

ISSN PRINT: 1794-161X / ISSN WEB: 2389-7864 / Volumen 17, No. 1, enero - junio de 2022

INTROPICA



INTROPICA

INTROPICA



Publicación seriada
Volumen 17, No. 1
Enero – junio 2022
ISSN: 1794-161X - ISSN WEB: 2389-7864
Santa Marta - Colombia

INTROPICA

Volumen 17, No. 1 enero - junio 2022

/ ISSN: 1794-161X - ISSN WEB: 2389-7864

Intropica desde el 2004 es una revista de acceso abierto de la Universidad del Magdalena, que publica trabajos científicos o técnicos con periodicidad semestral (de enero a junio y de julio a diciembre). La revista se creó bajo el auspicio del fondo editorial, por iniciativa de un grupo de académicos e investigadores adscritos a la Universidad del Magdalena. **Intropica** está orientada a publicar contribuciones originales e inéditas escrita en español o inglés relacionados con el estudio e interpretación integrada de los ecosistemas y de los problemas ambientales derivados de la intervención antropogénica sobre el territorio. La revista considera artículos de investigación científica y tecnológica, artículos de revisión, reflexión y notas científicas. Está dirigida a investigadores en Ciencias Naturales y Ambientales, incluyendo las disciplinas de Biología, Pesquerías, Agronomía, Etnobiología, Economía de Recursos Naturales, Ecología y afines.

©Universidad del Magdalena. Santa Marta - Colombia, 2021

EDITOR

Cesar E. Tamaris, Universidad del Magdalena, Colombia

COMITÉ EDITORIAL

Andrés M. Vélez Pereira, Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia
Luis M. Manjarrés – Universidad del Magdalena, Colombia
Jairo Altamar – Universidad del Magdalena, Colombia
Saeko I. Gaitán – Universidad del Magdalena, Colombia
Víctor Macías – Universidad del Magdalena, Colombia
Pablo E. Gutiérrez – University of Puerto Rico Rio Piedras, Puerto Rico
Andrés M. Vélez – Universidad Autónoma de Barcelona, España
Gladys Reinoso Flórez – Universidad del Tolima, Colombia
Ernesto Otero – Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico
Fernando Álzate – Universidad de Antioquia, Colombia
Rosa Cerros – Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México
Jose Carmelo Murillo – Universidad Nacional de Colombia, Colombia
Francisco J. Guerrero – University of Wisconsin, Estados Unidos
Carlos A. Iregui – Universidad Nacional de Colombia, Colombia
Reinhard Schnetter – Universidad de Giessen, Alemania
Gabriel Navas – Universidad de Cartagena, Colombia
José Mancera – Universidad Nacional de Colombia, Colombia
Sergio Losada – Universidad del Tolima, Colombia
Jorge Maldonado – Universidad de Los Andes, Colombia
Karim Erzini – Universidade Do Algarve, Portugal
Juan Carlos Gutiérrez – Universidad de Huelva, España
Mónica Lugo Ciencias Biológicas, – Universidad Nacional de San Luis, Argentina
Eduardo Domínguez - Instituto de Biodiversidad Neotropical (IBN), Argentina
Carlos Molineri - Instituto de Biodiversidad Neotropical (IBN), Argentina

COMITÉ EDITORIAL INVITADO

Diana Tamaris Turizo – Universidad del Magdalena
Juan Carvajal-Cogollo-Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

GESTOR EDITORIAL

Ana Milena Lagos Universidad del Magdalena, Colombia

CORRECTOR DE ESTILO

Juan Mikán

REVISIÓN DE IDIOMAS

Gran Caribe, Pensamiento, Cultura, Literatura - Colombia

FOTOGRAFÍA - IMAGEN - ILUSTRACIÓN DE PORTADA

Cormorán del Neotrópico (*Phalacrocorax brasilianus*)

Autor: Diana Tamaris- Turizo

BASES DE INDIZACIÓN, INDEXACIÓN Y CATALOGACIÓN

Revista registrada en las bases de datos: ASFA, Dialnet, Latindex, UlrichsWeb, REDIB, BASE, Actualidad Iberoamericana, PERIÓDICA, SHERPA/RoMEO, CiteFactor, INFOBASE, OAJI, ERIHPLUS y MIAR, DOAJ, Zoological Record, Biosis Previews.



FORMA DE ADQUISICIÓN Y CANJES

La revista es de libre acceso y no tiene costos asociados por publicación, se puede acceder a ella a través de la página: <http://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica> o en formato papel se puede solicitar a la: Carrera 32 N° 22 - 18. Universidad del Magdalena. Bloque 8 segundo piso, Santa Marta – Magdalena. Colombia. PBX: (57-5) 4301292 – 4217940 Ext.: 1888 o a través del correo electrónico: revistaintropica@unimagdalena.edu.co.

El canje se presenta en la Biblioteca “Germán Bula Meyer” ubicada en Carrera 32 N° 22.

PERIODICIDAD Y DIFUSIÓN

La revista **Intropica** adscrita a la Universidad del Magdalena – Colombia, se publica con una frecuencia semestral (de enero a junio y de julio a diciembre). Publicando los artículos de cada edición. Su circulación es a nivel nacional e internacional.

DERECHOS DE AUTOR

Los textos se pueden reproducir total o parcialmente siempre y cuando se cite la fuente. El contenido de los artículos publicados en Intropica es exclusiva responsabilidad de los autores.



Intropica by Universidad del Magdalena is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License

EVALUADORES

Ana Cristina de la parra Guerra
Universidad del Atlántico

Andrés M. Vélez Pereira
Universidad Tecnológica de Bolívar

Andrés Zuñiga Orozco
Universidad Estatal a Distancia
De Costa Rica

Cristian José Guzmán Soto
Universidad del Magdalena

David Saavedra
Corporación Universitaria del Huila-
CORHUILA

Esteban Botero-Delgadillo
Max Plank Institute for
Ornithology

Hector Jaime López Salgado
Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Ingrid Steffanell De León
Universidad Libre

Jorge Luis Aristizabal Regino
Universidad de Antioquia

Juan Carlos Menjivar Flores
Universidad Nacional de Colombia

Karolina Fierro Calderón
Universidad ICESI

Luis Eladio Rentería
Instituto de Investigaciones Ambientales del
Pacífico

Miguel Moreno Palacios
Universidad de los Andes

Pedro María Argüello García
Universidad Pedagógica y Tecnológica De
Colombia

Sergio Losada Prado
Universidad del Tolima

Yeison Mauricio Quevedo Amaya
Centro de investigación de la caña
de azúcar de Colombia – Cenicaña

Víctor Macías
Universidad del Magdalena

Vladimir Andrés Bernal González
Instituto Humboldt

Vladimir Minorta Cely
Universidad Central

Wilhelm Londoño Díaz
Universidad del Magdalena

Contenido - Contents

Artículos de investigación científica y tecnológica

Análisis morfométrico de poblaciones larvales de *Rhinella arenarum* (Anura: Bufonidae) provenientes de ambientes con distinto nivel de perturbación antropogénica

Morphometric analysis of *Rhinella arenarum* (Anura: Bufonidae) larvae populations from environments with different levels of anthropogenic disturbance

David H. Elías Panigo, Ma. del Rocío Fernández Bellone, Ma. Angelina Roggio, Fernando José Carezzano

9

Aves de la Universidad del Magdalena: análisis de la diversidad y actualización de registros

Birds of Universidad del Magdalena: analysis of diversity and records update

Diana Patricia Tamaris-Turizo y Tatiana L. Hernández-Palma

19

Uso de hábitat y análisis preliminar de la dieta del periquito bronceado *Brotogeris jugularis* en un paisaje rural del piedemonte llanero colombiano

Habitat use and preliminary analysis diet of the orange chinned parakeet *Brotogeris jugularis* (Müller, PLS, 1776) in a countryside of the Colombian Piedemonte

Paola Hernández-Avenidaño, Gersón Peñuela-Díaz y Juan E. Carvajal-Cogollo

37

Composición florística y estructura de las especies de sombrero en los sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la subregión de los Montes de María, Bolívar-Colombia

Floristic composition and structure of shade species in cacao agroforestry systems (*Theobroma cacao* L.) in Montes de María subregion, Bolívar-Colombia

Darwin J. Ebratt-Matute

47

Composición mineralógica de algunos suelos del norte del departamento de Magdalena, Colombia

Mineralogical composition of some soils from the north of the department of Magdalena, Colombia

Sonia Aguirre, José Vásquez - Polo y Nelson Piraneque

61

Estado del recurso hídrico en el campus de la Universidad del Magdalena, Colombia

State of the water resource in the campus of the Universidad del Magdalena, Colombia

Sonia Aguirre, Milagros Carrillo, Isaac Romero y Nelson Piraneque

72

Evaluación del rendimiento de híbridos provenientes de líneas endocriadas de maíz criollo (*Zea mays*) del departamento del Magdalena, Caribe colombiano

Evaluation of the yield of hybrids of endogamous lines of local maize (*Zea mays*) from the Magdalena department, Colombian Caribbean

Andrés Clemente-Fuentes, Manuel Humberto Meneses-Hernández y Catherine Pardey-Rodríguez

88

Artículo de revisión

Uso del selenio en organismo acuáticos. Una revisión

Selenium use in aquatic organisms. A review

Jenny Hoya-Flórez, Ana Estrada-Posada y Jonny Yepes-Blandó

97

Eficiencia productiva en cerdos de levante alimentados con materias primas alternativas de países tropicales: Meta-análisis

Productive efficiency in raising pigs fed with alternative raw materials from tropical countries: Meta-analysis

*aneth Agudelo-Quintero * y Martha Mesa-Granda*

114

Los canales Zenúes en Colombia: un desaparecido en el territorio y un desconocido en el bolsillo

The Zenú channels in Colombia: a disappeared in the territory and a stranger in the pocket

César Aníbal Olmos-Severiche, Elvia María González-Agudelo, Fabio de Jesús Vélez-Macías y Néstor Jaime Aguirre-Ramírez

113

Análisis morfométrico de poblaciones larvales de *Rhinella arenarum* (Anura: Bufonidae) provenientes de ambientes con distinto nivel de perturbación antropogénica del centro de Argentina

Morphometric analysis of *Rhinella arenarum* (Anura: Bufonidae) larvae populations from environments with different levels of anthropogenic disturbance in central Argentina

David H. Elías Panigo , Ma. del Rocío Fernández Bellone , Ma. Angelina Roggio  y Fernando J. Carezzano* 

