, más allá de los 2 grandes grupos de usuarios, que puedan dibujarse.

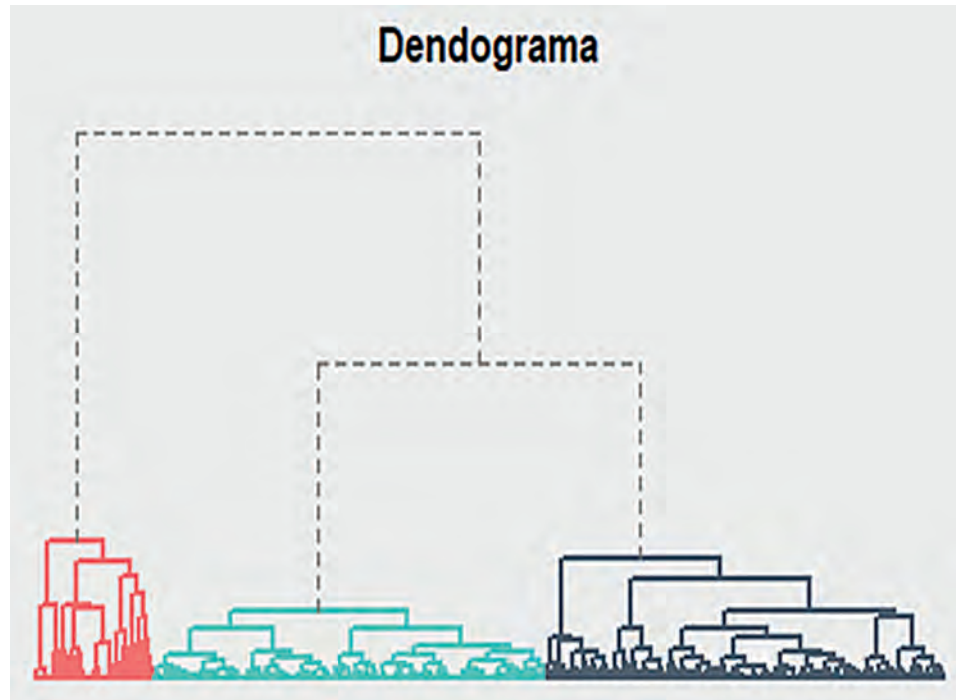


Figura 3. Dendrograma representativo de los clústeres.

**Visualización de los Perfiles creados:** En el proceso de encontrar clústeres, se detectó que tres grupos se encuentran claramente identificados; en la figura 4, se aprecia el clúster de color verde, que ocupa mayoritariamente la parte derecha del plano, mientras el grupo de color rosa, se ubica en la parte superior izquierda y, por último, el azul, en la parte inferior izquierda.

#### Definición de los perfiles identificados en el Análisis de Clúster:

**Perfil de lector 1.** El perfil de este lector es uno que responde a un comportamiento de consumo de información rápida; prefiere el formato de video, al cual, accede el 85,41% de las visitas; los contenidos que más consume son videos y política; tiene poco interés en temas de deportes y cultura. Se observa que solo un 8,69% ingresa a través de la portada, lo que indica que, posiblemente, interactúe mucho con el diario, por las redes sociales y foros.

Este perfil se denominó **Visual**, por su alta utilización de la sección de videos y poca relación con los contenidos de lectura. Este grupo representa el 36,3% del total de la muestra a de usuarios, utilizada para este estudio. Se podría asemejar este perfil al de los **nativos digitales**, aquellos que prefieren los gráficos a los textos; utilizan mucho los accesos directos externos y comparten información con sus amigos, en forma permanente, en redes sociales (Hernández *et al.* 2014).

**Perfil de lector 2.** El perfil de este lector es uno que responde a un comportamiento clásico de lector de diarios, dado que utiliza la portada como ventana de ingreso, en un 30% de las veces y hace un recorrido por todas las secciones del diario, de manera sostenida. Muestra su mayor interés en las secciones de Opinión, Internacional y entrevistas, lo cual, da indicios de un lector que le interesa estar informado de la actualidad y se infiere que tienen al periódico, objeto de estudio, como uno de sus referentes de información.

Este perfil, se llama **Informado**, por su uso generalizado de las secciones del diario, mostrar un interés global y estar al día de lo que sucede en su entorno; este grupo representa el 50,5% del total de la muestra a, de usuarios utilizada para este estudio. Se puede asemejar este perfil al de los **Inmigrantes digitales**, que prefieren los procesos secuenciales, tuvieron que aprender un nuevo lenguaje, una nueva cultura y una nueva forma de comunicación; es como si aprendieran un nuevo idioma (Hernández *et al.* 2014).

**Perfil de lector 3.** Es uno que responde a un comportamiento de poco interés en los contenidos del diario; en sus visitas al portal, casi no interacciona con las otras secciones; su ingreso al portal se apreció que es por medios externos, como redes sociales o foros, lo cual, muestra que, en momento, se sintió atraído por la información, pero si están en la Web, sale inmediatamente. Según Hernández *et al.* (2014), se podría



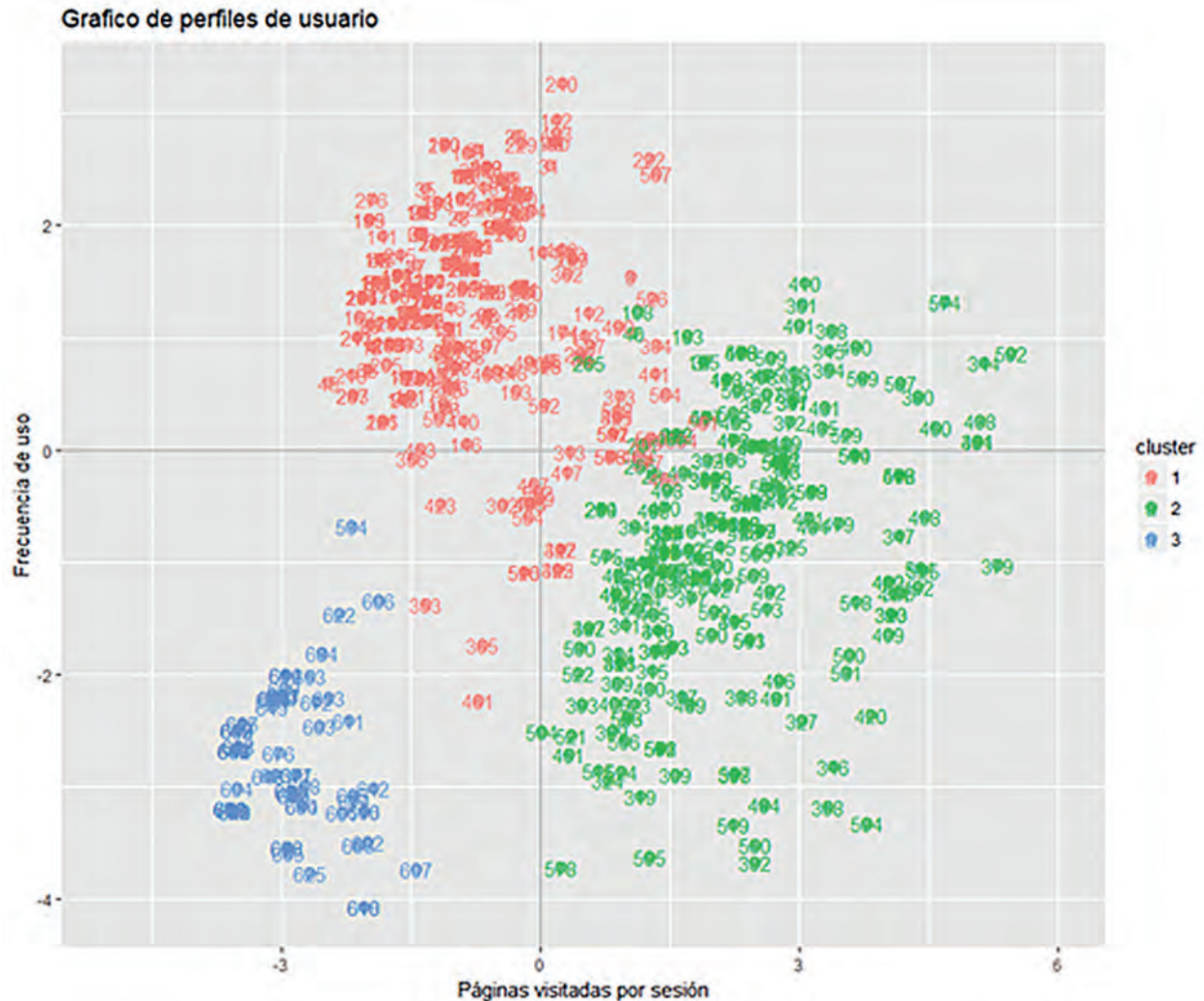


Figura 4. Resultado PCA con dos dimensiones.

asemejar este perfil al de **visitante lurker** (o husmeador), por ser un participante silencioso, con una actividad pasiva más que participativa; está ahí leyendo, observando los mensajes en los foros, acechando, pero de ninguna manera contribuye ni aporta a la discusión generada.

Este perfil, se llama **Ni-ni** (término asociado a personas que ni estudian, ni trabajan, equivalente al término en idioma inglés **Neet, Not in employment or training**, usado como analogía para la definición del perfil), por su poco uso del diario y su poca incidencia en el consumo de los contenidos, sin dejar de ser un grupo importante. Estos son los llamados no clientes, a los cuales, se les debe diseñar una oferta informativa diferente, dado que son los más cercanos en convertirse en usuarios recurrentes del portal, en un futuro (Palfrey & Gasser, 2008). Este grupo representa el 13,2% del total de la muestra a, de usuarios utilizada para este estudio.

#### Descripción de la oferta informativa asociada a los perfiles de usuario

Perfil visual: Dado que la sección más visitada por este grupo son los videos y la política, se debe promover la publicación de contenidos, que mezclen estos conceptos; en la actualidad, cada vez más se convierten en virales los videos de corte político, incluso, aquellos creados de manera oficial por los partidos políticos y el gobierno de turno. En función del diseño del portal Web sería una opción el pensar en ubicar, estratégicamente, estas dos secciones, una cerca de la otra, inclusive, inventar un producto especial, que enmarque estas dos categorías. Crear noticias basadas en infografías digitales, donde se presente contenido interactivo, que permita elevar la experiencia del usuario, haciéndolo participe del contenido.

**Perfil informado:** El comportamiento clásico de este grupo hace que, en lo posible, se deba mantener una oferta informativa integral, con mucho contenido de actualidad, dado que, por lo general, hace un recorrido por todas las secciones, en busca de estar bien informado. Al ser lectores que replican los comportamientos del mundo físico en lo virtual, se puede pensar en tratar de generar un contacto físico con este usuario, a través de una carta, postal o una tarjeta de navidad.

**Perfil Ni-ni:** El comportamiento poco estructurado de este grupo plantea un reto en pos de crear una oferta informativa afín, dado que se observa un mínimo interés en temas de política, por lo cual, se podría generar ofertas innovadoras, en este campo.

En el presente trabajo, se logró encontrar perfiles de los diferentes lectores de un periódico digital (Tabla 2), con base en los datos recogidos a través del Google Analytics. El proceso empleado ha permitido, en una primera fase, la consideración de las nueve secciones principales del diario, tratando de replicar la diversidad de rutas que puede seguir un usuario, al momento de visitar el portal Web.

El uso del análisis multivariado permitió obtener una representación visual del comportamiento de las secciones del diario en interacción con los lectores, permitiendo una interpretación conjunta, en la cual, se observa cómo los usuarios que están interesados en videos, no muestran mayor interés por el resto de las secciones.

Un análisis de los perfiles muestra lo siguiente: los lectores del perfil informado suelen visitar, conjuntamente, las secciones de cultura, de deportes y de economía; además, son los que más hacen uso de la portada como guía de navegación, mientras que los usuarios del perfil Ni-ni son muy referenciados en la literatura, como Voyeristas digitales.