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina

Resumen

Se analizaron comparativamente variables corporales de dos poblaciones larvales de *Rhinella arenarum* provenientes de ambientes del centro de Argentina con distintos grados de perturbación antropogénica. Una se halla en hábitats cuasiprístinos (L1), mientras que la otra corresponde a un agroecosistema (L2). Se tomaron 13 variables morfométricas: largo total (TL), largo del cuerpo (BL), largo de la cola (TAL), altura máxima del cuerpo (BMH), alto máximo de la cola (MTH), alto del músculo de la cola (TMH), ancho máximo del cuerpo (BMW), ancho del músculo de la cola (TMW), distancia internarina (IND), distancia interocular interna (IO), diámetro del ojo (E), distancia ojo-narina (EN) y ancho del disco oral (OD), con las que se obtuvieron 11 índices corporales: IC01 (BL/BMW), IC02 (TMW/BMH), IC03 (TMH/TL), IC04 (BMH*BMW* BL), IC05 (OD/BMW), IC06 (MTH*TMW*TAL), IC07 (IC04+IC06), IC08 (IO/IND), IC09 (E*2/BMW), IC10 (EN/BL) e IC11 (IO/BMW). Los tres primeros asocian rasgos del uso de hábitat, desplazamiento y comportamiento antidepredatorio; del IC04 al IC07 relacionan la influencia de los anfibios en el flujo de materia y energía, y del IC08 al IC11 se refieren a rasgos morfológicos que determinan la dieta y percepción del medio. Para cada variable e índice corporal se realizó un análisis univariado que comprendió estimaciones de posición, dispersión y análisis de distribución. Con base en los resultados obtenidos, se infiere que hay diferencias estadísticamente significativas en seis variables corporales (IND, TMW, BMH, TMH, MTH y OD) y en siete índices (IC01, IC02, IC03, IC05, IC06, IC10 y IC11), lo que permite deducir que ejemplares del L2 influyen más que los de L1 en su hábitat. Por lo expuesto, es posible concluir que las presiones ambientales han llevado a las poblaciones analizadas a un desarrollo diferencial del estado larval, que se pone de manifiesto en cambios en las relaciones morfométricas y en el uso del hábitat.

Palabras clave: agroecosistema; contaminación; agroquímicos; renacuajos; índices corporales

Abstract

Body variables of two larval populations of *Rhinella arenarum* from different degrees of anthropogenic disturbance environments of central Argentina were comparatively analyzed. One populations inhabit in a quasi-pristine environment (L1), while the other comes from an agroecosystem (L2). Thirteen morphometric variables were taken, total length (TL), body length (BL), tail length (TAL), maximum body height (BMH), maximum tail height (MTH), tail muscle height (TMH), maximum body width (BMW), tail muscle width (TMW), internal distance (IND), internal interocular distance (IO), eye diameter (E), eye-nostril distance (EN) and oral disc width (OD). From these variables, the following eleven indexes were obtained, IC01 (BL / BMW), IC02 (TMW / BMH), IC03 (TMH / TL); IC04 (BMH * BMW * BL), IC05 (OD / BMW), IC06 (MTH * TMW * TAL), IC07 (IC04 + IC06), IC08 (IO / IND), IC09 (E * 2 / BMW), IC10 (EN / BL) and IC11 (IO / BMW). The first three indexes associate features such as habitat use, displacement, and anti-predatory behavior; IC04 to IC07 indexes relate the influence of amphibians on matter and energy flows, while IC08 to IC11 indexes relate morphological traits that determine diet and perception of the environment. For each variable and body index, a univariate analysis was performed showing the position estimates, dispersion, and distribution analysis. Significant differences in six body variables (IND, TMW, BMH, TMH, MTH and OD) and in seven indices (IC01, IC02, IC03, IC05, IC06, IC10 and IC11) were obtained, which allow to deduce that L2 specimens have more influence than L1 in their habitat. Based on the above, it is possible to conclude that environmental pressures caused a differential development of the larval populations that is evidenced in changes in morphometric relationships and in habitat use.

Key words: agroecosystem; pollution; agrochemicals, tadpoles; body indexes

*Autor de correspondencia: fernando.carezzano@unc.edu.ar

Editor: Juan E. Carvajal-Cogollo

Recibido: 29 de septiembre de 2021

Aceptado: 23 de marzo de 2022

Publicación en línea: 03 de junio de 2022

Citación: Elías Panigo D.H., Fernández Bellone M.R., Roggio, M.A. y Carezzano, F.J. 2022. Análisis morfométrico de poblaciones larvales de *Rhinella arenarum* (Anura: Bufonidae) provenientes de ambientes con distinto nivel de perturbación antropogénica del centro de Argentina. Intropica 17(1): 9. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.417>.

Introducción

Desde hace décadas, con el advenimiento de los cultivos transgénicos, la frontera agrícola en Argentina se ha ampliado notoriamente. Este crecimiento ha provocado una simplificación y fragmentación de los ecosistemas naturales, la expansión de los monocultivos, un aumento en el uso de agroquímicos y, por consiguiente, una notoria disminución de la biodiversidad. La presencia de estos compuestos ha sido demostrada en diversos estudios de los cursos de agua de la región pampeana argentina (Jergentz *et al.*, 2005; Marino y Ronco, 2005; Peruzzo *et al.*, 2008; Ensabella, 2008; De Gerónimo *et al.*, 2014).

En este sentido, en los últimos años, una creciente evidencia científica ha demostrado que las poblaciones silvestres de anfibios están siendo expuestas a numerosos contaminantes en concentraciones suficientes como para producir diversas alteraciones que afectan el crecimiento, el desarrollo y la reproducción de los organismos, con las implicancias ambientales que esto acarrea (Van der Oost *et al.*, 2003; Mills y Chichester, 2005; Lajmanovich *et al.*, 2012).

Los anfibios desempeñan un papel fundamental en los ecosistemas ya que llevan a cabo controles biológicos de plagas y enfermedades agrícolas, mejoran el reciclado de nutrientes, optimizan el flujo de energía al ser altamente eficientes en la conversión de biomasa y constituyen la mayor fuente de energía de otros vertebrados (Stebbins y Cohen, 1995; Lips *et al.*, 1999). Además, por su sensibilidad frente a los cambios estructurales en el hábitat, se consideran excelentes bioindicadores de la calidad ambiental de ecosistemas tanto acuáticos como terrestres (Silva Rodríguez *et al.*, 2017). Dicha sensibilidad se debe a que tienen un ciclo de vida que implica dos etapas, una en el agua y la otra en la tierra, de forma que desarrollan su ciclo reproductivo en cuerpos de agua, donde sus larvas eclosionan y crecen hasta metamorfosear, para continuar su vida como adultos en la tierra. Este ciclo de vida doble implicó muchos cambios adaptativos tanto morfológicos como fisiológicos y comportamentales. La forma corporal, la disposición del esqueleto y músculos, la apariencia y función de las extremidades, la manera de movilizarse y la dieta son algunas de tales modificaciones que se pueden nombrar (Duellman y Trueb, 1994; Wells, 2007).

El centro de Argentina se caracteriza por presentar extensos humedales que albergan una gran variedad de especies y que coexisten con importantes agroecosistemas (Di Tada y Bucher, 1996). Sin embargo, esta región está siendo severamente afectada en cuanto a su biodiversidad debido a que las

actividades agrícolas la están fragmentando (Cabido, 2008; Urquiza y Carezzano, 2013). Asimismo, merece destacarse que la calidad de vida de los asentamientos urbanos próximos a estos sistemas depende en gran parte del tratamiento que reciben los recursos naturales de estos ecosistemas.

Las larvas de *Rhinella arenarum* (Hensel, 1867) (Anura: Bufonidae) presentan hábitos bentónicos, viven en el fondo de los espejos de agua de baja profundidad, consumiendo preferentemente algas (Duport Bru, 2020), las que se sabe abundan en ambientes con altos niveles de nitrógeno o fósforo (Blanco *et al.*, 2004; Díaz Quirós y Rivera Rondón, 2004), componentes principales de los agroquímicos utilizados en los cultivos, y a la acumulación de materia orgánica en el agua. La disponibilidad de alimento puede tener consecuencias poblacionales a corto y largo plazo, ya que una cantidad y calidad de alimento por debajo del valor óptimo pueden influir de manera significativa en el tiempo de metamorfosis y en el tamaño de las larvas (Altig *et al.*, 2007), afectando de este modo las principales interacciones biológicas como la competencia y la depredación (Kupferberg, 1997). En este sentido, Bionda *et al.* (2011) registraron que larvas de *R. arenarum* de ecosistemas agrícolas consumen menor cantidad de alimento, lo que se refleja en su condición corporal y en variables morfométricas. Babini *et al.* (2015), a su vez, señalan que poblaciones de larvas del mencionado anfibio, colectadas en ambientes de similares características a uno de los sitios de muestreo, están afectadas negativamente por la actividad agropecuaria, por lo que se observan individuos de talla pequeña, baja condición corporal e incluso anomalías en el disco oral. Por lo expuesto, en el presente trabajo se analizan variables corporales de dos poblaciones de *R. arenarum*, provenientes de ambientes con distintos grados de perturbación antropogénica, considerando que entre las poblaciones existirán diferencias significativas.

Materiales y métodos

El presente estudio fue realizado a partir de 96 larvas de *R. arenarum* pertenecientes a la Colección Herpetológica del Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Los ejemplares fueron recolectados en el mes de febrero del 2019 en dos localidades diferentes de la provincia de Córdoba, Argentina. Una, denominada L1, corresponde a un ambiente cuasi prístino (31°23'19" S, 64°35'57" O), en tanto que la otra, L2, se caracteriza por estar inmersa en una extensa área destinada a la producción agrícola (soja, maíz, trigo y ganado vacuno principalmente) desde hace casi un siglo (33°01'32" S,

63°33'07" O) (figura 1). Con el fin de conocer el nivel de antropización de cada sitio, se estimó el índice integrado relativo de antropización (INRA) (Martínez Dueñas, 2010). Es

importante señalar que, para poder realizar comparaciones válidas entre ambos sitios, solo se utilizaron ejemplares en el estadio 36 (Gosner, 1960)

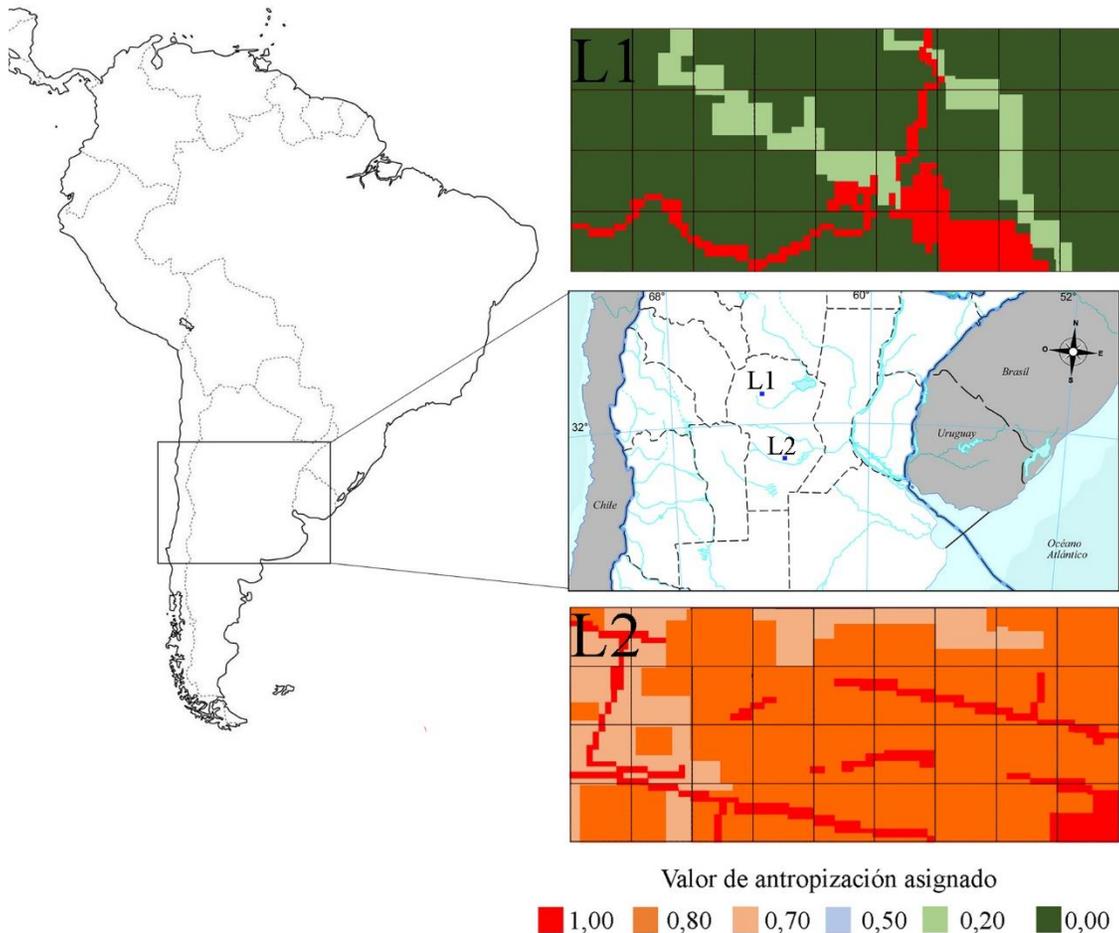


Figura 1. Sitios de muestreo de *R. arenarum*. L1. sitio de baja perturbación antrópica; L2. sitio de alta perturbación antrópica. En detalle las zonas de estudio con unidades de análisis para INRA. Cuadrícula 450 m²

En los renacuajos se tomaron trece variables morfométricas (Borteiro y Kolenc, 2007; Babini *et al.*, 2015): largo total (TL), largo del cuerpo (BL), largo de la cola (TAL), altura máxima del cuerpo (BMH), alto máximo de la cola (MTH), alto del músculo de la cola (TMH), ancho máximo del cuerpo (BMW), ancho del músculo de la cola (TMW), distancia internarina (IND), distancia interocular interna (IO), diámetro del ojo (E), distancia ojo-narina (EN) y ancho del disco oral (OD).

Para llevar a cabo la cuantificación de estas variables se tomaron fotografías con una cámara digital adosada a una lupa estereoscópica y luego, empleando el programa AxioVision 4.8, se determinó el valor de cada una. A partir de las variables mencionadas, se estimaron 11 índices corporales con el fin de poder establecer comparaciones válidas entre ambas

poblaciones. El conjunto de los índices propuestos es una manera de abordar la correlación emergente en el desarrollo de estructuras en el organismo (Aguilar y Gamarra, 2004; Severtsova *et al.*, 2012). La utilización de índices corporales se basa en que la relación entre las variables corporales puede verse afectada por cambios en la dieta y en los hábitos de vida y por el daño genético (Babini *et al.*, 2015).

Los índices corporales calculados fueron IC01 (BL/BMW): estima la compresión general del cuerpo, indicando si un cambio del largo total es acompañado proporcionalmente de una variación en el ancho; IC02 (TMW/BMH): señala si un ajuste proporcional del ancho del cuerpo está acompañado de un cambio en el ancho del máximo del cuerpo; IC03 (TMH/TL): orienta si un cambio proporcional del alto máximo del músculo de la cola está acompañado proporcionalmente de un cambio en el largo

total del cuerpo; IC04 (BMH*BMW* BL): determinación del volumen máximo del cuerpo en términos absolutos; IC05 (OD/BMW): permite establecer si el crecimiento total del cuerpo renacuajo se asocia con una mayor y mejor depredación; IC06 (MTH*TMW*TAL): volumen máximo de la cola, cuyas variaciones indican de manera indirecta una mayor cantidad de biomasa acumulada en la cola; IC07 (IC04 + IC06): volumen total máximo del renacuajo, el cual indica de manera indirecta una mayor cantidad de biomasa que conforma la totalidad del renacuajo; IC08 (IO/IND): indica un cambio en la distribución de órganos receptores dentro del cuerpo; IC09 (E*2/BMW): advierte si cambios en el ancho máximo del cuerpo están acompañados, proporcionalmente, de variaciones en la ubicación de los ojos; IC10 (EN/BL): permite asociar si cambios en el largo total del cuerpo están relacionados con modificaciones en cuanto a la disposición de las narinas, e IC11 (IO/BMW): sugiere si cambios en el ancho del cuerpo están acompañados proporcionalmente de un cambio en la disposición de los ojos en el cuerpo del renacuajo.

Los índices IC01, IC02 e IC03 asocian rasgos del uso de hábitat, el desplazamiento y el comportamiento antidepredatorio. IC04, IC05, IC06 e IC07 relacionan la influencia de los anfibios en el flujo de materia y energía en los ecosistemas a través de una estimación indirecta del stock de biomasa y la dieta. Finalmente, IC08, IC09, IC10 e IC11 refieren rasgos morfológicos que determinan la dieta y la percepción del medio de los renacuajos (Cortés *et al.*, 2016).

Para cada variable e índice corporal se realizó un análisis univariado que comprendió estimaciones de posición, dispersión y análisis de distribución. En primera instancia, se compararon medias o medianas, según correspondiese, entre los sitios; posteriormente se relacionaron las varianzas. En el

análisis de la distribución de las variables entre sitios, se analizó la posibilidad de que estas poseyeran distribución normal y, con base en los resultados de cada par de análisis, se determinó el cambio en la distribución entre los sitios (Mangeaud, 2018).

La herramienta estadística multivariada utilizada fue el análisis de componentes principales (PCA). Para este se realizaron dos estudios, uno con las variables corporales y otro con los índices corporales, para determinar las similitudes en la forma de los individuos provenientes de ambas localidades (Mangeaud, 2004). Se emplearon los programas estadísticos InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2020), R Core Team (2019) y SPSS 20 (2017). En todos los casos, el nivel de significación fue del 5 %.

Resultados

En la figura 1 se muestran los mapas de las zonas de estudio con las unidades de análisis a partir de las cuales se estimó el INRA respectivo. En la tabla 1 se indican los valores de antropización parciales y las coberturas correspondientes asignadas a las celdas de 45 m² que sirvieron de insumo para la cuantificación del INRA. El índice para L1 es de 0,13, en tanto que para L2 resultó ser de 0,80. Estos datos permiten aseverar que, en el segundo caso, la alteración antropogénica es significativa, lo que concuerda con la gran actividad agropecuaria que se viene desarrollando de modo intensivo en esa zona desde hace décadas. Esto implica no solo la modificación en el uso del suelo con la canalización y desecación de lagunas (Santinelli *et al.*, 2020), sino también la aplicación de diversos agroquímicos, como fertilizantes, herbicidas, fungicidas y demás plaguicidas, así como antibióticos y otros fármacos para el cuidado del ganado (Carezzano *et al.*, 2013).

Tabla 1. Valores de antropización parciales y coberturas correspondientes asignadas a las celdas de 45 m² que sirvieron de insumo para la cuantificación del INRA.

Categoría	Valor de antropización	Tipo de cobertura
A	1,00	Urbana (casas, rutas, caminos rurales)
B	0,80	Pastoreo (campos destinados al ganado, incluye las lagunas que se hallan en ellos)
C	0,70	Cultivos (campos destinados a cultivos, incluye las lagunas que se hallan en ellos)
D	0,50	Agua (ríos, arroyos, lagunas en un radio de 45 m de B o C)
E	0,20	Agua (ríos, arroyos, lagunas en un radio mayor de 45 m de B o C)
F	0,00	Bosques/pasturas naturales

La tabla 2 exhibe las estimaciones de posición y dispersión junto al detalle estadístico de cada variable e índice corporal estimado. En el análisis de los especímenes, se encontraron diferencias en las medidas de posición entre los sitios en seis variables (IND, TMW, BMH, TMH, MTH y OD) y en siete índices corporales (IC01, IC02, IC03, IC05, IC06, IC10, IC11). Al evaluar la variabilidad morfométrica, se encontró que seis

variables corporales (TL, BL, TAL, IO, BMW y BMH) y cuatro índices (IC04, IC06, IC07, e IC11) no presentaron homogeneidad de varianzas entre los sitios. También se observó la comparación entre sitios de la distribución, y se detectó un cambio en ocho variables corporales (TL, IO, EN, BMW, TMW, BMH, TMH y OD) y en dos índices (IC02, IC06), mientras que una variable corporal (MTH) arrojó un resultado inconcluso.