Los resultados obtenidos en los perfiles invitan a realizar estudios, en donde se involucren un mayor número de variables socioeconómicas, para poder proceder con una búsqueda exhaustiva en cada perfil; sin embargo, una de las restricciones de los diarios digitales pequeños es que no cuentan con gran cantidad de lectores registrados, por lo cual, se tendría que hacer uso de herramientas, como Google Analytics, que solo muestran información de manera

Tabla 2. Características de los perfiles.

	Perfil de lector 1	Perfil de lector 2	Perfil de lector 3
Portada	8,69 %	29,83%	11,71%
Política	31,20%	21,89%	7,28%
Economía	0,00%	11,16%	1,16%
Deportes	1,77%	12,47%	1,54%
Cultura	2,33%	13,15%	1,43%
Entrevista	13,87%	16,14%	2,08%
Opinión	17,69%	23,03%	1,54%
Internacional	20,56%	23,64%	1,86%
Videos	85,41%	29,98%	3,68%

Fuente: Elaboración propia.

fragmentada y parcializada a sus intereses, dado que venden reportes automatizados, de comportamiento de usuario.

El proceso de recolección de datos fue la labor más ardua en el presente proyecto. De acuerdo con Zhang *et al.* (2016), se debe a la gran dificultad de filtrar manualmente cada pieza de información, para distinguir entre lo que más y menos les interesa a los usuarios, pero al final, se pudo cumplir el

objetivo de obtener perfiles, bajo una estructura objetiva de análisis y la obtención de una representación gráfica, que puede ser muy útil a la hora de tomar decisiones.

Como punto de partida, para futuras investigaciones, se plantea la caracterización socioeconómica de los perfiles de usuario y la creación de herramientas de acceso abierto, para analizar el comportamiento de usuarios digitales.

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

- ACCENTURE DIGITAL .2015. State of Content Survey. Disponible desde Internet en: [www.accenture.com/t20160322T055807\\_w\\_/us-en/\\_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/DotCom/Documents/Global/PDF/Digital\\_3/Accenture-Digital-Content-Services-Research-2015-Infographic.PDF](http://www.accenture.com/t20160322T055807_w_/us-en/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/DotCom/Documents/Global/PDF/Digital_3/Accenture-Digital-Content-Services-Research-2015-Infographic.PDF) (con acceso el 14/12/2016).
- AL WAKEEL, A.; WU, J. 2016. K-means based cluster analysis of residential smart meter measurements. *Energy Procedia*. 88:754-760.
- ASSIMAKOPOULOS, C. 2013. Mobile Internet users profile along with subscribers model of payment and attitudinal characteristics. *Procedia Technology*. 8:425-434.
- BANCO MUNDIAL. 2016. Usuarios de internet. Disponible desde Internet en: <http://datos.bancomundial.org/indicador/IT.NET.USER.P2> (con acceso el 15/01/2017).
- BOLÍVAR BOTÍA, A. 2001. Globalización e identidades: (Des)territorialización de la cultura. *Revista de Educación*. 1:265-288.
- CHUNG, D.S. 2008. Interactive features of online newspapers: Identifying patterns and predicting use of engaged readers. *J. Computer-Mediated Communication*. 13(3):658-679.
- DE AMO, S.; DIALLO, M.S.; DIOP, C.T.; GIACOMETTI, A.; LI, D.; SOULET, A. 2015. Contextual preference mining for user profile construction. *Information Systems*. 49:182-199.
- DITOIU, M.C.; PLATON, O.E. 2012. Aspects Regarding the Romanian Social Network User's Profile and its Implications in Marketing Destination Pages. *Procedia Economics and Finance*. 3:182-187.
- GALLARDO, M. 2011. Métodos jerárquicos análisis de clúster. Disponible desde Internet en: [www.ugr.es/~gallardo/pdf/cluster-3.pdf](http://www.ugr.es/~gallardo/pdf/cluster-3.pdf). (Con acceso el 22/02/2017).
- GONZÁLEZ, C.G. 2006. Tratamiento de datos. Ediciones Díaz de Santos. 207p.
- GRANELL, R.; AXON, C.J.; WALLOM, D.C. 2015. Clustering disaggregated load profiles using a Dirichlet process mixture model. *Energy Conversion and Management*. 92: 507-516.
- HERNÁNDEZ, D.; RAMÍREZ, A.; CASSANY, D. 2014. Categorizando a los usuarios de sistemas digitales. *Rev. Medios y Educación*. 44:113-126.
- KANNAN, P.K. 2017. Digital marketing: A framework, review and research agenda. *International Journal of Research in Marketing*. 34(1):22-45.
- LÓPEZ, G. 2015. Periodismo digital. Redes, audiencias y modelos de negocio. Salamanca: Comunicación Social.
- LÓPEZ GARCÍA, X.; NEIRA CRUZ, X.A. 2000. Los medios locales ante los desafíos de la red. *Ámbitos*. 4:101-112.
- MASSARI, L. 2010. Analysis of MySpace user profiles. *Information Systems Frontiers*. 12(4):361-367.
- MORCHID, M.; DUFOUR, R.; BOUSQUET, P. M.; LINARÈS, G.; TORRES-MORENO, J.M. 2014. Feature selection using Principal Component Analysis for massive retweet detection. *Pattern Recognition Letters*. 49:33-39.
- PALFREY, J.; GASSER, U. 2008. *Born Digital: Understanding the first generation of digital natives*. New York: Basic Books. 141p.
- PENG, J.; CHOO, K.K.R.; ASHMAN, H. 2016. User profiling in intrusion detection: A review. *Journal of Network and Computer Applications*. 72:14-27.
- PEÑA, D. 2002. *Análisis de Datos Multivariantes*. Madrid: Mc Graw Hill. 159p.
- VAN DAM, J.W.; VAN DE VELDEN, M. 2015. Online profiling and clustering of Facebook users. *Decision Support Systems*. 70:60-72.
- VOSECKY, J.; HONG, D.; SHEN, V.Y. 2009. User identification across multiple social networks. In *Networked Digital Technologies, 2009. NDT'09. First International Conference on*. p.360-365). IEEE.

23. ZHANG, Z.; LIU, Y.; XU, G.; CHEN, H. 2016. A weighted adaptation method on learning user preference profile. Knowledge-Based Systems. 112:114-126.

Recibido: Febrero 21 de 2017

Aceptado: Octubre 14 de 2017

Cómo citar:

De La Hoz Domínguez, E.; Mendoza Mendoza, A.; Ojeda De La Hoz, H. 2017. Clasificación de perfiles de lectores de un periódico digital. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 20(2): 469-478.

# CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE PEPINO POINSETT 76 CON REMOCIÓN DE HOJAS COTILEDONALES

## POINSETT 76 CUCUMBER SEEDLINGS GROWTH WITH COTILEDONARY LEAVES REMOVAL

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

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

Rev. U.D.C.A Act.. & Div. Cient. 20(2): 479-484, Julio Diciembre, 2017

### INTRODUCCIÓN

El pepino (*Cucumis sativus* L.) pertenece a la familia cucurbitácea y es la cuarta hortaliza más sembrada en el mundo. En 2016, el 70% del volumen total lo produjo China, con 54,3 millones de toneladas (Adeoye & Balogun, 2016).

Un tópico importante de investigación en fase de semillero de pepino y otras cucurbitáceas, como *Citrullus colocynthis*, *C. lanatus*, *Cucumis melo*, *Lagenaria siceraria*, *Luffa acutangula* y *Cucurbita maxima* x *C. moschata* es el conocimiento de la contribución de las hojas cotiledonales en el crecimiento inicial de plántulas, debido a que tienen rápida expansión, generación de cloroplastos, producción de clorofila y realizan fotosíntesis (Amarante *et al.* 1995; Jafari *et al.* 2015), lo que influye en la acumulación de biomasa y crecimiento longitudinal del hipocotilo, que favorece vigor y establecimiento (Shibuya *et al.* 2016; Celis *et al.* 2008).

Por el tipo de germinación epigea de las semillas de pepino y de otras especies *Sesbania vesicaria*, *Gossypium hirsutum* y *Prosopis glandulosa*, los cotiledones se exponen a condiciones ambientales en emergencia. Estos órganos aportan sustancias de reserva, fotosintatos y hormonas promotoras del crecimiento a las plántulas (Tischler *et al.* 2000). Junto con *Cynoglossum divaricatum*, *Amaranthus retroflexus*, *Medicago lupina*, *Ipomoea hederacea*, *Arabidopsis thaliana*, *Brassica rapa*, *Glycine max*, *Helianthus annuus*, *Sinapis alba*, *Phaseolus vulgaris*, *Vigna sinensis* y *Ricinus communis*, se reporta que el daño parcial o total en sus cotiledones afecta la supervivencia y el desempeño reproductivo, ya que aumentan respiración, etileno y senescencia (Zhang *et al.* 2010; Zhang *et al.* 2011; Zheng *et al.* 2011; Procko *et al.* 2014).

El presente estudio tuvo como objetivo conocer el comportamiento de las variables que describen el crecimiento de

plántulas del genotipo de pepino Poinsett 76, cuando fue sometido a tratamientos de remoción de hojas cotiledonales, en diferentes tiempos, en la fase de semillero.

### MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** La investigación, se realizó entre febrero 11 y marzo 2 de 2017, en el campo experimental de cultivos de hortalizas de la Universidad de Córdoba - Montería, Colombia, a 8°44'53" latitud Norte y 75°52'53" longitud Oeste, altitud 20msnm, temperatura ambiente promedio 27,4°C, precipitación promedio anual 1.225mm y humedad relativa promedio 78% (Climate-Data.org, 2016).

**Diseño experimental y tratamientos.** Se hizo un bioensayo de crecimiento de plántulas de pepino variedad Poinsett 76®, con diseño completamente al azar, cuatro repeticiones y seis tratamientos: T0, testigo; T1, remoción hojas cotiledonales HC 3 días después de emergencia dde; T2, remoción HC 6dde; T3, remoción HC 9dde; T4, remoción HC 12dde y T5, remoción HC15dde.

Se tuvieron 24 unidades experimentales, con 20 plántulas cada una. Para obtención de cada plántula, se sembró una semilla a profundidad 0,5cm, en vaso de polietileno espumado blanco, de 470cm<sup>3</sup> de capacidad, con sustrato mezcla 1:1 tierra de aluvión y arena de río, recién extraídas. La separación entre cada vaso con plántula fue 5cm y entre unidades experimentales 10cm, de manera que las unidades experimentales ocuparon una superficie de 20m<sup>2</sup>. A 1,0m de altura de la superficie experimental, se colocó malla sombra de 50% en polietileno negro, sostenida con varas de madera y alambre calibre 12.

**Variables de respuesta.** Desde 3dde hasta 20dde, se tomaron datos de las siguientes variables cada tercer día, como promedio de mediciones, a tres plántulas centrales, marcadas

en cada repetición: altura de plántula AP; en cm la longitud desde el cuello de la raíz de la plántula hasta el ápice de la hoja más larga expandida; diámetro del tallo DT, a 1cm de la base de la plántula, con Vernier digital Truper® en mm; número de hojas verdaderas NHV, mediante conteo de hojas verdaderas expandidas; área de hojas cotiledonales AHC y área de hojas verdaderas AHV, expresadas en cm<sup>2</sup>, obtenidas con software DDA (Ferreira *et al.* 2009) y scanner HP ScanJet® 3400 C, tomando promedio de mediciones a otras tres plántulas centrales, seleccionadas en cada repetición y materia seca total MST. Las mismas plántulas anteriores secadas en horno eléctrico Memmert® U10 a 85°C hasta peso constante y pesadas en balanza electrónica Ohaus® Explorer EX1103.