Tabla 2. Medidas resumen de las variables morfométricas de larvas de *R. arenarum* recolectadas en L1 y L2. El * indica aquellas variables o índices con diferencias estadísticamente significativas. TL, largo total; BL, largo del cuerpo; TAL, largo de la cola; IO, distancia interocular interna; EN, distancia ojo-narina; IND, distancia internarina; BMW, ancho máximo del cuerpo; TMW, ancho del músculo de la cola; E, diámetro del ojo; BMH, altura máxima del cuerpo; TMH, alto del músculo de la cola; MTH, alto máximo de la cola; OD, ancho del disco oral IC, índice corporal; P ± D.E, promedio y desvío estándar; M, mediana; D, diferencia porcentual entre medidas de posición; a diferencias a partir de la mediana; b diferencias a partir de la media; H. homogeneidad.

	L1 (n=50)		L2 (n=46)		D%	H
	P ± D.E.	M	P ± D.E.	M		
L	24,92 ± 3,22	24,66	25,26 ± 1,81	25,34	2,76a	No
BL	10,13 ± 1,28	10,06	10,43 ± 7,16	10,34	2,78a	No
TAL	14,79 ± 2,13	14,68	14,83 ± 1,31	14,77	0,61a	No
IO	1,90 ± 4,20	1,91	1,81 ± 0,22	1,76	-7,95a	No
EN	0,76 ± 0,12	0,74	0,73 ± 0,10	0,73	-1,35a	Sí
IND*	1,13 ± 0,14	1,11	1,03 ± 0,11	1,03	-7,21a	Sí
BMW	6,53 ± 0,72	6,71	6,60 ± 0,46	6,60	-1,64a	No
TMW*	1,30 ± 0,32	1,26	1,60 ± 0,24	1,54	22,22a	Sí
E	1,15 ± 0,20	1,12	1,18 ± 0,18	1,15	2,68a	Sí
BMH*	5,88 ± 0,78	5,84	5,26 ± 0,48	5,32	-8,90a	No
TMH*	1,86 ± 0,26	1,82	1,75 ± 0,24	1,71	-6,04a	Sí
MTH*	3,89 ± 1,09	4,20	4,73 ± 0,81	4,85	15,48a	Sí
OD*	2,20 ± 0,31	2,16	2,46 ± 0,24	2,50	11,82b	Sí
IC01*	1,55 ± 0,10	1,55	1,59 ± 0,08	1,59	2,58b	Sí
IC02*	0,69 ± 0,15	0,69	0,90 ± 0,13	0,91	30,43b	Sí
IC03*	0,15 ± 0,03	0,16	0,19 ± 0,03	0,19	18,75a	Sí
IC04	383,07 ± 127,37	370,97	364,3 ± 74,21	358,64	-3,32a	No
IC05*	0,34 ± 0,03	0,34	0,38 ± 0,04	0,38	11,76a	Sí
IC06*	81,48 ± 46,24	73,72	113,52 ± 34,11	112,81	53,0 a	No
IC07	464,54 ± 169,01	442,02	476,49 ± 100,88	476,15	7,72a	No
IC08	1,68 ± 0,31	1,71	1,73 ± 0,26	1,73	2,98b	Sí
IC09	0,35 ± 0,05	0,35	0,36 ± 0,06	0,36	2,86b	Sí
IC10*	0,08 ± 0,01	0,07	0,07 ± 0,01	0,07	-12,50b	Sí
IC11*	0,29 ± 0,04	0,28	0,27 ± 0,03	0,27	-3,57a	No

La figura 2 detalla el análisis de los dos primeros PCA. En ella se observa que la variabilidad explicada por estos es del 66 %, y se

identifican dos grupos bien diferenciados con escasa superposición..

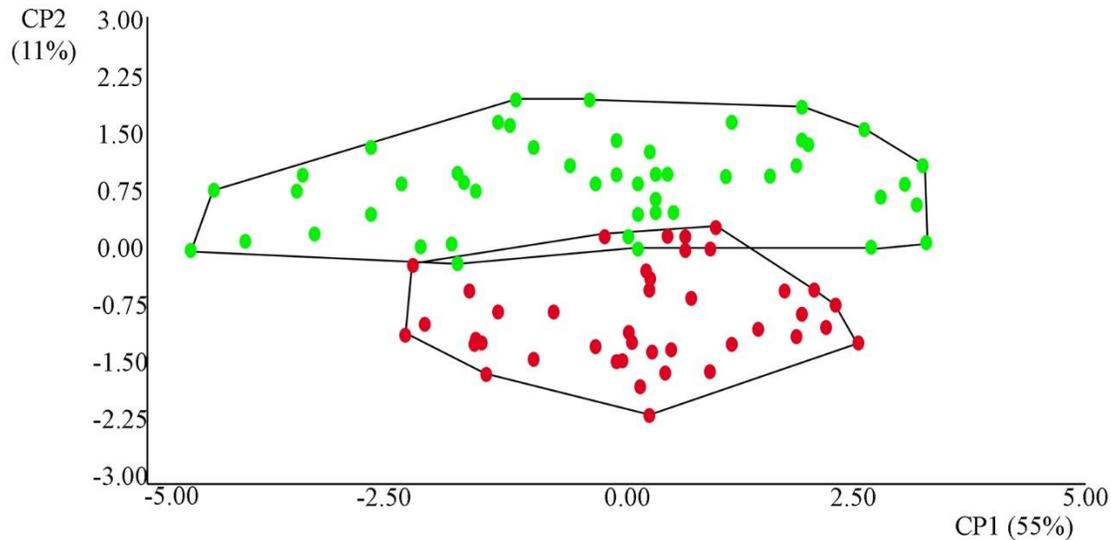


Figura 2. Análisis de Componentes Principales y contorno externo de los sitios L1 y L2. Segregación de los sitios de muestreo según las variables morfométricas analizadas de larvas de *R. arenarum*. En verde L1, en rojo L2.

Discusión

Evaluaciones sobre el impacto biológico de contaminantes han sido llevadas a cabo en un amplio rango de la diversidad biológica. En este sentido, y solo por citar algunos, Villarroel (2004) detectó alteraciones fisiológicas y de comportamiento filtrador por exposición a plaguicidas en *Daphnia magna*, Hued y Bistoni (2005) detallan cambios ecosistémicos en la distribución y la abundancia de peces como consecuencia del deterioro ambiental, y Gamboa y Reyes (2008) presentan un estudio sobre la calidad del agua y las modificación de las redes tróficas debido a la incorporación de fósforo y nitrógeno de manera exógena al sistema ecológico a partir del estudio de macroinvertebrados acuáticos de aguas dulces. En el caso particular de los anfibios, las alteraciones ecosistémicas de origen antropogénico que rodean a la agricultura impactan tanto en las poblaciones de los renacuajos como de los adultos, reduciendo la sobrevivencia, afectando parámetros de crecimiento y desarrollo, y modificando la estructura de la comunidad de anfibios. Estos efectos se deben al cambio de la dieta y en los hábitos de vida y al daño genético (Kupferberg *et al.*, 1994; Peltzer *et al.*, 2001; 2005; Hayes *et al.*, 2002; 2006; 2010; Agostini *et al.*, 2010; Carezzano y Cabrera, 2010; Bionda *et al.*, 2011; Lajmanovich *et al.*, 2012; Carezzano *et al.*, 2013; Babini *et al.*, 2015). Babini *et al.* (2015) y Bionda *et al.* (2011) señalan,

específicamente, que poblaciones de larvas de *R. arenarum*, recolectadas en ambientes de similares características y próximos al sitio L1, están afectadas negativamente por la actividad agropecuaria, presentando individuos de talla pequeña, baja condición corporal e incluso cambios en el disco oral.

Las diferencias estadísticamente significativas entre L1 y L2 se encuentran en variables que reflejan la interacción del individuo con su ambiente: IND, TMW, BMH, TMH, MTH y OD. Lo más llamativo al respecto es que TMW y MTH son mayores en L2 (22,22 % y 15,48 %, respectivamente) y a la vez se observa que ambas variables se distribuyen de modo diferente entre los sitios. Al respecto, Cortés *et al.* (2016) indican que el aumento de los valores observados en las larvas para TMW y MTH refleja una gran actividad de los renacuajos ya que esto se asocia de manera directa con la duración y el desplazamiento de los animales durante el forrajeo, así como permite mejores acciones de huida ante predadores. Otro aspecto que merece ser destacado son los valores de OD registrados en L2, mayores que los de L1 (11,82 % de variación estadísticamente significativa). Teniendo en cuenta que existe una marcada asociación entre el incremento del diámetro del disco oral y la amplitud del nicho alimentario, estos cambios morfológicos entre los sitios podrían estar respondiendo a alteraciones ambientales que llevarían a

los individuos de cada zona a presentar diferentes hábitos y, con ello, al desarrollo diferencial de morfologías, sugiriendo que los ejemplares de L2 son más activos y con una mayor amplitud trófica que aquellos de L1. En ese orden de ideas, los índices IC01, IC02 e IC03, que asocian rasgos en el uso de hábitat, el desplazamiento y el comportamiento antidepredatorio, reflejan diferencias estadísticamente significativas entre los sitios, siendo los de L2 mayores a los de L1, lo que sugiere que los individuos de L2 consumirían más biomasa, tendrían un metabolismo mayor y serían más escurridizos respecto a los de L1. En este aspecto se tienen puntos discordantes con Bionda *et al.* (2011), quienes al analizar larvas de *R. arenarum* de ecosistemas agrícolas señalan que estas consumen menor cantidad de alimento, por lo que presentarían menos biomasa y, en definitiva, tasas metabólicas más bajas. Esto revela que se deben profundizar estudios sobre esta temática, no solo en la mencionada especie, sino en otras simpátricas. Es interesante señalar que las dos poblaciones son estadísticamente iguales en variabilidad para los citados índices, y además para IC02 ocurre un cambio en la distribución entre los sitios, indicando que, según la forma en que son utilizados los recursos ambientales, la tasa metabólica y el comportamiento antipredatorio varían en cada localidad.

Los índices que relacionan la influencia de los anfibios en el flujo de materia y energía en los sistemas biológicos (IC04, IC05, IC06 e IC07) evidencian variaciones en tres casos, siendo iguales o mayores los registrados en L2. Esto permite inferir que los ejemplares de L2 influenciarían más en los humedales que los de L1 en su hábitat. Nuevamente, este es un resultado opuesto al detallado por Bionda *et al.* (2011), quienes citan que los ejemplares de los agroecosistemas tienen un menor metabolismo y tamaño por lo que influyen en menor medida en el ecosistema. Respecto a la variabilidad, los índices IC04, IC06 e IC07 manifiestan diferencias estadísticamente significativas entre las varianzas de los sitios de muestreo. Puntualmente, el índice IC07 refleja discrepancias en la distribución del estimador entre los sitios, lo cual indica no solo que los valores medianos son estadísticamente diferentes, sino que respecto al volumen corporal existe un cambio de distribución. De este modo se refuerza la idea de que estas poblaciones influyen de manera diferente en el flujo de materia y energía.

Los índices IC08, IC09, IC10 e IC11 se refieren a rasgos morfológicos que determinan la dieta y la percepción del medio de los renacuajos. En particular, IC10 e IC11 son estadísticamente diferentes respecto a las medidas de posición entre sitios. Esto lleva a interpretar que los ejemplares de L2

podrían alimentarse de presas más grandes y destinar una mayor cantidad de biomasa y espacio corporal a los órganos y estructuras sensoriales, lo cual también se encuentra en contraposición con los resultados de Kupferberg *et al.* (1994), quienes advierten un menor desarrollo del tamaño y de estructuras corporales generales en larvas pertenecientes a L2. En cuanto a la variabilidad, se encontraron diferencias significativas entre sitios para IC11, mientras que en la distribución entre sitios de estos cuatro índices no se reporta ninguna.

En una visión global de todas las variables morfométricas analizadas, en el análisis de componentes principales, los dos primeros ejes acumulan el 66 %. Esto permite inferir que la variabilidad general es diferente entre los sitios de muestreo, siendo mayor en L1 que en L2. Por su parte, la concordancia entre la estadística multivariada y los análisis uni y bivariados refuerza la idea de que entre los sitios de muestreo los individuos presentan diferencias morfológicas.

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que, entre las poblaciones de renacuajos de *R. arenarum* analizadas, hay diferencias estadísticamente significativas en las medidas de posición en seis variables corporales (IND, TMW, BMH, TMH, MTH y OD). Concretamente, TMW y MTH son notoriamente mayores en L2, a la vez que TMW se distribuye de modo diferente en los sitios. También se hallaron divergencias en siete índices corporales que permiten señalar que los ejemplares de L2 son más activos y presentan una mayor amplitud trófica, lo cual sugiere que consumen más biomasa, tienen un metabolismo mayor y son más escurridizos ante predadores que aquellos de L1. Se interpreta también que los ejemplares de L2 se alimentan de presas más grandes y destinan una mayor cantidad de biomasa y espacio corporal a los órganos y estructuras sensoriales. Todo esto permite deducir que los ejemplares de L2 influyen más que los de L1 en su hábitat.

Por lo expuesto, y a partir de la diferente variabilidad general observada entre las muestras de renacuajos de *R. arenarum*, es posible inferir que la magnitud de las presiones ambientales debidas a la acción antropogénica llevó a estas poblaciones a un desarrollo diferencial del estado larval, que pone de manifiesto cambios en las relaciones morfométricas y, por ende, en el uso del hábitat, tal vez bajo un proceso de acumulación de cambios genéticos y comportamentales.

Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional

de Córdoba por financiar el presente trabajo. Al Dr. Mario R. Cabrera, director del Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba por facilitar el acceso a los ejemplares analizados.

Referencias

- Agostini, M. G., Natale, G. S. y Ronco, A. E. 2010. Lethal and sublethal effects of cyperethrin to *Hypsiboas pulchellus* tadpoles. *Ecotoxicology* 19: 1545-1550. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10646-010-0539-3>.
- Aguilar C. y Gamarra R. 2004. Descripción de dos renacuajos y una clave para las larvas conocidas del grupo Bufo spinulosus (Anura: Bufonidae) de Perú. *Revista Peruana de Biología* 11 (1): 31-36. Doi: <https://doi.org/10.15381/rpb.v11i1.2429>.
- Altig, R., Whiles, M.R. y Taylor, C.L. 2007. What do tadpoles really eat? Assessing the trophic status of an understudied and imperiled group of consumers in freshwater habitats. *Freshwater Biology* 52: 386-395. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01694.x>.
- Babini, M. S., Bionda, C. L., Salas, N. E. y Martino, A. L. 2015. Health status of tadpoles and metamorphs of *Rhinella arenarum* (Anura, Bufonidae) that inhabit agroecosystems and its implications for land use. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 118: 118-125. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.04.017>.
- Bionda, C., Gari, N., Luque, E., Salas, N., Lajmanovich, R. y Martino, A. 2011. Ecología trófica en larvas de *Rhinella arenarum* (Anura: Bufonidae) en agroecosistemas y sus posibles implicaciones para la conservación. *Revista de Biología Tropical* 60 (2): 771-779.
- Blanco, S., Ector, L. y Becares, E. 2004. Epiphytic diatoms as water quality indicators in spanish shallow lakes. *Vie Milieu* 54: 71-79.
- Borteiro, C. y Kolenc, F. 2007. Redescription of the tadpoles of three species of frogs from Uruguay (Amphibia: Anura: Leiuperidae and Leptodactylidae) with notes on natural history. *Zootaxa* 1638: 1-20. Doi: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1638.1.1>
- Cabido, M. 2008. Impacto de la agricultura sobre la extensión, distribución y biodiversidad de ecosistemas naturales. En: Solbrig, O. y Adámoli, J. (coords.). Capítulo 7: *Agro y ambiente: una agenda compartida para el desarrollo sustentable*. Foro de la Cadena Agroindustrial Argentina, Buenos Aires.
- Carezzano, F. y Cabrera, M. 2010. Amphibia, Anura, Hylidae, *Scinax nasicus* (Cope, 1862): Distribution extensión. *Check List* 6 (3): 390-391. Doi: <https://doi.org/10.15560/6.3.390>.
- Carezzano, F., Urquiza, S., Dorflinger, K y Alonso, M. 2013. Morfohistología testicular de *Ceratophrys ornata* (Bell 1843) (Ceratophryidae: Anura: Amphibia). *Iheringia, Série Zoología* 103 (2): 190-194. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0073-47212013000200014>.
- Cortés, A.M., Ramírez Pinilla, M.P. y Urbina Cardona, N. 2016. Protocolo para la medición de rasgos funcionales en anfibios. En: Salgado Negret, B. Editores. *La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones*. Editorial Alexander von Humboldt, Bogotá.
- De Gerónimo, E., Aparicio, V.C., Bárbaro, S., Portocarrero, R., Jaime, S. y Costa, J.L. 2014. Presence of pesticides in surface water from four sub-basins in Argentina. *Chemosphere* 107: 423-431. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.01.039>.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C.W. 2020. *InfoStat versión 2020*. Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Di Tada, I. y Bucher, E. 1996. *Biodiversidad de la provincia de Córdoba. Vol.1, Fauna*. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Río Cuarto.
- Díaz Quirós, C. y Rivera Rondón, C. A. 2004. Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadoras de condiciones ambientales. *Caldasia* 26: 381-394.
- Duellman, W.R. y Trueb, L. 1994. *Biology of Amphibians*. The Johns Hopkins University Press, Londres y Baltimore.
- Duport Bru, A.S. 2020. *Rinella arenarum*. Sapo común, sapo argentino, sapo grande. *Universo Tucumano* 58: 1-20.
- Ensabella, B. 2008. El deterioro de los ecosistemas del norte cordobés y los límites de las economías campesinas. *Memorias Académicas. Mundo Agrario* 9 (17): 1-21.
- Gamboa M. y Reyes R. 2008. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental* 68 (2): 109-120.
- Gosner, K.L. 1960. A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on identification. *Herpetologica* 16: 183-190.

- Hayes, T. B., Case, P., Chui, S., Chung, D., Haeffele, C., Haston, K., Lee, M., Mai, V., Marjua, Y., Parker, J. y Tsui, M. 2006. Pesticide mixtures, endocrine disruption, and amphibian declines: are we underestimating the impact? *Environmental Health Perspectives* 114: 40-50. doi: <https://dx.doi.org/10.1289%2Fehp.8051>.
- Hayes, T. B., Collins, A., Lee, M., Mendoza, M., Noriega, N., Stuart, A. A. y Vonk, A. 2002. Hermaphroditic, demasculinized frogs after exposure to herbicide atrazine at low ecologically relevant doses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99 (8): 5476-5480. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.082121499>.
- Hayes, T. B., Falso, P., Gallipeau, S. y Stice, M. 2010. The cause of global amphibian declines: a developmental endocrinologist's perspective. *The Journal of Experimental Biology* 213: 921-933. Doi: <https://doi.org/10.1242/jeb.040865>.
- Hued, A. y Bistoni, M. 2005. Development and validation of a biotic index for evaluation of environmental quality in the central region of Argentina. *Hydrobiología* 543: 279-298. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10750-004-7893-1>.
- Jergentz, S., Mugni, H., Bonetto, C. y Schulz, R. 2005. Assessment of insecticide contamination in runoff and stream water of small agricultural streams in the main soybean area of Argentina. *Chemosphere* 61 (6): 817-826. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.04.036>.
- Kupferberg, S.J. 1997. The role of larval diet in anuran metamorphosis. *American Zoologist* 37: 146-159.
- Kupferberg, S.J., Marks J.C. y Power, M.E. 1994. Effects of variation in natural algal and detrital diets on larval anuran (*Hyla regilla*) life-history traits. *Copeia* 1994(2): 446-457. Doi: <https://doi.org/10.2307/1446992>.
- Lajmanovich, R., Peltzer, P., Attademo, A., Cabagna-Zenklusen, M.C. y Junges, C. 2012. Los agroquímicos y su impacto en los anfibios: un dilema de difícil solución. *Revista Química Viva* 3: 184-198.
- Lips, K., Reaser, J. K. y Young, B. E. 1999. El monitoreo de Anfibios en América Latina. Un manual para coordinar esfuerzos. Editorial The Nature Conservancy, Arlington.
- Mangeaud, A. 2004. La aplicación de técnicas de ordenación multivariadas en la Entomología. *Revista de Sociedad Entomológica Argentina* 63 (3-4): 1-10.
- Mangeaud, A. 2018. *Bioestadística I*. Editorial Imprenta Ingreso, Córdoba.
- Marino, D. y Ronco, A. 2005. Cypermethrin and chlorpyrifos concentration levels in surface water bodies of the Pampa Ondulada, Argentina. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 75 (4): 820-826. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00128-005-0824-7>.
- Martínez-Dueñas, W.A. 2010. INRA- índice integrado relativo de antropización: propuesta técnica-conceptual y aplicación. *Intropica* 5: 37-46. URL: <http://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/152>. Consultado: 25 junio 2021.
- Mills, L.J. y Chichester, C. 2005. Review of evidence: are endocrine-disrupting chemicals in the aquatic environment impacting fish populations? *Science of Total Environment* 343: 1-34. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.12.070>.
- Peltzer, P. M., Lajmanovich, R. C., Attademo, A. M. y Cejas, W. 2005. Diversidad y conservación de anuros en ecosistemas agrícolas de Argentina: implicancias en el control biológico de plagas. *INSUGEO* 14: 263-280.
- Peltzer, P. M., Ponsa, M. L. y Lajmanovich, R. C. 2001. Caso de malformación en *Leptodactylus mystacinus* (Anura, Leptodactylidae). *Natura Neotropicalis* 32 (2): 165-168.
- Peruzzo, P.J., Porta, A. y Ronco, A.E. 2008. Levels of glyphosate in surface waters, sediments and soils associated with direct sowing soybean cultivation in north pampasic region of Argentina. *Environmental Pollution* 156: 61-66. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.01.015>.
- R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. URL: <https://www.R-project.org/>. Consultado: 25 junio 2021.
- Santinelli, M., Doffo, N., Degiovanni, S., Echevarría, K. y Andreazzini, J. 2020. Cambios morfohidrológicos, inducidos por intervenciones antrópicas, en los sistemas lagunares de los bañados del Saladillo, Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 77 (1): 4-19. URL: <https://revista.geologica.org.ar/raga/article/view/24>. Consultado: 25 junio 2021.
- Severtsova, E., Agullón, D. y Severtsov, A. 2012. *Morphometry as a method of studying adaptive regulation of embryogenesis in polluted environments, embryogenesis*. Editorial Dr. Ken-Ichi Sato, Moscú.
- Silva Rodrigues, S.M., Ewbank, A.C., Strefezzi, R. de F., Alvarado,