**Procesamiento estadístico.** A las variables estudiadas, se les realizó análisis de varianza, mediante procedimiento PROC ANDEVA y prueba de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0,05$ ), con software SAS versión 9.1.3 (SAS Institute, 2008); para conocer inicialmente el comportamiento de los datos obtenidos, se utilizó software Curve Expert versión 1.3 (Hays, 2003). Por las características de la información, se hizo análisis de regresión no lineal PROC NLIN con software SAS versión 9.1.3 (SAS Institute, 2008) y se ajustaron los datos al modelo logístico (Calvo *et al.* 1994):  $y = A / (1 + B * e^{-Cx})$ , cuyos componentes son:  $y$ , cada una de las variables del crecimiento;  $A$ , máximo valor observado en cada variable;  $B$ , no tiene significado biológico y solo toma lugar en el tiempo inicial  $x=0$ ;  $x$ , días después de emergencia;  $C$ , parámetro relacionado con el valor de  $x$  para el punto de inflexión y  $e$ , base del logaritmo natural. La proporción de variabilidad de los datos experimentales explicada por los modelos obtenidos, se estimó con el coeficiente de determinación  $R^2$ , mediante la ecuación  $R^2 = Sct/SCT$ , donde:  $Sct$ =suma de cuadrados de los tratamientos y  $SCT$ =suma de cuadrados total.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Aspecto general del crecimiento de plántulas.** Las variables AHC, AP, DT, NHV, AHV y MST tuvieron ajuste al modelo logístico y en la figura 1, se muestra que su representación gráfica fue sigmoide, la cual, según lo indicado por Moran *et al.* (1990), puede describir cuantitativamente la magnitud de los cambios estructurales, que ocurrieron durante el proceso de crecimiento.

En términos generales, se observó que la remoción de HC tuvo impacto negativo sobre el patrón de acumulación de materia seca para los tratamientos con remoción a los 3, 6, 9 y 12dde, cuyas trayectorias gráficas estuvieron por debajo del tratamiento testigo, que se asume como una situación normal de crecimiento, sin perturbación a las HC.

De acuerdo con lo anterior es importante señalar que, según los planteamientos de Prakash *et al.* (2001), el efecto ocasionado por el corte de HC sobre las variables del crecimiento puede ser equivalente al causado por cualquier alteración en la integridad de dichos órganos, ya sea por daños mecánicos, fisiopatías, ataque de plagas o enfermedades, lo que, de acuerdo con Yu *et al.* (2016), afecta a nivel fisiológico, la estructura de las proteínas y ocasiona aumento en la respiración, senescencia, pérdida de pigmentos, disminución en el transporte de electrones, desestabilización en las membranas de los tilacoides y estructura de los cloroplastos.

**AHC.** En la figura 1, se observa que el AHC aumentó a medida que transcurrió el ciclo biológico de las plántulas. A los 20dde, los tratamientos testigo y con remoción HC 15dds alcanzaron mayor valor promedio y superaron con diferencias estadísticas significativas a los demás tratamientos (Tabla 1).

Con remoción de HC a los 3dde, la magnitud de AP, DT, NHV, AHV y MST decreció a cero con muerte de plántulas a los 7dde y no se obtuvieron modelos matemáticos. De acuerdo con lo anterior, se puede considerar, en concordancia con reportes de Penny *et al.* (1976) y Thomson *et al.* (2003), que una vez ocurrida la emergencia, los cotiledones dejaron de ser órganos de almacenamiento, para asumir funciones fisiológicas, como principales órganos fotosintéticos, de los cuales, depende la dinámica de la relación fuente-demanda de carbohidratos producidos y almacenados, durante los primeros estados del crecimiento, para contribuir al vigor inicial de las plántulas y afrontar las condiciones ambientales adversas que se pudieran presentar durante la emergencia y, de acuerdo con Jellani *et al.* (2015), en *Cucumis melo* y *Cucumis sativus*, se han encontrado ventajas, como acortamiento del ciclo de cultivo y producción temprana.

**AP y DT.** A los 20dde, el testigo y los tratamientos con remoción de HC a los 12 y 15dde fueron estadísticamente iguales y superiores en grado significativo a los tratamientos con remoción, a los 3, 6 y 9dde (Tabla 1).

De acuerdo con lo anterior, la disminución del crecimiento en longitud y diámetro del tallo puede estar relacionada con los planteamientos de Asahina *et al.* (2007), quienes indican que si ocurren daños en los tejidos de las hojas cotiledonales o son cortados, se puede afectar la síntesis y el mantenimiento de los niveles de ácido giberélico y sus precursores en el hipocotilo de las plántulas, sustancias requeridas para formación y crecimiento de los tejidos de la corteza, ocurriendo, además, menor toma de agua y nutrimentos, lo que ocasiona choque osmótico, con pérdida de electrolitos, de aminoácidos y de proteínas, de las hojas y del tallo.

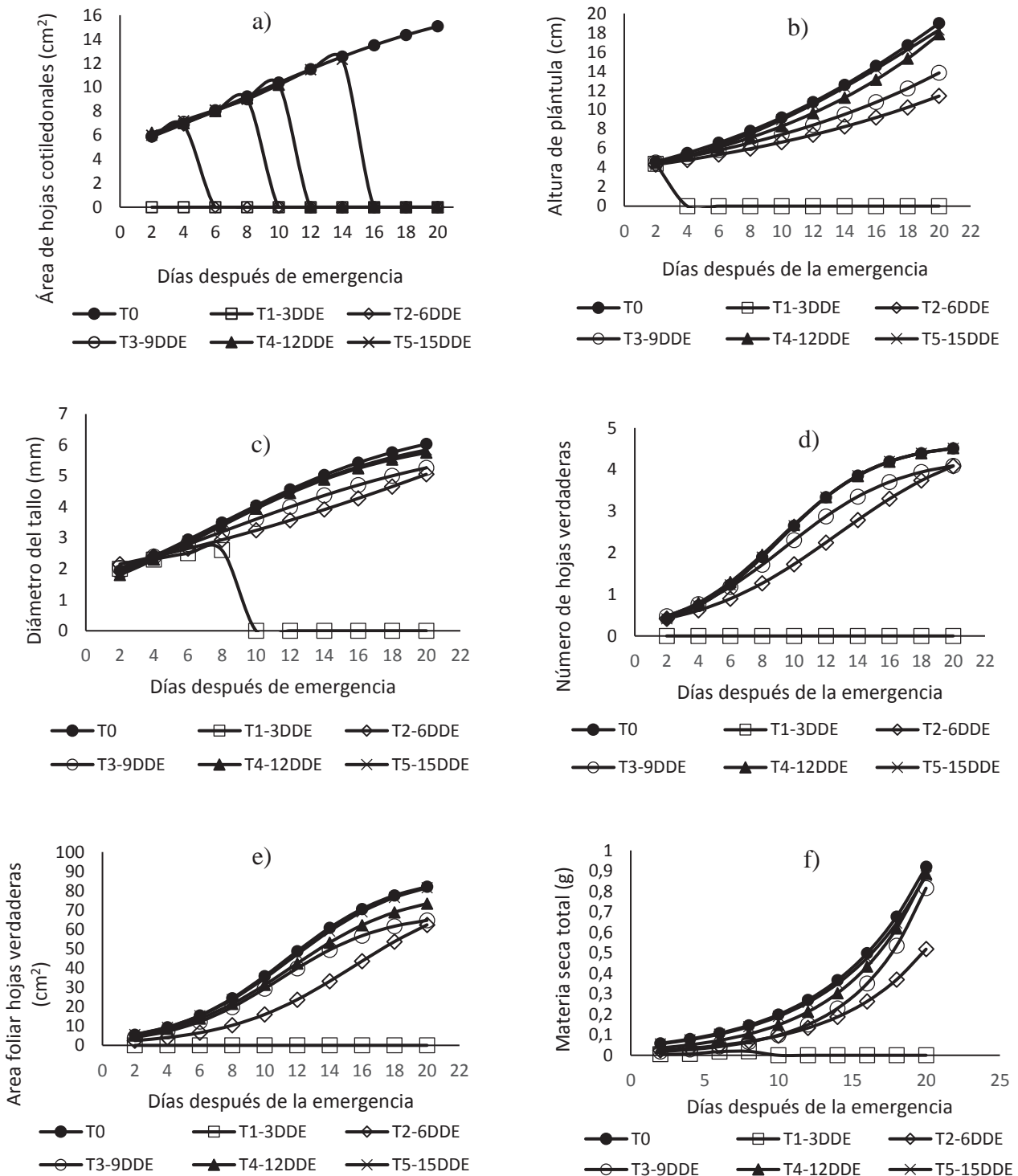


Figura 1. (a) Área de hojas cotiledonales; (b) Altura de plántula; (c) Diámetro del tallo; (d) Número de hojas verdaderas; (e) Área de hojas verdaderas y (f) Materia seca total de plántulas de pepino con remoción de hojas cotiledonales.

Tabla 1. Comparación de medias a los 20dde de variables del crecimiento, de plántulas de pepino, con remoción de hojas cotiledonales.

T	Altura de plántula	T	Diámetro del tallo	T	Número de hojas verdaderas
T0	18,9750 a	T0	6,0750 a	T0	5,0000 a
T1	0,0000 e	T1	0,0000 d	T1	0,0000 c
T2	13,2750 d	T2	5,0750 c	T2	4,0000 b
T3	15,5000 c	T3	5,2500 c	T3	4,0000 b
T4	18,0000 a	T4	5,7750 a	T4	5,0000 a
T5	18,4250 a	T5	5,8750 a	T5	5,0000 a
T	Área de hojas cotiledonales	T	Área de hojas verdaderas	T	Materia seca total
T0	18,1825 a	T0	88,2000 a	T0	1,0538 ab
T1	0,0000 b	T1	0,0000 e	T1	0,0000 d
T2	0,0000 b	T2	64,9300 d	T2	0,7254 c
T3	0,0000 b	T3	69,9550 c	T3	0,8604 c
T4	0,0000 b	T4	78,0775 b	T4	0,9377 ab
T5	18,1765 a	T5	87,8725 a	T5	1,0623 a

T tratamiento, HC hojas cotiledonales, dde días después de emergencia, T0 testigo, T1 remoción HC 3dde, T2 remoción HC 6dde, T3 remoción HC 9dde, T4 remoción HC 12dde, T5 remoción HC 15dd. Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales Tukey  $p \leq 0,05$ .

Los menores valores de AP y DT en los tratamientos con remoción de HC a los 3, 6 y 9dde también se pueden relacionar con complejos cambios bioquímicos, ocasionados por la remoción de HC, que afectaron el balance de fitohormonas, principalmente, auxinas, las cuales, regulan el crecimiento del hipocotilo y tienen influencia en la expresión del potencial genético y rendimiento (Procko *et al.* 2014), ya que, según reportan Albanna *et al.* (2016), la disminución en el crecimiento genera estrés en las plántulas y afecta la síntesis y aprovechamiento de metabolitos de reserva, fotosintatos, clorofila, proteínas, aminoácidos y vitaminas.

**NHV y AHV.** Para todos los tratamientos, la emisión de HV comenzó a los 4dde; a los 20dde, los tratamientos testigo y la remoción de HC, a los 12 y 15dde presentaron 5 HV y fueron estadísticamente iguales y superiores a los demás tratamientos. Con la remoción de HC, a los 6 y 9dde, se presentaron 4 HV y con remoción de HC, a los 3dde, no hubo emisión de HV (Tabla 1).