- G., Sacristán, C., de Paula, C. D. y Catão-dias, J. L. 2017. Comparative leukocyte morphometric analysis between endemic anurans from Brazil and the invasive species *Lithobates catesbeianus*. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science* 54 (2): 159-167. Doi: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2017.121887>.
- SPSS 20. 2017. IBM Corp. *Released Statistics for Windows*. Version 25.0. Armonk.
- Stebbins, R.C. y Cohen N. W. 1995. *A natural history of amphibians*. Princeton University Press, New Jersey.
- Urquiza, S. y Carezzano, F. 2013. Anfibios de agroecosistemas de la Pampa del centro de Argentina. *Biocenosis* 27: 57-61 URL. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/60>
9. Consultado: 25 junio 2021.
- Van der Oost, R., Beyer, J. y Vermeulen, N.P. 2003. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 13: 57-149. Doi: [https://doi.org/10.1016/s1382-6689\(02\)00126-6](https://doi.org/10.1016/s1382-6689(02)00126-6).
- Villarroel, U. 2004. Alteraciones fisiológicas en el crustáceo *Daphnia magna* por exposición a plaguicidas. Tesis Doctoral. Facultat de Ciències Biològiques, Universitat de València, Valencia.
- Wells, K.D. 2007. *The Ecology and Behavior of Amphibians*. Editorial The University of Chicago Press. Chicago y Londres.

Aves de la Universidad del Magdalena: análisis de la diversidad y actualización de registros

Birds of Universidad del Magdalena: analysis of diversity and records update

Diana Patricia Tamaris-Turizo  y Tatiana L. Hernández-Palma* 

Grupo de Investigación Biodiversidad y Ecología Aplicada, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia

Resumen

Las aves son un grupo muy diverso especialmente en países del neotrópico donde desempeñan diversas funciones ecológicas de importancia para el soporte de los ecosistemas. Con el fin de describir atributos de la diversidad en una comunidad de aves y actualizar el registro de las especies se realizaron muestreos entre octubre de 2017 y diciembre de 2018 mediante transectos libres en el interior de un fragmento de bosque seco y en zonas adyacentes como áreas de cultivo y estanques piscícolas del campus principal de la Universidad del Magdalena. Cada especie tuvo una categoría según la frecuencia de registro (muy común, común, poco común, rara) y su estatus (residente, transitoria, migratoria). Durante el estudio registramos 1889 individuos pertenecientes a 87 especies y 32 familias, siendo Tyrannidae la más representativa, no obstante, la actualización del listado incluye 92 especies. En general las aves fueron poco comunes indistintamente de su estatus. En el bosque y sus alrededores se observaron 20 especies migratorias siendo *Setophaga petechia* la más común. El listado actualizado de la avifauna incluye 12 nuevos registros que enriquecen los valores de diversidad y reflejan los cambios de esta comunidad durante 13 años. Concluimos que la presencia de un fragmento de bosque seco tropical, sumado a otros elementos del paisaje como cultivos y estanques son importantes en el establecimiento de aves locales y migratorias, pues en ellos se encuentran variedad de recursos como alimentos y sitios de refugio, descanso y reproducción, lo cuales contribuyen con la conservación de estas poblaciones.

Palabras clave: diversidad de aves; bosque seco tropical; vegetación urbana; fragmentos de bosque

Abstract

Birds are a vastly diverse group, particularly in neotropic countries where they perform several important functions supporting the ecosystems. In order to describe the diversity and attributes of the bird community and update the existing species registry, a census was carried out between October 2017 and December 2018. Free transects were laid in both, the interior and edge of a dry forest fragment, also in cultivated areas and fishponds on the main campus of the University of Magdalena. Data collection was conducted as follows: each bird species was assigned a category according to its frequency of registration (very common, common, uncommon, rare) as well as its mobility (resident, transitory, migratory). During the census we recorded 1,889 individuals belonging to 87 species and 32 families. The Tyrannidae were the most represented; however, the updated list includes 92 specimens. In general, birds were rare regardless of their mobility category. Twenty migratory species were observed in and around the forest, *Setophaga petechia* being the most common. The updated list of birdlife includes 12 new bird records that enrich the values of diversity and reflect the changes in this community over 13 years. We conclude that an urban dry forest fragment along with the adjacent elements of the landscape are important for birds shelter, due they contain a variety of resources such as food and resting and reproduction sites which contribute to the support of these populations.

Key words: bird diversity; tropical dry forest; urban vegetation; forest fragments

***Autor de correspondencia:**

tatianahernandezlp@unimagdalena.edu.co

Editor: Sergio Losada - Prado

Recibido: 28 de julio de 2021

Aceptado: 05 de mayo de 2022

Publicación en línea: 03 de junio de 2022

Citar como: Tamaris-Turizo, D.P. y Hernández-Palma, T.L.L.

2022. Aves de la Universidad del Magdalena: análisis de la diversidad y actualización de registros. Intropica 17(1): 19 -36.

Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.4224>

Introducción

Las aves constituyen uno de los grupos animales más diversos y carismáticos. Basados en estudios morfológicos y moleculares, se reconocen cerca de 10021 especies y más de 17000 subespecies en el mundo, de las cuales, alrededor de un 20 % se encuentran en entornos urbanos (Dickinson y Remsen, 2013; Aronson *et al.*, 2014; Dickinson y Christidis, 2014; Gill y Donsker, 2016). Si bien, la urbanización ha traído consigo la reducción de los hábitats naturales y por lo tanto la pérdida de biodiversidad, para algunas especies estas estructuras urbanas se han convertido en nuevos sitios de reproducción y fuente de recursos alimenticios, lo que les ha permitido colonizar estos entornos, siendo las aves la fauna más común dentro de ellos (Strohbach *et al.*, 2009; Isaksson, 2018).

En relación a la respuesta de la avifauna frente a la urbanización estas pueden clasificarse como “explotadoras urbanas” si dependen en gran medida de los recursos antropogénicos, como es el caso de la paloma común *Columba livia*, como “urbanamente adaptadas” si son oportunistas y pueden encontrarse en otro tipo de ambientes (McKinney, 2006), y como evitadoras urbanas si debido a sus rasgos ecológicos complejos como la baja dispersión, baja fecundidad, dietas específicas o comportamientos migratorios, pueden verse más afectadas por estos procesos, llegando incluso a desaparecer (McKinney, 2006; Isaksson, 2018). En general, muchas especies urbanas presentan un alto éxito ecológico, lo cual se ve reflejado en el tamaño de sus poblaciones (Tryjanowski *et al.*, 2020). Las adaptaciones comportamentales, son sin duda uno de los factores cruciales en el establecimiento en nuevos ambientes, pero también otras condiciones como la plasticidad fenotípica pueden ser determinantes (Minias *et al.*, 2017).

Se estima que para el 2050 la mayoría de la población mundial vivirá en áreas urbanas (Loss *et al.*, 2009), lo que incrementará los retos para conservar este grupo de fauna. Así mismo, la agudeza de estos estudios en áreas urbanas será cada vez mayor, teniendo en cuenta que es poco lo que se conoce sobre los elementos del hábitat que controlan la diversidad de estas zonas y que las ciudades son sistemas ecológicos difíciles de caracterizar por su constante expansión y por la mezcla de elementos naturales y sociales (Chace y Walsh, 2006; Kinzig *et al.*, 2005). A diario las aves urbanas se ven enfrentadas a retos que van incrementando conforme lo hace la urbanización, por lo que el éxito ecológico de muchas de estas especies no garantiza el mantenimiento de sus poblaciones. Algunos de estos retos que serán determinantes consisten en las modificaciones de las características del hábitat local, cambios

en los microclimas, pérdida de recursos alimenticios y el aumento de los depredadores y parásitos (Borgmann y Rodewald, 2005; Leston y Rodwald, 2006; Smith y Wachob, 2006). En Colombia, por ejemplo, se ha encontrado que uno de los mayores problemas es la poca oferta alimenticia por la introducción de árboles ornamentales e introducidos en remplazo de árboles nativos (Osorio-Olarte y Molina-Prieto, 2009).

Con relación a lo anterior, es difícil establecer un panorama general frente a cuáles grupos de aves son más sensibles o cuáles pueden adaptarse más rápidamente a estos cambios, debido a que los rasgos ecológicos y factores locales pueden variar notablemente, sin embargo, es importante establecer medidas generales que contribuyan a la conservación de la avifauna conforme va aumentando la urbanización (Faeth *et al.*, 2011).