El menor NHV encontrado para los tratamientos con remoción de HC a los 3, 6 y 9dde, se puede explicar, en términos de los reportes de Bisognin *et al.* (2005), en relación a que las plántulas de pepino presentan fuerte dependencia de la actividad fotosintética de las HC durante su fase inicial de establecimiento, mientras apareció la primera hoja verdadera, a los 4dde. En este sentido, de acuerdo con lo re-

portado por Bandurska *et al.* (2011), la eliminación de hojas cotiledonales provocó bajo contenido o falta de clorofila, lo que resulta en una situación, en la cual, los órganos no son capaces de cumplir sus funciones fotosintéticas y conduce a formación alterada de las hojas y, ocasionalmente, muerte de plántulas, como sucedió con el tratamiento de remoción de HC, a los 3dde.

En lo que respecta a AHV, los tratamientos testigo y con remoción de HC, a los 15dde, presentaron área foliar de  $0,0088\text{m}^2$ , a los 20dde y fueron estadísticamente iguales entre sí y superiores a los tratamientos con remoción de HC, a los 3, 6, 9 y 12dde, con los que se obtuvieron 0, 0,0065 y  $0,0070\text{cm}^2$ , respectivamente (Tabla 1).

Teniendo en cuenta lo anterior, la remoción de HC, a los 3, 6, 9 y 12dde, se constituyó en una situación perturbadora para el crecimiento con generación de estrés que, en concordancia con lo reportado –para pepino– por Kokilavani & Rajendiran (2014) y Savvides *et al.* (2017), provocó una respuesta de plasticidad fenotípica, manifestada en la capacidad para disminuir AHV, como un cambio en la expresión del potencial genético moldeando y adaptando su morfología, estructura y fisiología, de tal manera, que se obtienen plántulas con poco vigor y menos capacidad competitiva, por la oferta de factores ambientales, durante el establecimiento.



**MST.** Los tratamientos testigo y con remoción de HC, a los 15dde, presentaron mayor acumulación MST y fueron estadísticamente iguales y superiores en grado significativo a los tratamientos con remoción de HC, a los 3, 6, 9 y 12dde (Tabla 1).

La menor acumulación de MST con remoción de HC, 3, 6, 9 y 12dde, se puede considerar, de acuerdo con lo reportado por Haque *et al.* (2009), como una respuesta de las plántulas al estrés, ocasionado en el proceso de crecimiento, por la remoción de los principales órganos fotosintéticos durante, al menos, los primeros 15dde de las plántulas, ya que se podría disminuir o hacerse nula la captación y el aprovechamiento de la radiación fotosintéticamente activa, como principal factor que regula la fotosíntesis, la acumulación de materia seca y el rendimiento en el cultivo y, de acuerdo con estudios de Yu *et al.* (2016), puede tener manifestaciones inmediatas en el crecimiento, que se observaron en disminución de la magnitud de variables AP, DT, NHV y AHV.

Las principales características fenotípicas del material vegetal, listo para trasplante a los 15dde, vislumbrada a través de los resultados obtenidos con las variables del crecimiento, se pueden resumir como plántulas con AP, de 0,19m; DT, de 0,006m; NHV, de 5 y AHV, de 0,0088m<sup>2</sup>.

Es importante considerar, con relación a los resultados presentados, que el manejo agronómico, para obtener plántulas de pepino con vigor y calidad morfológica y fisiológica, que permitan un buen establecimiento y expresión del máximo potencial genético, debe estar dirigido, en cuanto a HC, hacia el cuidado de dichas estructuras, de cualquier factor adverso, que las afecte durante los primeros 15dde, ya que son los principales órganos fotosintéticos, de los cuales, depende el crecimiento durante los primeros días después de la emergencia, lo que, en concordancia con lo reportado por Cho *et al.* (2007) y Mello *et al.* (2016), es fundamental para la obtención de plántulas de alta calidad, uno de los factores que más determina la producción del cultivo de pepino.

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

## BIBLIOGRAFÍA

- ADEOYE, I.; BALOGÚN, O. 2016. Profitability and efficiency of cucumber production among smallholder farmers in Oyo state, Nigeria. *J. Agr. Sci. (Sri Lanka)*. 61(4):387-398.
- ALBANNA, L.; SALEM, N.; AWWAD, A. 2016. Seed germination and growth of cucumber (*Cucumis sativus*): effect of nano-crystalline sulfur. *J. Agric. Sci. (Canadá)*. 8(10):219-225.
- AMARANTE, C.; BISOGNIN, D.; CANCI, P. 1995. Contribuição das folhas cotiledonares para o crescimento inicial de plantas de abóbora híbrida cv. Tetsukabuto. *Ciênc. Rural. (Brasil)*. 25(1):17-21.
- ASAHINA, M.; YAMAUCHI, Y.; HANADA, H.; KAMIYA, Y.; KAMADA, H.; SATOH, S.; YAMAGUCHI, S. 2007. Effects of the removal of cotyledons on endogenous gibberellin levels in hypocotyls of young cucumber and tomato seedlings. *Plant Biotechnol. (Japón)*. 24:99-106.
- BANDURSKA, H.; KRZYSZKOWSKA, J.; MOLIŃSKI, K.; ZIELEZIŃSKA, M. 2011. A method of early selection of cucumber genotypes insensitive to chilling based on data mining. *Acta Sci. Pol. (Polonia)*. 10(2):225-233.
- BISOGNIN, D.; VELASQUEZ, L.; WIDDERS, I. 2005. Cucumber seedling dependence on cotyledonary leaves for early growth. *Pesq. Agropec. Bras. (Brasil)*. 40(6):531-539.
- CALVO, R.; GONZÁLEZ, J.; PÉREZ, S. 1994. Manual de modelos no lineales en los ámbitos agronómico, ganadero y forestal. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid, España. 110p.
- CELIS, R.; PEÑA, C.; TREJO, C.; AGUIRRE, J.; CORDOVA, L.; CARBALLO, A. 2008. Consumo de reservas de la semilla de frijol para la emergencia y desarrollo inicial en diferentes profundidades de siembra. *Agron. mesoam. (Costa Rica)*. 19(2):167-177.
- CHO, Y.; SUNGBONG, O.; MYOUNG, M.; SON, J. 2007. Estimation of individual leaf area, fresh weight, and dry weight of hydroponically grown cucumbers (*Cucumis sativus* L.) using leaf length, width, and SPAD value. *Sci. Hortic. (Holanda)*. 111:330-334.
- CLIMATE-DATA.ORG. 2016. Clima: Montería, Colombia. Disponible desde Internet en: <http://es.climate-data.org/location/5123/> (con acceso el 14/07/2016).
- FERREIRA, O.; ROSSI, F.; ANDRIGHETTO, C. 2009. DDA-Determinador digital de áreas. Software para determinação de área foliar, índice de área foliar e área de olho de lombo. Versão 1.2. Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia. Farroupilha. Campus Santo Augusto. Brasil.

12. HAQIE, M.; HASANUZZAMAN, M.; RAHMAN, M. 2009. Morpho-physiology and yield of cucumber (*Cucumis sativa*) under varying light intensity. *Acad. J. Plant. Sci. (Emiratos Árabes Unidos)*. 2(3):154-157.
13. HYAMS, D. 2003. Curve Expert 1.3. A comprehensive curve fitting system for Windows®. Unregistered evaluation copy. USA.
14. JAFARI, S.; ARVIN, S.; KALANTARI, K. 2015. Response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings to exogenous silicon and salicylic acid under osmotic stress. *Acta Biol. Szeged. (Hungria)*. 59(1):25-33.
15. JELLANI, G.; ATIF, M.; ULLAH, H.; ALI, M.; MUSA, M. 2015. Influence of seedling age on cucumber (*Cucumis sativus* L.) production. *SAARC J. Agri. (Bangladesh)*. 13(2):214-221.
16. KOKILAVANI, V.; RAJENDIRAN, K. 2014. Ultraviolet-b induced changes in the leaf architecture of *Cucumis sativus* L. VAR. CO 1. *Int. J. Geo. Earth Env. Sc. (India)*. 4(2):208-215.
17. MELLO, B.; TREVISAN, M.; STEINER, F. 2016. Quality of cucumber seedlings grown in different containers. *Rev. Agr. Neot. (Brasil)*. 3(1):33-38.
18. MORAN, R.; VERNON, L.; PORATH, D.; ARZEE, T. 1990. Developmental stages of cucumber seedlings. *Plant. Physiol. (Estados Unidos de América)*. 92:1075-1080.
19. PENNY, M.; MOORE, K.; LOVELL, P. 1976. The effects of inhibition of cotyledon photosynthesis on seedling development in *Cucumis sativus* L. *Ann. Bot. (Inglaterra)*. 40(4):815-824.
20. PRAKASH, J.; BAIG, M.; MOHANTY, P. 2001. Differential changes in the steady state levels of thylakoid membrane proteins during senescence in *Cucumis sativus* cotyledons. *Z. Naturforsch. (Alemania)*. 56:585-592.
21. PROCKO, C.; CRENSHAW, C.; LJUNG, K.; NOEL, J.; CHORY, J. 2014. Cotyledon-generated auxin is required for shade-induced hypocotyl growth in *Brassica rapa*. *Plant Physiol. (Estados Unidos de América)*. 165:1285-1301.
22. SAS INSTITUTE INC. 2008. Statistical analysis system. The SAS® system for Windows® version 9.1.3. The Power to Know. Cary, NC, EEUU.
23. SAVIDES, A.; IEPEREN, W.; DIELEMAN, J.; MARCELIS, L. 2017. Phenotypic plasticity to altered apical bud temperature in *Cucumis sativus*: more leaves-smaller leaves and viceversa. *Plant. Cell. Environ. (Estados Unidos de América)*. 40:69-79.
24. SHIBUYA, T.; ENDO, R.; KITAYA, Y. 2016. Growth analysis and photosynthesis measurements of cucumber seedlings grown under light with different red to far-red ratios. *Hort. Sci. (República Checa)*. 51(7):843-846.
25. THOMSON, V.; CUNNINGHAM, S.; BALL, M.; NICOTRA, A. 2003. Compensation for herbivory by *Cucumis sativus* through increased photosynthetic capacity and efficiency. *Oecologia. (Alemania)*. 134:167-175.
26. TISCHLER, C.; POLLEY, H.; JOHNSON, H.; PENNINGTON, R. 2000. Seedling response to elevated CO<sub>2</sub> in five epigeal species. *Int. J. Plant Sci. (Estados Unidos de América)*. 161(5):779-783.
27. YU, X.; ZHOU, R.; WANG, X.; KJÆR, K.; ROSENQVIST, E.; OTTOSEN, C.; CHEN, J. 2016. Evaluation of genotypic variation during leaf development in four *Cucumis* genotypes and their response to high light conditions. *Environ. Exp. Bot. (Inglaterra)*. 124:100-109.
28. ZHANG, H.; ZHOU, D.; MATTHEW, C.; WANG, P.; ZHENG, W. 2010. Photosynthetic contribution of cotyledons to early seedling development in *Cynoglossum divaricatum* and *Amaranthus retroflexus*. *New Zeal. J. Bot. (Nueva Zelanda)*. 46(1):39-48.
29. ZHANG, S.; ZHAO, C.; LAMB, E. 2011. Cotyledon damage affects seed number through final plant size in the annual grassland species *Medicago lupulina*. *Ann. Bot. (Inglaterra)*. 107:437-442.
30. ZHENG, W.; WANG, P.; ZHANG, H.; ZHOU, D. 2011. Photosynthetic characteristics of the cotyledon and first true leaf of castor (*Ricinus communis* L.). *Aust. J. Crop. Sci. (Australia)*. 6:702-708.

Recibido: Agosto 1 de 2017

Aceptado: Octubre 11 de 2017

#### Cómo citar:

Barraza A., F. 2017. Crecimiento de plántulas de pepino poinsett 76 con remoción de hojas cotiledonales. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 20(2): 479-484.

# VARIABILIDAD GENÉTICA DE *Odocoileus virginianus* (Zimmerman, 1970) EN BOYACÁ-COLOMBIA: REPORTE DE CASO

## GENETIC VARIABILITY OF *Odocoileus virginianus* (Zimmerman, 1970) IN BOYACÁ-COLOMBIA: CASE REPORT

Dalia Suárez P.<sup>1</sup>, Leopoldo Arrieta V.<sup>2</sup>, Lisette Gaona B.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bióloga. Grupo de Estudios en Genética y Biología Molecular (GEBIMOL). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia –UPTC–, Tunja - Boyacá, e-mail: dalia.suarez@uptc.edu.co; <sup>2</sup>Biólogo M.Sc., Docente, Grupo GEBIMOL, Facultad de Ciencias Básicas, Programa de Biología. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia –UPTC–, Tunja – Boyacá, e-mail: leopoldo.arrieta@uptc.edu.co; <sup>3</sup>Estadística M.Sc., Docente, Grupo GEBIMOL, Facultad de Ciencias Básicas, Programa de Matemáticas y Estadística. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia –UPTC–, Tunja – Boyacá, e-mail: lisette.gaona@uptc.edu.co

Rev. U.D.C.A ct. & Di. Cient. 20(2): 485-489, Julio-Diciembre, 2017

### INTRODUCCIÓN

*Odocoileus virginianus* es una especie con capacidad de adaptabilidad a diferentes ecosistemas, ya que habita desde tierras bajas hasta sistemas montañosos, por encima de los 3.000m de altitud (Ramos *et al.* 2013). Existen amenazas en la conservación y en el descenso de la densidad poblacional de *O. virginianus*. La fuerte presión de caza y la transformación drástica de los hábitats ponen en peligro la diversidad genética de sus poblaciones, a nivel nacional (López-Arévalo & González-Hernández, 2006; Martínez Polanco *et al.* 2015), por tal razón, se pueden originar eventos de selección, tales como: deriva genética, cuello de botella y endogamia a nivel intraespecífico (Hernández *et al.* 2015). Estos eventos disminuyen la variabilidad genética dentro de las poblaciones, reducen la heterocigosidad y aumentan la probabilidad de transmitir a generaciones futuras, alelos asociados a defectos genéticos. Lo anterior, se traduce en una reducción de la capacidad de adaptación de los animales al medio ambiente y un aumento en el riesgo de extinción (Celis *et al.* 2010; Ocampo & Cardona, 2013). Para el análisis de la variabilidad genética, a nivel poblacional, se determina la variación existente, intraespecífico o interpoblacional, cuantificando las variaciones o alteraciones en el ADN. Alteraciones que varían desde sustituciones de un solo nucleótido hasta mutaciones, que involucran un mayor número de sitios nucleotídicos (Miah *et al.* 2013). Estas variaciones han sido detectadas implementando el uso de marcadores moleculares, de ADN altamente repetitivo, entre los cuales, se encuentran los microsatélites (SSR). Están formados por secuencias de 1 a 6 pares de bases (pb) nucleotídicas repetidas en tándem y ca-

racterizadas por ser únicas (Deyoung *et al.* 2009; Miah *et al.* 2013). En consecuencia, los objetivos de esta investigación fueron: caracterizar los microsatélites Cervid1, Cervid2, Cervid4, Cervid13 y Cervid14 y determinar la variabilidad genética de tres grupos de *O. virginianus* en semicautiverio, en el departamento de Boyacá, con el fin de obtener información preliminar, para que se establezcan estrategias de conservación de su pool genético, en investigaciones futuras.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Los casos muestreados fueron: Parque Panaboy, PB, 2 individuos; Colegio Salesiano, CS, 5 individuos y Clínica Biosalud, CB, 3 individuos. Se estudiaron 10 organismos distribuidos de la siguiente forma: cinco machos de diez existentes en CS, un macho y una hembra de dos existentes en PB, dos machos y una hembra de tres existentes en CB. Para la toma de muestra de sangre de los animales, se siguió el protocolo de restricción química y se determinó la dosificación, de acuerdo al peso de los mismos. Se utilizaron dardos (Telinject®) con clorhidrato de ketamina (2 a 4mg/kg) y clorhidrato de xilacina (0,8 a 1,0mg/kg) (Alhuay *et al.* 2011; Palmer *et al.* 2017). Se extrajeron 5mL de sangre para la extracción del ADN de las 10 muestras por triplicado, siguiendo el Protocolo del Kit comercial Wizard®-Promega.

La amplificación de los cinco microsatélites, se realizó mediante PCR, en un termociclador (BioRad), a partir de las condiciones tomadas de Dewoody *et al.*

(1995). La Secuencia de los microsatélites y los cebadores usados fueron: Cervid1, (CA)<sub>17</sub>TA(CA)<sub>5</sub>: Cebadores F:5' AAATGACAACCCGCTCCAGTATC 3' y R:5' TCCGTGCATCTCAACATGAGTTAG3'; Cervid2, (AC)<sub>12</sub>AA(AC)<sub>7</sub>, cebadores F:5' CTTGCTTGGAAAATTCCGTGGAC3' y R:5' TAAACATTGATG GCTTCCCACTCC3'; Cervid4, (CA)<sub>17</sub>(N)<sub>9</sub>(AC)<sub>2</sub>GTT(AC)<sub>4</sub>, cebadores F:5' AC ACCAGAAAAGTTCCTCCTCCTG3' y R:5' CGGTCCATAGGGTCACAAAGAGT 3'; Cervid13 (CA)<sub>100</sub>, cebadores F:5' ACAACAGCCACAACAACCTGG 3' y R:5' GTTGCATCCAAATCATTGG3' y Cervid14 (AC)<sub>16</sub>, cebadores F:5' TCTCTT GCGTCTCCTGCATTGAC3' y R:5' AATGGCACCCACTCCAGTATTCTTC3'. Los productos, se verificaron en geles de agarosa al 3%, a 110 voltios durante 45 minutos y se fotografiaron en el transiluminador UVP.

En el procesamiento de datos, para la caracterización de los SSR, se tuvo en cuenta el número de alelos observados por locus (nA), el número promedio de alelos por locus (NPA) y el tamaño de los alelos en pares de bases (pb). En el análisis de variabilidad, se utilizó el programa GenePop versión 1.2 (Raymond & Rousset, 1995) y el programa Molkin versión 3.0 (Gutiérrez *et al.* 2005), los cuales, permitieron obtener

los valores de heterocigosidad observada (*H<sub>obs</sub>*) y el contenido de información polimórfica (PIC).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados para la Hobs en el marcador Cervid1, para los casos PB, CS y CB fueron 0,625, 0,700 y 0,444, respectivamente, inferiores a los obtenidos por Deyoung *et al.* (2003), con 0,830, Miller *et al.* (2010), con 0,830, Anderson *et al.* (2002), con 0,840 y Dewoody *et al.* (1995), con 0,960. Dewoody *et al.* (1995) reportan en Cervid2 una Hobs, de 0,650 y, para este estudio, los resultados fueron similares, con valores de 0,625, 0,625 y 0,611 en PB, CS y CB, respectivamente. Estos resultados, se pueden atribuir a que algunos de los individuos fundadores de los grupos son heterocigotos: hembra y macho de PB, macho de CS, macho y hembra de CB. El microsatélite Cervid4 está ligado al cromosoma X, lo que genera que los machos analizados sean homocigotos y explicaría la baja Hobs en los grupos PB 0,375, CS 0,460 y CB 0,00. La Hobs en Cervid13 y Cervid14 fue elevada y varió entre 0,611 y 0,750 (Tabla 1).

La variabilidad medida por el NPA fue baja en PB, CS y CB, registrando 3,0, 3,8 y 2,6, respectivamente (Tabla 1). Esta

Tabla 1. Variabilidad de los cinco microsatélites en los tres casos analizados.

Caso	Microsatélites	nA	H <sub>obs</sub>	NPA	PIC
Panaboy, PB	Cervid1	3	0,625	3,0	0,555
	Cervid2	3	0,625		0,555
	Cervid4	2	<b>0,375</b>		<b>0,305</b>
	Cervid13	4	0,750		0,703
	Cervid14	3	0,625		0,555
Colegio Salesiano, CS	Cervid1	4	0,700	3,8	0,645
	Cervid2	4	0,700		0,645
	Cervid4	3	<b>0,460</b>		<b>0,410</b>
	Cervid13	4	0,660		0,610
	Cervid14	4	0,640		0,581
Clínica Biosalud, CB	Cervid1	2	0,444	2,6	<b>0,346</b>
	Cervid2	3	0,611		0,536
	Cervid4	1	<b>0,000</b>		<b>0,000</b>
	Cervid13	3	0,611		0,536
	Cervid14	4	0,722		0,671

nA, número de alelos por microsatélite; H<sub>obs</sub>, heterocigosidad observada; PIC, contenido de información polimórfica.

pérdida de diversidad alélica, se puede atribuir a que los grupos fueron conformados con dos o tres individuos provenientes de poblaciones naturales, evidenciando una reducción inicial del número de alelos. Este fenómeno, conocido como efecto fundador, ocasiona endogamia y, por tanto, la pérdida de la variabilidad genética, en las siguientes generaciones. Al ser grupos pequeños, fundados con un número reducido de individuos, el apareamiento entre organismos emparentados es alto, por lo tanto, los valores de endogamia se incrementan. Además, se debe tener en cuenta que en semicautiverio las frecuencias alélicas de las poblaciones se apartan de las condiciones naturales y el flujo genético y la introgresión puede llegar a ser un fenómeno frecuente (Hernández *et al.* 2015).

El PIC da una medida del grado de información del polimorfismo proporcionado por el microsatélite y la utilidad potencial del mismo, ya que valores inferiores a 0,5 no son útiles para determinar la variabilidad genética de una población (Bejarano *et al.* 2012). Estos valores, para los cinco marcadores evaluados, en el caso PB, fueron 0,555, para Cervid1, 2 y 14, 0,305, para Cervid4 y 0,703, para Cervid13. Los valores de PIC, en el caso CS, estuvieron entre 0,581, en Cervid14 y 0,645, en Cervid1 y Cervid2, con excepción de Cervid4, que reportó un valor de 0,410.

En el caso CB, los valores de PIC, para los marcadores Cervid2, Cervid13 y Cervid14, estuvieron por encima de 0,500, mientras que Cervid1 y Cervid4 reportaron valores inferiores de 0,346 y 0,000, respectivamente (Tabla 1). Aunque se obtuvieron registros por encima de 0,5 que son informativos, se encuentran por debajo de los hallados por Dewoody *et al.* (1995), quienes reportaron, en Cervid1: 0,840, Cervid2: 0,650, Cervid4: 0,630 y Cervid14: 0,780. El PIC de Cervid1 es inferior a los valores de Anderson *et al.* (2002), Deyoung *et al.* (2003) y Miller *et al.* (2010), los cuales, reportaron valores de 0,820, 0,830 y 0,980, respectivamente; el PIC bajo en Cervid4, se puede atribuir a que está ligado al cromosoma X. En consecuencia, todos los machos exhiben una sola dosis del microsatélite y se comportan como homocigotos.

En los dos animales analizados, en el caso PB, se observaron 15 alelos en los cinco microsatélites. El marcador Cervid13 presentó cuatro alelos y Cervid4, dos alelos, mientras que Cervid1, Cervid2 y Cervid14 mostraron tres alelos, cada uno. El tamaño de los alelos para Cervid1 osciló entre 155 y 172 pb; para Cervid2, 146 a 221 pb; en Cervid4, de 351 a 361 pb; en Cervid13, de 278 a 353 y en Cervid14, entre 245 a 266.