En Colombia se registran más de 1900 especies de aves, de las cuales aproximadamente el 50 % se encuentran en la región Caribe, con un estimado de 917 especies (Bernal-González *et al.*, 2012; Avendaño *et al.*, 2017). No obstante, este valor de diversidad podría reducirse debido a los motores de transformación como la agricultura, ganadería, minería, urbanización, entre otros (MADS, 2014). En ecosistemas representativos del Caribe colombiano como los bosques secos tropicales se han registrado 224 especies de aves, una cifra elevada considerando el alto grado de fragmentación y relictualidad (>90 %) de estos ambientes a causa de la intervención humana (Pizano *et al.*, 2017). En comparación con otras regiones, solo el Valle del Magdalena supera esta cifra con 297 especies reportadas, y se convierte además en una de las regiones con mayor conocimiento de la avifauna de este tipo de ecosistemas (Losada-Prado y Molina-Martínez, 2011). Sin embargo, aún siguen siendo necesarios nuevos estudios ecológicos en las regiones que permitan evaluar el estado de estas poblaciones, especialmente frente a la amenaza que representa la pérdida de su hábitat.

En el área urbana de la ciudad de Santa Marta (departamento del Magdalena) no existe un reporte general del estado de la avifauna; hasta la fecha solo se encuentra una investigación realizada hace 13 años por Strewé *et al.* (2009) donde se registran las especies de aves presentes en el campus de la Universidad del Magdalena, ubicada en el perímetro urbano de la ciudad.

Gran parte del conocimiento actual sobre la avifauna de los bosques secos tropicales colombianos es producto de los

listados obtenidos en expediciones locales, aún quedan muchos vacíos en cuanto a la ecología de las especies presentes en estos ecosistemas (Gómez y Robinson, 2014). Algunos de estos trabajos se encuentran en los departamentos de La Guajira (Andrade y Mejía, 1988), Arauca (Sánchez-Clavijo, 2005; Tolima (Losado-Prado y Molina-Martínez, 2011) y Córdoba (Vergara-Paternina *et al.*, 2017).

Por su parte, la ecología de la avifauna urbana también es poco conocida, encontrándose la mayor parte de los trabajos en el hemisferio Norte y pocos en el neotrópico (Caula *et al.*, 2010). Actualmente existe un creciente interés en investigaciones de esta área, siendo las aves uno de los principales modelos de estudio considerando el importante papel que desempeñan como indicadores ambientales. En ellas, los cambios relacionados con la estructura de sus comunidades o sus comportamientos pueden responder particularmente a las alteraciones en el hábitat (Londoño-Betancourth, 2013; Sainz-Borgo, 2015). El objetivo de este trabajo fue analizar la composición y estructura de la comunidad de aves presentes en un fragmento de bosque seco tropical en la Universidad del Magdalena y sus alrededores, y actualizar los registros taxonómicos.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio fue realizado en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, ubicado en la ciudad de Santa Marta, Colombia (11°13'27.205" N, 74°11' 8.19" O). Este cuenta con 17 ha en la que se distinguen edificaciones, pastizales, áreas de cultivos, estanques piscícolas y un relicto de bosque seco tropical en regeneración que ocupa tres hectáreas (Saboyá-Acosta *et al.*, 2015; Aguirre *et al.*, 2019). El fragmento de bosque seco tropical se caracteriza por presentar un régimen de precipitaciones de tipo bimodal, con un promedio mensual de 578 mm y una temperatura media anual de 29°C (Rangel-Ch y Carvajal, 2012). En relación con su composición florística, se encuentra una vegetación con diversos hábitos de crecimiento perteneciente a 26 familias, siendo Fabaceae la mejor representada con 17 especies, seguida de Poaceae y Euphorbiaceae con 15 y 7 especies respectivamente (Barranco-Pérez *et al.*, 2016) (figura 1).

La heterogeneidad paisajística encontrada en este recinto soporta su importancia ecológica, teniendo en cuenta que la variedad de recursos provistos por el área garantiza la permanencia de distintos grupos animales (Nielsen *et al.*, 2014). Para el caso particular de las aves, la presencia de las zonas

verdes y los bosques urbanos constituyen ambientes propicios para la alimentación, el descanso y el anidamiento (Pollack *et al.*, 2018).

Muestreo de aves

Los muestreos se realizaron en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena entre octubre de 2017 y diciembre de 2018, durante este periodo se realizaron transectos libres con distancias entre los 215 y 400 metros en el interior del fragmento y sus alrededores, incluyendo las áreas de cultivos y bordes de los estanques piscícolas. En total fueron realizados 28 censos, sumando un esfuerzo de muestreo de 98 h/H, con la participación de dos investigadores. Cada semana se realizaron dos o tres muestreos, intercalando las jornadas de observación de la mañana (07:00 –11:00 horas) y de la tarde (16:00-18:00 horas). Durante los recorridos se identificaron las aves por observaciones directas o por cantos y se emplearon binoculares de aumento 8×40, así como las guías de aves colombianas de McMullan y Donegan (2018) y Ayerbe (2018).

Para complementar el registro de aves se instalaron tres redes de niebla (12× 2,5 m, 32 mm) entre las 07:00 y 10:00 horas, dedicando un esfuerzo de 9/horas/red/día. Estas fueron ubicadas en los bordes del fragmento de bosque donde predomina la vegetación arbustiva, y se instalaron una vez por semana, adicional a los días de muestreos por observación. En cada ejemplar capturado se tomaron datos de morfometría (longitud total, cuerda alar, longitud de cola, longitud del tarso, culmen total, ancho y alto del pico, peso), identificación de sexo, edad y observaciones generales como el estado del plumaje, presencia de ectoparásitos o posibles recapturas. Toda la información obtenida durante los censos fue consignada en una base de datos, donde además se incluyó para cada especie su estado de amenaza reportado por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2021), Libro Rojo de las Aves de Colombia (Renjifo *et al.*, 2016) y su estatus de acuerdo con las categorías propuestas (Lovette y Fitzpatrick, 2016).

Análisis de datos

Se determinó la riqueza y abundancia relativa de las especies registradas durante los censos visuales y mediante las capturas con redes de niebla. A partir de esto se realizó una curva de acumulación de especies con intervalos de confianza del 95 % empleando los estimadores no paramétricos Chao 1 y ACE basados en las abundancias (Moreno, 2001; Gotelli y Colwell, 2010). Este análisis fue realizado en el programa EstimateS versión 9.0.



Figura 1. Interior del fragmento de bosque seco tropical ubicado en Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena.

De acuerdo con su estatus, las especies encontradas fueron categorizadas como residentes, transitorias y migratorias. Como residentes se clasifican aquellas aves que permanecen durante todo el año en el lugar de estudio y cuyos eventos reproductivos acontecen en el mismo (Hernández *et al.*, 2015; Winkler *et al.*, 2014); como transitorias aquellas que se mueven de manera irregular, respondiendo generalmente a la oferta alimenticia o a la variación de las condiciones ambientales (Winkler *et al.*, 2014). Este conjunto de aves puede ser observadas varias veces al año en el área de muestreo durante períodos relativamente cortos e incluso pueden tener poblaciones reproductivas en la región (Resnatur *et al.*, 2004; Albert *et al.*, 2018). Por su parte, las aves migratorias son aquellas que presentan movimientos regulares y estacionales de una localidad geográfica a otra (particularmente desde zonas boreales hacia países del Trópico) teniendo en consideración que sus sitios de anidamiento constituyen sus lugares de origen (Naranjo, 2004; Dingle, 2014).

Adicionalmente, se calculó la frecuencia de las especies con base en los días de observación siguiendo las categorías propuestas por Strewe *et al.* (2009) en el único trabajo publicado sobre la avifauna del campus. Las aves observadas fueron

designadas como "muy comunes" si estaban presentes en más del 90 % de los días de muestreo; "comunes" entre el 51 y el 89 %, "poco comunes" entre el 10 y 50 % de los días de observaciones y "raras" aquellas registradas en menos del 10 % del trabajo de campo. En el presente trabajo se genera además un listado taxonómico actualizado de la avifauna del campus universitario incluyendo nuevos registros obtenidos fuera del periodo de muestreo.

Resultados

A partir de los muestreos realizados se reportan un total de 92 especies de aves para el fragmento de bosque seco tropical de la Universidad y sus alrededores (tabla 1). Durante los conteos se obtuvo una riqueza absoluta de 87 especies, las cuales se distribuyen en 19 órdenes y 32 familias. De acuerdo con su estatus, 45 de éstas fueron residentes, 22 transitorias y 20 migratorias. Los índices de Chao 1 y ACE evidencian que el número de especies encontrado corresponden respectivamente al 82,24 y 80 % de la riqueza esperada, lo que representa una cifra significativa de la avifauna para el área de muestreo (figura 2)

Tabla 1. Listado de aves de la Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. Comparación de registros históricos 2007 -2008 (Strewe *et al.*, 2009) y actuales (2017-2018). Incluye el estatus del ave: M (migratoria), T (transitoria) y R (Residente). Las especies señaladas con * son nuevos registros para el área de estudio. La especie señalada con ** es el nuevo reporte de una especie endémica del norte de Colombia.