Para los cinco animales del caso CS, se observaron 19 alelos en los cinco microsatélites. Se encontraron cuatro alelos en cada uno de los microsatélites Cervid1, Cervid2, Cervid13 y Cervid14 y tres alelos, en Cervid4. El tamaño de los alelos, para Cervid1, osciló entre 155 y 187pb; 156 a 244pb,

en Cervid2; en Cervid4, de 351 a 361pb; en Cervid13, de 309 a 375pb y en Cervid14, entre 229 y 266pb. En los tres animales evaluados, en el caso CB, se observaron 13 alelos en los cinco microsatélites. El marcador Cervid14 fue el que presentó mayor número de alelos, con cuatro; Cervid2 y Cervid3, tres alelos; Cervid1, dos alelos y un solo alelo, en Cervid4. El tamaño de los alelos para Cervid1 osciló entre 162 y 194pb; 156 a 244pb, en Cervid2; en Cervid4 fue 340pb; en Cervid13, de 309 a 367pb y en Cervid14, entre 234 y 263pb.

El peso del microsatélite Cervid1 en los tres grupos varía entre 155 y 194pb, datos soportados por los valores obtenidos por Anderson *et al.* (2002), Deyoung *et al.* (2003) y Miller *et al.* (2010), quienes reportan valores con rangos similares, 159-193pb, 157-195pb y 187pb, respectivamente. Para los cuatro microsatélites restantes, los pesos obtenidos, únicamente coinciden con los reportados por Leite *et al.* (2007): Cervid2, 155pb y Cervid4, 356pb, mientras que para Cervid13, 198pb y Cervid14 215pb, son menores.

Con respecto al número de alelos, estos resultados son inferiores a los publicados por Dewoody *et al.* (1995), quienes reportaron 10 alelos para el microsatélite Cervid1; siete, en Cervid2; cinco, en Cervid4 y ocho, en Cervid14. En las investigaciones de Dewoody *et al.* (1995), Anderson *et al.* (2002), Deyoung *et al.* (2003), Leite *et al.* (2007), Miller *et al.* (2010), De la Rosa-Reyna *et al.* (2012), Lang & Blanchong (2012a fatal prion disease of cervids, was detected in south-central Wisconsin in 2002 and over time has been identified increasingly farther west in the state leading to concerns about CWD spreading to Iowa. Our objective was to characterize genetic connectivity between white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) y Brommer *et al.* (2015a fatal prion disease of cervids, was detected in south-central Wisconsin in 2002 and over time has been identified increasingly farther west in the state leading to concerns about CWD spreading to Iowa. Our objective was to characterize genetic connectivity between white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*), los resultados son superiores para Cervid1, en cuanto a nA, que fueron 10, 14, 20, 10, 16, 16, 14 y 7, respectivamente; lo anterior evidencia la pérdida de alelos en los tres casos estudiados. La baja variabilidad alélica encontrada en los grupos PB, CS y CB, se debe al reducido número de individuos y no es producto de la genética de la población natural de donde fueron extraídos, ni tampoco de la hibridación con otros individuos. La pérdida de variabilidad en los grupos no es un resultado sorprendente, dado que cuando una especie se restringe a un área más pequeña y recursos limitados, el tamaño y la diversidad genética se reducen drásticamente (Villanova *et al.* 2017). Asimismo, los resultados se asocian con lo reportado por Cronin *et al.* (2006), quienes han dirigido sus investigaciones a determinar los efectos de la domesticación y la cría de fauna en la composición genética de diferentes especies de ciervos. Cronin *et al.* (2009) consideraron la selección y el

paso de las poblaciones de estado natural a estado de cautiverio, como un factor de riesgo, para la pérdida de variabilidad genética, especialmente por fenómenos, como el efecto fundador, la deriva genética, la selección en poblaciones con pequeños tamaños efectivos y el apareamiento no azaroso; sin embargo, algunos de sus resultados han demostrado que la variación genética se puede mantener en poblaciones domésticas y salvajes, con una gestión adecuada, tal como: cruces dirigidos, selección de pie de cría con alta variabilidad y reducción de endogamia.

Se puede concluir que la baja variabilidad de cada uno de los casos analizados demuestra que han pasado por un cuello de botella, producto del establecimiento de grupos en semi-cautiverio, lo que aumentó el fenómeno de endogamia, por lo tanto, se evidencia una amenaza en la estabilidad genética de los organismos y, por ende, un peligro inminente a su supervivencia. Se recomienda aumentar el pool genético de los grupos, introduciendo individuos con riqueza alélica distinta, provenientes de otras poblaciones y realizar cruces dirigidos entre los individuos, que presentaron el mayor número de alelos en los microsatélites.

**Agradecimientos:** Agradecemos a la Corporación Autónoma Regional de Boyacá –CORPOBOYACÁ- y a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia –UPTC-, por el apoyo financiero y logístico para el desarrollo de esta investigación. **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

- ALHUAY, D.; LI, O.; ALVARADO, A.; FALCÓN, N.; RÍOS, P.; ROJAS, G. 2011. Perfil bioquímico sanguíneo hepático de Venados Cola Blanca (*Odocoileus virginianus*) criados en cautiverio. Rev. Investig. Vet. Perú. 22(2):138-143.
- ANDERSON, J.D.; HONEYCUTT, R.L.; GONZALES, R.A.; GEE, K.L.; SKOW, L.C.; GALLAGHER, R.L.; DEYOUNG, R.W. 2002. Development of microsatellite DNA markers for the automated genetic characterization of white tailed deer populations. J. Wildl. Manag. (USA). 66(1):67-74.
- BEJARANO, D.; PEDRAZA, A.; ROCHA, J.; RODRIGO, M. 2012. Variabilidad genética en subpoblaciones comerciales de la raza criolla colombiana Romosinuano. Corpoica Cienc. Tecnol. Agropec. (Colombia). 13(1):97-107.
- BROMMER, J.E.; KEKKONEN, J.; WIKSTRÖM, M. 2015. Using heterozygosity-fitness correlations to study inbreeding depression in an isolated population of white-tailed deer founded by few individuals. *Ecol. Evol.* (USA). 5(2):357-367.
- CELIS, G.; SÁNCHEZ, N.; LÓPEZ, J. 2010. Evaluación productiva del Venado Cola blanca *Odocoileus virginianus* (Zimmermann, 1780) en cautiverio. Rev. Fac. Ciencias Agropec. (Colombia). 2(1):19-28.
- CRONIN, M.A.; MACNEIL, M.D.; PATTON, J.C. 2006. Mitochondrial DNA and microsatellite DNA variation in domestic reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*) and relationships with wild caribou (*Rangifer tarandus granti*, *Rangifer tarandus groenlandicus*, and *Rangifer tarandus caribou*). J. Heredity. (UK). 97:525-530.
- CRONIN, M.A.; RENECKER, L.A.; PATTON, J.C. 2009. Genetic variation in domestic and wild elk (*Cervus elaphus*). J. Anim. Sci. (USA). 87:829-834.
- DE LA ROSA-REYNA, X.; CALDERON-LOBATO, R.D.; PARRA-BRACAMONTE, G.M.; SIFUENTES-RINCON, A.M.; DEYOUNG, R.W.; GARCIA-DE LEON, F.J.; ARELLANO-VERA, W. 2012. Genetic diversity and structure among subspecies of white-tailed deer in Mexico. J. Mammal. (UK). 93(4):1158-1168.
- DEWOODY, J.A.; HONEYCUTT, R.L.; SKOW, L.C. 1995. Microsatellite Markers in White-Tailed Deer. J. Heredity. 86(4):1994-1996.
- DEYOUNG, R.W.; DEMARAIS, S.; HONEYCUTT, R.L.; ROONEY, A.P.; GONZALES, R.A.; GEE, K.L.; ANDERSON, J.D. 2003. Evaluation of a DNA microsatellite panel useful for genetic exclusion studies in white-tailed deer. Wildl. Soc. Bull. (USA). 31(1):220-232.
- DEYOUNG, R.W.; DEMARAIS, S.; GEE, K.L.; HONEYCUTT, R.L.; MICKEY, W.; GONZALES, R.A. 2009. Molecular evaluation of the White-tailed Deer (*Odocoileus virginianus*). J. Mammal. 90(4):946-953.
- GUTIÉRREZ, J.P.; ROYO, L.J.; ÁLVAREZ, I.; GOYACHE, F. 2005. MolKin v2.0: a computer program for genetic analysis of populations using molecular coancestry information. J. Hered. 96:718-721.
- HERNÁNDEZ, P.M.; PARRA, G.M.; DE LA ROSA, X.F.; CHASSIN, O.; SIFUENTES, A.M. 2015. Genetic shifts in the transition from wild to farmed white-tailed deer

- (*Odocoileus virginianus*) population. *Int. J. Biodivers. Sci. Ecosyst. Serv. Manage.* (UK) 10(1):3-8.
14. LANG, K.R.; BLANCHONG, J.A. 2012. Population genetic structure of white-tailed deer: Understanding risk of chronic wasting disease spread. *J. Wildl. Manag.* 76(4):832-840.
  15. LEITE, K.C.; COLLEVATTI, R.G.; MENEGASSO, T.R.; TOMAS, W.M. 2007. Transferability of microsatellite loci from Cervidae species to the endangered Brazilian marsh deer, *Blastocerus dichotomus*. *Genet. Mol. Res. (Brasil)*. 6(2):325-330.
  16. LÓPEZ-ARÉVALO, H.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, A. 2006. Venado sabanero *Odocoileus virginianus* En: Libro rojo de los mamíferos de Colombia. Serie Libros Rojos de especies amenazadas en Colombia 114-120. Conservación internacional y ministerio de ambiente y desarrollo territorial. Bogotá.
  17. MARTÍNEZ POLANCO, M.F.; MONTENEGRO, O.L.; PEÑA L., G.A. 2015. La sostenibilidad y el manejo de la caza del venado cola blanca (*odocoileus virginianus*) por cazadores recolectores del periodo precerámico de la sabana de Bogotá, en el yacimiento arqueológico de Aguazuque (Colombia). *Caldasia*. 37(1):1-14.
  18. MIAH, G.; RAFII, M.Y.; ISMAIL, M.R.; PUTEH, A.B; RAHIM, H.A.; ISLAM, KH.N.; LATIF, M.A. 2013. A review of microsatellite markers and their applications in rice breeding programs to improve blast disease resistance. *Int. J. Mol. Sci. (Suiza)*. 14: 22499-22528.
  19. MILLER, B.F.; DEYOUNG, R.W.; CAMPBELL, T.A.; LASETER, B.R.; MARK, W.; MILLER, K.V. 2010. Fine-scale genetic and social structuring in a central Appalachian white-tailed deer herd. *J. Mammal.* 91(3):681-689.
  20. OCAMPO, R.G.; CARDONA, H.C. 2013. La endogamia en la producción animal. *Rev. Col. Cienc. Anim. (Colombia)*. 5(1):465-479.
  21. PALMER, M.V.; COX, R.J.; WATERS, W.R.; THACKER, T.C.; WHIPPLE, D.L. 2017. Using white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) in infectious disease research. *J. Am. Assoc. Lab. Anim. Sci. (USA)*. 54(4):1-11.
  22. RAMOS, M.; GALLINA, S.; MANDUJANO, S. 2013. Habitat and human factors associated with white-tailed deer density in the tropical dry forest of Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve, Mexico. *Trop. Conserv. Sci. (USA)*. 6(1):70-86.
  23. RAYMOND, M.; ROUSSET, F. 1995. GENEPOP (version 1.2): Population genetics software for exact tests and ecumenicism. *J. Heredity. (UK)*. 86:248-249.
  24. VILLANOVA, V.L.; HUGHES, P.T.; HOFFMAN, E.A. 2017. Combining genetic structure and demographic analyses to estimate persistence in endangered key deer (*Odocoileus virginianus clavium*). *E.A Conserv. Genet. (Holanda)*. doi:10.1007/s10592-017-0958-2.
- Recibido: Octubre 31 de 2016  
Aceptado: Noviembre 23 de 2017

#### Cómo citar:

Suárez P, D.; Arrieta V, L.; Gaona B., L. 2017. Variabilidad genética de *Odocoileus virginianus* (Zimmerman, 1970) en Boyacá-Colombia: Reporte de caso. *Rev. U.D.C.A Act. 6 Div. Cient.* 20(2): 485-489.





---

---

El Consejo Editorial y el Comité Científico desean expresar sus agradecimientos a todas las personas que colaboraron en la evaluación de los artículos publicados en este fascículo.  
Nuestra gratitud a su invaluable colaboración.

En reconocimiento publicamos a continuación sus nombres:

- Ph.D. Divier Antonio Agudelo Gómez, Corporación Universitaria Lasallista, Caldas, Antioquia, Colombia  
Ph.D. Enrique Aguinaga Ontoso, U. de Murcia, Murcia, España  
Ph.D. Juan Manuel Barraza Burgos, U. del Valle, Cali, Colombia  
M.Sc. Jorge Bilbao Ramírez, Universidad Metropolitana, Barranquilla, Colombia  
Ph.D. Edna María Bonfim-Silva, U.F. de Mato Grosso, Rondonópolis. MT, Brasil  
M.Sc. Israel Cabeza Morales, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia  
Ph.D. Jesús Hernán Camacho Tamayo, U.N. de Colombia, Bogotá, Colombia  
Ph.D. Giovanni Orlando Cancino Escalante, U. de Pamplona, Pamplona, Colombia  
Ph.D. José Régulo Cartagena Valenzuela, U.N. Colombia, Medellín Colombia  
Ph.D. Antoine M. Cleef, U. de Amsterdam, Holanda  
Ph.D. Hernando Criollo Escobar, U. de Nariño, Pasto, Colombia  
Ph.D. Bert De Bievre, FONAG, Quito, Ecuador  
Ph.D. Miguel Mariano Espitia Camacho, U. de Córdoba, Montería, Córdoba, Colombia  
Ph.D. Gerhard Fischer Gebauer, U.N. de Colombia, Bogotá, Colombia  
Ph.D. Tomás José Fontalvo Herrera, U. de Cartagena, Cartagena, Colombia  
PH.D. Helio Garcia Leite, U.F. de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil  
Ph.D. Carmiña Gartner Vargas, U. de Antioquia, Medellín, Colombia  
M.Sc. Carlos González Díaz, Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología, La Habana, Cuba  
Ph.D. Alfredo Jarma Orozco, U. de Córdoba, Montería, Colombia  
Ph.D. María de los Ángeles La Torre Cuadros, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú  
Ph.D. Jesús López Elías, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México  
M.Sc. Wilmer Loaiza Cerón, Univalle, Cali, Colombia  
Lic. Biología Pedro López Del Castillo, Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad, Santiago, Cuba  
Ph.D. María Mercedes Marchese, Inst. N. de Limnología, U.N. del Litoral, Santa Fe, Argentina  
Ph.D. Rubén Cornelio Montes Pérez, U. Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México  
Ph.D. Jorge Oliva Hernández, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Huimanguillo, Tabasco, México  
M.Sc. Holman Ospina Mateus, U. Tecnológica de Bolívar, Cartagena, Colombia  
Ph.D. Raúl Hernando Posada Almanza, U. de Caldas, Manizales, Colombia  
Ph.D. Alfoso Parra Coronado, U.N. Bogotá, Colombia  
Ph.D. Mauricio Quintero Ángel, Universidad Santiago de Cali, Cali, Colombia  
Ph.D. André Luiz Radünz, Universidade Federal da Fronteira Sul, Câmpus Erechim, Rio Grande do Sul, Brasil  
Ph.D. Juan Carlos Redondo Castan, Universidad de León, León, España  
Ph.D. Angélica Rodríguez Dorantes, Instituto Politécnico Nacional Naucalpan de Juárez y alrededores, México  
Ph.D. Silvia Sedano Campo, Universidad Europea Miguel de Cervantes, Valladolid, España  
Ph.D. Nelson Oswaldo Valero Valero, U. de La Guajira, Riohacha, La Guajira  
M.Sc. José Julio Vergara Arrieta, U. Tecnológica de Bolívar, Cartagena, Colombia  
Ph.D. José Armando Vidarte Claros, U. Autónoma de Manizales, Manizales, Colombia  
M.Sc. William Fernando Viera Arroyo, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Quito, Ecuador



---

---

# NORMAS PARA LA ELABORACIÓN DE ARTÍCULOS E INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

**MISIÓN:** La Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica tiene como propósito fomentar y difundir el conocimiento científico, a través de la publicación de resultados de las investigaciones llevadas a cabo por los docentes-investigadores de las diversas facultades de la Universidad y de los hallazgos proporcionados por otros investigadores de instituciones nacionales o internacionales e informar a la sociedad en general, sobre la gestión institucional en la docencia, la investigación, la proyección social, el bienestar social universitario y los aspectos administrativos. Es una revista de orden multidisciplinario, lo que le permite abarcar temáticas concernientes con Ciencias de la Salud, Ciencias del Sector Agropecuario, incluyendo Ciencias y Tecnología de Alimentos, Ciencias Biológicas, Ciencias Sociales Aplicadas, Ingenierías, Ciencias Exactas y de la Tierra y Ciencias Humanas. Participa de la iniciativa open access (acceso abierto), que busca suprimir las barreras de acceso a la literatura científica, facilitando su disponibilidad gratuita, por medio de la red Internet.

**PÚBLICO OBJETIVO:** Está dirigida, principalmente, a docentes, investigadores y profesionales en las diferentes áreas del conocimiento. Publica dos fascículos anuales, cuyo contenido comprende artículos científicos, artículos técnicos o de revisión y artículos de reflexión, evaluados por árbitros especialistas, tanto internos como externos a la Universidad y del ámbito nacional e internacional.

Para la publicación, se aceptan los siguientes tipos de artículos, en idiomas español e inglés:

1. **Artículos científicos y de desarrollo tecnológico:** Inéditos, basados en resultados originales, derivados de proyectos científicos o de desarrollo tecnológico finalizados.
2. **Artículos técnicos o de actualización o de revisión:** Estudios realizados para proporcionar una perspectiva general del estado de un tema específico de la ciencia y de la tecnología, de su evolución a través del tiempo y donde se señalan las perspectivas futuras. Los autores demostrarán autoría, conocimiento y dominio del tema, discutiendo los hallazgos de los autores citados, conjuntamente con los propios. Este artículo, se caracteriza por tener por lo menos 50 referencias bibliográficas; por fascículo, se publican máximo tres artículos de esta tipología.
3. **Artículos de reflexiones originales sobre un problema o tópico particular:** Documentos inéditos, que reflejan

los resultados de los estudios y el análisis sobre un problema teórico o práctico y que recurren a fuentes originales.

4. **Reporte de caso:** Texto que describe un caso específico, no reportado, de una situación particular encontrada en el quehacer profesional del autor. Incluye una breve introducción, en la que se indica el dónde, cómo y cuándo de la presentación del caso; el resultado, que corresponde a la descripción clara de la situación y una revisión de literatura comentada sobre casos análogos. Los reportes de caso pueden hacer referencia a: efectos adversos de medicamentos y de insumos agrícolas; ocurrencia no esperada de enfermedades o plagas; asociación imprevista entre síntomas y enfermedades; presentación, diagnóstico o manejo de problemas sanitarios nuevos o emergentes; eventos no esperados en tratamientos de animales o controles de plagas, entre otros.
5. **Nota Técnica:** corresponde a un reporte de un método, de una técnica o de un procedimiento nuevo, comparado con las técnicas previamente empleadas en investigaciones y mostrando resultados de estas evaluaciones, estadísticamente analizados. Incluye la discusión de las ventajas o las desventajas de la nueva tecnología.

Por fascículo, se reciben máximo dos artículos tipo 4 y 5. Los procesos de revisión, tanto para el Reporte de Caso como para la Nota Técnica serán los mismos que para los otros tres tipos de artículos, que acepta la revista.

Los manuscritos, elaborados en tercera persona, deben ser entregados al Editor de la Revista (Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, Calle 222 No. 55-37, Bogotá, D.C., rev.udca@udca.edu.co), en físico, en original y copia y en medio magnético; letra Arial 12, espacio entre caracteres normal, indicando el procesador de texto y fuente. Se exige tamaño carta, doble espacio entre líneas y entre párrafos, exceptuando Resumen, Summary y Bibliografía; márgenes 4x3x3x3cm (izquierda, derecha, arriba, abajo, respectivamente); la sangría y el espaciado -en Diseño de página, sección párrafo-, todos con valor cero (0). Los Reportes de Caso y la Nota Técnica no presentarán ni Resumen ni Summary, pero sí los demás capítulos; el número de páginas permitido es de máximo 12, con dos ilustraciones únicamente. Los escritos correspondientes a los tipos 1, 2 y 3 no deben exceder de 25 páginas, incluyendo bibliografía, tablas, figuras e imágenes. Se recomienda no exceder de 30 las referencias bibliográficas actualizadas en los artículos tipo 1 y 3. Para

---

artículos técnicos o de revisión, se aceptan, excepcionalmente, hasta 30 páginas. El número máximo del conjunto de ilustraciones (tablas, cuadros, figuras, gráficas, imágenes), para los manuscritos de tipología 1, 2 y 3 es de seis; cada una se coloca en página aparte, al final del texto, después de la Bibliografía.

La estructura del manuscrito debe seguir los pasos del método científico, es decir, la organización en: **TÍTULO PRINCIPAL-**. En mayúsculas, conciso y sin abreviaturas, sin exceder los 140 caracteres, incluyendo espacios, signos de puntuación y nombres científicos; además, se debe colocar el título en idioma inglés; los autores deben sugerir un **TÍTULO BREVE-**, de máximo 40 caracteres, incluyendo los espacios, que será incluido en las páginas impares de la revista, junto con el apellido del (los) autor (es); **Autores-**. Se indica el nombre y apellido(s), en orden de contribución al artículo, indicando el título académico y una única filiación institucional, la dirección de correspondencia completa, que comprenda la ciudad, el departamento y el país y la dirección electrónica institucional, preferiblemente; estos datos, se ubican debajo de los títulos (español e inglés); **RESUMEN-**. Un máximo de 250 palabras, en un sólo párrafo, a espacio sencillo; debe ser claro y conciso, despertar el interés del lector y dar información sobre el problema, la justificación del estudio, los objetivos, la metodología y los resultados obtenidos; **PALABRAS CLAVE-**. Máximo cinco y se recomienda utilizar palabras clave normalizadas, incluidas en descriptores, reseñadas en, por ejemplo, [www.nlm.nih.gov/mesh/](http://www.nlm.nih.gov/mesh/), [www.decs.bvs.br](http://www.decs.bvs.br), CAB Thesaurus, lo que permitirá mayor visibilidad del artículo y, al final de ellas, indicar de qué Thesaurus fueron seleccionadas; **SUMMARY-**. Traducción del resumen en idioma inglés. **KEY WORDS-**. Traducción de las palabras clave al idioma inglés.

El texto contiene, fundamentalmente, los siguientes capítulos: **INTRODUCCIÓN**, que comprende la revisión de literatura pertinente; **MATERIALES Y MÉTODOS**, **RESULTADOS Y DISCUSIÓN** y, finalmente, **BIBLIOGRAFÍA**. Las conclusiones y, si se justifica recomendaciones, se incluyen bajo resultados y discusión. Si se decide dar **Agradecimientos**, se colocan antes de la bibliografía. Los autores deben incluir, además: Conflictos de intereses (subtítulo), por ejemplo: "El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados" y Financiación (subtítulo), es decir, destacar la fuente, como por ejemplo: "Este estudio

fue financiado por Colciencias y la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A)".

Las citas bibliográficas en el texto deben contener los apellidos del autor y entre paréntesis al año de publicación; cuando los autores son más de dos, se utiliza la expresión en latín *et al.* en cursiva. Si la cita se coloca al final de una frase, tanto el autor como el año de publicación, van entre paréntesis. La **BIBLIOGRAFÍA** citada, se coloca en orden alfabético y numerado, evitando numeración automática; la segunda línea de cada referencia se inicia a 1,5cm. **Nota:** Los resúmenes de congresos y comunicaciones personales que reposan en archivos de oficinas, así como los trabajos de grado, de tesis y de disertaciones doctorales no se aceptan como referencias. Las referencias de un artículo publicado en una revista deben contener: autor(es) en mayúscula, año de publicación, título del artículo, nombre de la revista, país de origen de la revista, siempre y cuando no se incluya en el título. Volumen, número y páginas (p.). Ejemplo: CABEZAS, M. 1998. Papel de calcio en la relación fuente demanda de asimilados en la respuesta de las plantas al stress. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia). 1(1):38-48. La referencia de un libro debe contener: Autor(es) en mayúscula, año de publicación. Título, Editorial. Lugar de impresión. Páginas. Ejemplo: MARGALEFF, R. 1988. Ecología. Ed. Omega (España). 951p. Al citar autores que participaron con un capítulo en un libro, se procede de la siguiente manera: Autor(es) del capítulo. Año de publicación. Título del capítulo. Editores del Libro. Título del libro. Editorial. Lugar de impresión. Páginas del capítulo. Ejemplo: ARÉVALO, J. 1999. Organoclorados en la agricultura. En: Posada, J.G.; Bermúdez, F.G. (eds). Actualidad y futuro de los pesticidas de uso agrícola. Ed. McGraw Hill (New York). p.28-53. Para citas de recursos electrónicos (revistas), se debe consultar: ISO.1998. International Standard ISO 690-2. Information and Documentation – Bibliographic References – Part 2: Electronic documents or parts thereof. International Organization for Standardization. Ottawa. Canada. Disponible desde Internet en: <http://www.nlc-bnc.ca/iso/tc46sc9/standard/690-2e.htm> [con acceso el 01/01/1999]. En general, se sigue la norma de citación de un artículo tomado de una revista seriada, seguido de: Disponible desde Internet en: [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, anónimos, 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 sangría e o espaçado (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/](http://www.nlm.nih.gov/mesh/), [www.decs.bvs.br](http://www.decs.bvs.br), CAB Thesaurus; isto, permitirá maior visibilidade do artigo e ao final delas, indicar de que Thesaurus foram selecionadas. **SUMMARY**: Tradução do resumo em idioma inglês. **KEY WORDS**: Tradução das palavras chaves ao idioma inglês

O texto contém, fundamentalmente, os seguintes capítulos: **INTRODUÇÃO**, que compreende a revisão de literatura relacionada, **MATERIAIS E MÉTODOS**, **RESULTADOS E DISCUSSÃO** e, finalmente, **BIBLIOGRAFIA**. As conclusões e, se justifica, recomendações, incluem-se sob resultados e discussão. Se se decide dar **AGRADECIMENTOS**, colocam-se antes da bibliografia. Os autores devem incluir ademais: Conflitos de interesses (subtítulo), por exemplo: "O manuscrito foi preparado e revisado com a participação de todos os autores, quem declaramos que não existe nenhum conflito de interesses que ponha em risco a validade dos resultados apresentados" e Financiamento (subtítulo), isto é, destacar a fonte, como por exemplo: "Este estudo foi financiado por Colciencias e a Universidade de Ciências Aplicadas e Ambientais U.D.C.A."

As citações bibliográficas no texto devem conter os sobrenomes do autor e entre parêntese o ano de publicação; quando os autores são mais de dois, utiliza-se a expressão em latim et al. Se a citação se coloca ao final de uma frase, tanto o autor como o ano de publicação, vão entre parêntese. A **BIBLIOGRAFIA** citada se coloca em ordem alfabética e numerada. **Nota**: os resumos de congressos e comunicações pessoais que descansam em arquivos de escritórios, bem como os trabalhos de graduação e de tese, não se aceitam como referências.. As referências de um artigo publicado numa revista devem conter: Autor (es) em maiúscula, ano de publicação, título do artigo, nome da revista, país de origem da revista, desde que não esteja incluso no título. Volume, número e páginas (p.). Exemplo: CABEZAS G., M. 1998. Papel do cálcio na relação fonte demanda de assimilados na resposta das plantas ao stress. Revista U.D.C.A Atualidade & Divulgação Científica (Colômbia) 1(1):38-48. A referência de um livro deve incluir: Autor (es) em maiúscula, ano de publicação. Título, Editorial. Lugar de impressão. Páginas. Exemplo: MARGALEFF, R. 1988. 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, anônimos, especialistas no tópico tratado.

---

---

# GUIDELINES FOR MANUSCRIPT PREPARATION AND INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

**MISSION:** The main purpose of the U.D.C.A Actuality & Divulcation Journal is to promote scientific knowledge through the publication of research results, achieved by the academic personnel of the diverse faculties of the University as well as the discoveries made by researchers of other national and international institutions, and to inform the society about institutional education management, research, social impact, the university well-being and its administrative aspects. This is a multi-disciplinary journal that allows the inclusion of topics related mainly to the health sciences, agropecuarian sciences, including food technologies, biological sciences, the social-humanistic sector and economics. This is an open-access initiative, seeking to abolish the access barriers to scientific literature, permitting its free availability through Internet.

**TARGET PUBLIC:** It is geared towards professors, researchers and professionals in the diverse areas of knowledge. It is published twice a year; containing technical or review papers, original papers of reflection and scientific papers, which are peer-reviewed by external, national or foreign referees, specialist in the treated topic.

The journal accepts for publication three types of manuscripts:

1. **Scientific and technological developmental papers:** unpublished, based on original results derived from scientific projects and/or finished research regarding a technological development.
2. **Technical, actualization or review papers:** studies undertaken to provide a general perspective of a specific topic in science or technology, its evolution through time, pointing out the future perspectives. Authors will demonstrate authority, knowledge and dominion of the topic, discussing the findings of the cited authors, together with proper results. This paper is characterized by containing at least 50 bibliographical references. Per issue a maximum of three review papers are published.
3. **Reflection about a problem or particular topic:** unpublished documents which reflect results of studies and the analysis of a theoretical or practical problem and relay on original sources.
4. **Case report:** text that describes a specific, non-reported case, of a particular situation found during the professional work of the author. It includes a brief

introduction, presenting the situation; the result corresponds to a clear description of the situation, together with an annotated literature review of analogous cases. Case reports can make reference to the adverse effects of drugs, agrochemicals, unexpected occurrence of diseases or pests, unforeseeable association between symptoms and diseases, presentation, diagnosis and/or management of new or emergent phytosanitary problems, and unexpected events in animal treatments, or pest control, among others.

5. **Technical Note:** it is a report of a method, a technique, or a new procedure, that is compared with previously employed research techniques, showing the results that have been statistically analyzed. It includes a discussion of the pros and cons of the new technique.

For every issue, only two articles type 4 and 5 are accepted. The review process for Case Reports and Technical Notes is the same as for the other three types of articles that the journal receives.

Manuscripts, written using the third-person, are submitted in a printed version, original and copy and a magnetic form; Arial 12, normal space between characters, mentioning its text processor (Word), to the editor (Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, Calle 222 No. 55-37, Bogotá, DC.; rev.udca@udca.edu.co). Page size is 21.59 X 27.94cm, double spaced, excepting 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/](http://www.nlm.nih.gov/mesh/), [www.decs.bvs.br](http://www.decs.bvs.br), CAB Thesaurus, is recommended; this allows a higher visibility of the articles; next to them the selected Thesaurus has to be mentioned. **RESUMEN:** translation of summary. **PALABRAS CLAVE:** translation of key words.

Basically the manuscript should include the following chapters: **INTRODUCTION**, which includes the literature revision and antecedents, **MATERIALS AND METHODS**, **RESULTS AND DISCUSSION**, and finally **BIBLIOGRAPHY**. Conclusions and, if relevant, recommendations, form part of results and discussion. If **Acknowledgments** are given, they are posted below results and discussion. Authors have to include the statement of Conflicts of interest (subtitle), for example: "The manuscript was prepared and revised by all authors, who declare the absence of any conflict which can put the validity of the presented results in risk", if necessary, and Finantial support (subtitle), which means to give credit, as for example: "This study was financed by Colciencias and the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A".

Cited references: citations in the text should be by last name of the author(s), followed by the publication year within

parenthesis. When there are more than two authors, the Latin expression et al. is employed. If the reference is mentioned at the end of a sentence, both, author(s) and year are placed in parenthesis, separated by a coma. In the **BIBLIOGRAPHY** the references are numbered and listed alphabetically by author. **Note:** summaries presented at scientific meetings and personal communications, archived in offices, as well as thesis are not accepted as references. Reference of a cited article published in a journal should contain: author(s) in capital letters, publication year, title of the article, journal name, country of journal's origin, if not included in the journals name. Volume, number and pages. Example: CABEZAS G., M. 1998. Papel del calcio en la relación fuente demanda de asimilados en la respuesta de las plantas al stress. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia). 1(1):38-48. Reference of a book has to include: Author(s) in capital letters, publication year, title, editorial, place of impression and pages. Example: MARGALEFF, R. 1988. Ecología. Ed. Omega (España). 951p. If authors of a chapter published in a book are cited, report as follows: Author(s) of the chapter. Publication year. Title of the chapter. Editors of the book. Title of the book. Editorial. Place of impression. Pages of the chapter. Example: ARÉVALO, J. 1999. Organoclorados en la agricultura. En: Posada, J.G.; Bermúdez, F.G. eds. Actualidad y futuro de los pesticidas de uso agrícola. Ed. McGraw Hill (New Cork), p.28-53. For references of electronic sources consult: ISO. 1998. INTERNACIONAL Standard ISO 690-2. Information and Documentation – Bibliographic References – Part 2: Electronic documents of parts thereof. International Organization for Standardization. Ottawa. Canada. Available 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, anonymous, specialist in the treated topic.



REVISTA

# U.D.C.A

ACTUALIDAD & DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Procedimiento para pedido: Comunicarse con la Editora de la Revista, teléfono: 6688400 ext. 168 – 177 y solicitar remisión del ejemplar requerido. Una vez se registren los datos de envío, debe hacer la consignación respectiva. A vuelta de correo certificado, le llegará el pedido.

## Cupón de Suscripción (diligenciar con letra legible)

Nombres y Apellidos: \_\_\_\_\_

Institución: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

Teléfonos: \_\_\_\_\_ Ciudad: \_\_\_\_\_

País: \_\_\_\_\_

## Valor suscripción:

NÚMERO	AÑO	PRECIO
2	2016	\$35.000
1	2017	\$40.000
2	2017	\$40.000

**Forma de pago:** Consignar a nombre de U.D.C.A, Cuenta Nacional Banco de Bogotá No. 08500697-1, el valor respectivo y enviar comprobante de consignación escaneado, al correo electrónico de la revista, anexando cupón de suscripción diligenciado. Mayores informes o reclamaciones en el teléfono (57-1) 6684700 ext. 177 - 168 o [rev.udca@udca.edu.co](mailto:rev.udca@udca.edu.co).

Disposición para canje: Solicitar directamente a la Biblioteca – SIDRE, con el Licenciado Rodrigo Gómez Fernández – Director, al teléfono 6684700 ext. 126 o al correo electrónico: [bibliote@udca.edu.co](mailto:bibliote@udca.edu.co).

Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A  
Calle 222 No. 55-30, Bogotá, D.C. – Colombia  
P.B.X.: 6684700

[www.udca.edu.co](http://www.udca.edu.co)



# Confía en 4-72, el servicio de envíos de Colombia

Línea de atención al cliente:  
**(57 - 1) 472 2000 en Bogotá**  
**01 8000 111 210 a nivel Nacional**

.....

[www.4-72.com.co](http://www.4-72.com.co)