Familia	Especie	Histórico	Actual	Movilidad	
Anatidae	<i>Spatula discors</i>	x	x	M	
	<i>Spatula clypeata</i>	x	x	M	
Cracidae	<i>Ortalis garrula*</i>		x	T	
Odontophoridae	<i>Colinus cristatus littoralis</i>	x		R	
Podicipedidae	<i>Tachybaptus dominicus</i>	x	x	T	
Columbidae	<i>Columba livia</i>		x	R	
	<i>Columbina passerina</i>	x	x	R	
	<i>Columbina talpacoti</i>	x	x	R	
	<i>Columbina minuta*</i>		x	R	
	<i>Columbina squammata</i>	x	x	R	
	<i>Claravis pretiosa</i>	x		T	
	<i>Patagioenas corensis</i>	x		T	
	<i>Zenaida asiatica*</i>		x	T	
	<i>Zenaida auriculata</i>	x		T	
	<i>Leptotilla verreauxi</i>	x	x	R	
	Cuculidae	<i>Coccyzus americanus</i>	x	x	M
		<i>Coccyzus lasbergi</i>	x		T
		<i>Crotophaga major</i>	x		T
<i>Crotophaga ani</i>		x	x	R	
<i>Crotophaga sulcirostris</i>		x	x	R	
Caprimulgidae	<i>Chordeiles minor</i>	x		M	
	<i>Antrostomus carolinensis</i>	x		M	
	<i>Nyctidromus albicollis*</i>		x	T	
Apodidae	<i>Streptoprocne rutila</i>	x		T	
	<i>Streptoprocne zonaris</i>	x		T	
	<i>Chaetura pelagica</i>	x		M	
	<i>Chaetura brachyura</i>	x		T	
Trochilidae	<i>Florisuga mellivora</i>	x		T	
	<i>Glaucis hirsutus</i>	x		T	
	<i>Phaethornis anthophilus</i>	x		T	
	<i>Chrysolampis mosquitus</i>	x		T	
	<i>Anthracothorax nigricollis</i>	x		T	
	<i>Chlorostilbon gibsoni</i>	x	x	T	
	<i>Saucerottia saucerottei</i>	x		T	
	<i>Chlorostes cyaneus</i>	x		T	
	Rallidae	<i>Porzana albicollis</i>	x		T
<i>Porzana coralina</i>		x		M	
<i>Neocrex colombiana</i>		x		T	

Familia	Especie	Histórico	Actual	Movilidad	
Charadriidae	<i>Charadrius vociferus</i>	x		M	
	<i>Vanellus chilensis</i>	x	x	R	
Recurvirostridae	<i>Himantopus mexicanus</i>	x		T	
Burhinidae	<i>Burhinus bistriatus</i>	x		T	
Scolopacidae	<i>Gallinago delicata</i>	x		M	
	<i>Numenius phaeopus</i>	x		M	
	<i>Bartramia longicauda</i>	x		M	
	<i>Actitis macularius</i>	x		M	
	<i>Tringa melanoleuca</i>	x		M	
	<i>Tringa flavipes</i>	x		M	
	<i>Tringa solitaria</i>	x	x	M	
	<i>Calidris minutilla</i>	x		M	
	<i>Calidris bairdii</i>	x		M	
	<i>Calidris melanotos</i>	x		M	
	<i>Calidris himantopus</i>	x		M	
	<i>Tryngites subruficollis</i>	x		M	
	Jacanidae	<i>Jacana jacana</i>	x	x	R
	Laridae	<i>Hydropogone caspia</i>	x		M
Palacrocoracidae	<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	x	x	T	
Pelecanidae	<i>Pelecanus occidentalis*</i>	-	x	T	
Ardeidae	<i>Nycticorax nycticorax</i>	x		T	
	<i>Nyctanassa violacea</i>	x		T	
	<i>Butorides virescens</i>	x	x	R	
	<i>Butorides striata</i>	x	x	T	
	<i>Bubulcus ibis</i>	x	x	R	
	<i>Ardea herodias</i>	x	x	M	
	<i>Ardea alba</i>	x	x	R	
	<i>Egretta tricolor</i>	x		T	
	<i>Egretta thula</i>	x	x	R	
	<i>Egretta caerulea</i>	x	x	T	
	Threskiornithidae	<i>Plegadis falcinellus</i>	x		T
<i>Phimosus infuscatus*</i>			x	T	
Cathartidae	<i>Cathartes aura</i>	x	x	R	
	<i>Cathartes burrovianus</i>	x		T	
	<i>Coragyps atratus</i>	x	x	R	
Pandionidae	<i>Pandion haliaetus</i>	x		M	

Familia	Especie	Histórico	Actual	Movilidad
Accipitridae	<i>Elanus leucurus</i>	x	x	T
	<i>Gampsonyx swainsonii</i>	x	x	R
	<i>Rostrharnus sociabilis</i>	x		T
	<i>Ictinia mississippiensis</i>	x		M
	<i>Buteogallus anthracinus</i>	x		T
	<i>Buteogallus meridionalis</i>	x	x	T
	<i>Parabuteo unicinctus</i>	x	x	T
	<i>Rupornis magnirostris</i>	x		T
	<i>Buteo platypterus</i>	x		M
	<i>Buteo nitidus</i>	x		T
	<i>Buteo brachyurus</i>	x		T
	<i>Buteo albonotatus</i>	x		T
	Tytonidae	<i>Tyto alba</i>	x	
Strigidae	<i>Megascops choliba</i>	x		T
	<i>Bubo virginianus*</i>		x	T
	<i>Glaucidium brasilianum</i>	x	x	R
	<i>Asio clamator</i>	x		T
Alcedinidae	<i>Megaceryle torquata</i>	x	x	T
	<i>Megaceryle alcyon</i>	x		M
	<i>Chloroceryle amazona</i>	x	x	R
	<i>Chloroceryle americana</i>	x		T
Bucconidae	<i>Hypnellus ruficollis</i>	x	x	R
Picidae	<i>Melanerpes rubricapillus</i>	x	x	R
	<i>Colaptes punctigula*</i>		x	T
Falconidae	<i>Caracara cheriway</i>	x	x	R
	<i>Milvago chimachima</i>	x	x	R
	<i>Falco sparverius</i>	x	x	T
	<i>Falco columbarius</i>	x		M
	<i>Falco femoralis</i>	x		T
	<i>Falco peregrinus</i>	x		M
Psittacidae	<i>Ara militaris</i>	x		T
	<i>Eupsittula pertinax</i>	x	x	R
	<i>Forpus conspicillatus</i>	x		T
	<i>Brotogeris jugularis</i>	x	x	T
	<i>Pionus menstruus</i>	x		T
	<i>Amazona ochrocephala</i>	x	x	R
	<i>Amazona amazonica</i>	x	x	R
Thamnophilidae	<i>Formicivora grisea</i>	x		T
Furnariidae	<i>Furnarius leucopus</i>	x	x	R
	<i>Synallaxis albescens</i>	x		T
	<i>Dendroplex picus</i>	x	x	T

Familia	Especie	Histórico	Actual	Movilidad	
Tyrannidae	<i>Elaenia flavogaster</i>	x		T	
	<i>Elaenia parvirostris</i>	x		T	
	<i>Elaenia chiriquensis</i>	x		T	
	<i>Phaeomyias murina</i>	x		T	
	<i>Sublegatus arenarum</i>	x		T	
	<i>Todirostrum cinereum</i>	x	x	T	
	<i>Tolmomyias flaviventris</i>	x		T	
	<i>Empidonax virescens</i>	x		M	
	<i>Empidonax traillii</i>	x	x	M	
	<i>Empidonax alnorum</i>	x		M	
	<i>Contopus virens</i>	x		M	
	<i>Contopus cinereus</i>	x		T	
	<i>Pyrocephalus rubinus</i>	x	x	R	
	<i>Machetormis rixosa</i>	x	x	R	
	<i>Pitangus sulphuratus</i>	x	x	R	
	<i>Myiodynastes luteiventris</i>	x		M	
	<i>Myiozetetes cayanensis*</i>			x	R
	<i>Megarynchus pitangua</i>	x	x	R	
	<i>Tyrannus melancholicus</i>	x	x	R	
	<i>Tyrannus savana</i>	x	x	M	
	<i>Tyrannus tyrannus</i>	x	x	M	
	<i>Tyrannus dominicensis</i>	x	x	M	
	<i>Myiarchus crinitus</i>	x		M	
	<i>Myiarchus tuberculifer*</i>			x	R
	<i>Myiarchus tyrannulus</i>	x			T
	<i>Fluvicola pica*</i>			x	R
	Vireonidae	<i>Cyclarhis gujanensis</i>	x	x	R
		<i>Vireo olivaceus</i>	x	x	M
		<i>Vireo flavoviridis</i>	x		M
		<i>Vireo altiloquus</i>	x		M
Hirundinidae	<i>Progne tapera</i>	x	x	T	
	<i>Progne subis</i>	x		M	
	<i>Progne chalybea</i>	x		T	
	<i>Tachycineta bicolor</i>	x		M	
	<i>Riparia riparia</i>	x		M	
	<i>Hirundo rustica</i>	x		M	
	<i>Petrochelidon pyrrhonota</i>	x		M	
Troglodytidae	<i>Troglodytes aedon</i>	x	x	R	
	<i>Campylorhynchus nuchalis</i>	x		T	
	<i>Campylorhynchus griseus</i>	x	x	R	

Familia	Especie	Histórico	Actual	Movilidad
Turdidae	<i>Catharus fuscescens</i>	x		M
	<i>Catharus minimus</i>	x	x	M
	<i>Catharus ustulatus</i>	x	x	M
	<i>Turdus leucomelas</i>	x	x	R
Mimidae	<i>Mimus gilvus</i>	x		T
Passerellidae	<i>Arremonops conirostris</i>	x	x	T
Icteridae	<i>Icterus galbula</i>	x	x	M
	<i>Icterus nigrogularis</i>	x	x	R
	<i>Chrysomus icterocephalus</i>	x		R
	<i>Molothrus oryzivorus</i>	x		T
	<i>Molothrus bonariensis</i>	x	x	R
	<i>Quiscalus lugubris</i>	x	x	R
	<i>Quiscalus mexicanus</i>	x	x	R
	<i>Sturnella magna*</i>		x	T
	<i>Dolichonyx oryzivorus</i>	x	x	M
	<i>Leiothlypis peregrina</i>	x	x	M
Parulidae	<i>Setophaga pensylvanica</i>	x		M
	<i>Setophaga petechia</i>	x	x	M
	<i>Setophaga striata</i>	x		M
	<i>Setophaga castanea</i>	x		M
	<i>Setophaga fusca</i>	x		M
	<i>Setophaga magnolia</i>	x		M
	<i>Mniotilta varia</i>	x	x	M
	<i>Protonotaria citrea</i>	x	x	M
	<i>Parkesia noveboracensis</i>	x	x	M
	<i>Opornis agilis</i>	x		M
	<i>Geothlypis philadelphia</i>	x		M
	<i>Geothlypis trichas</i>	x		M
	Cardinalidae	<i>Piranga rubra</i>	x	x
<i>Piranga olivacea</i>		x		M
<i>Pheucticus ludovicianus</i>		x		M
<i>Cardinalis phoeniceus</i>		x		R
<i>Passerina caerulea</i>		x		M
<i>Passerina cyanea</i>		x		M
<i>Spiza americana</i>		x		M
Thraupidae	<i>Thraupis episcopus</i>	x	x	R
	<i>Saltator striatipectus</i>	x		T
	<i>Saltator coerulescens</i>	x	x	R
	<i>Sporophila intermedia</i>	x	x	R
	<i>Sporophila minuta</i>	x		R
	<i>Volatinia jacarina</i>	x	x	R
	<i>Sicalis flaveola</i>	x		T
	<i>Coryphospingus pileatus</i>	x		T

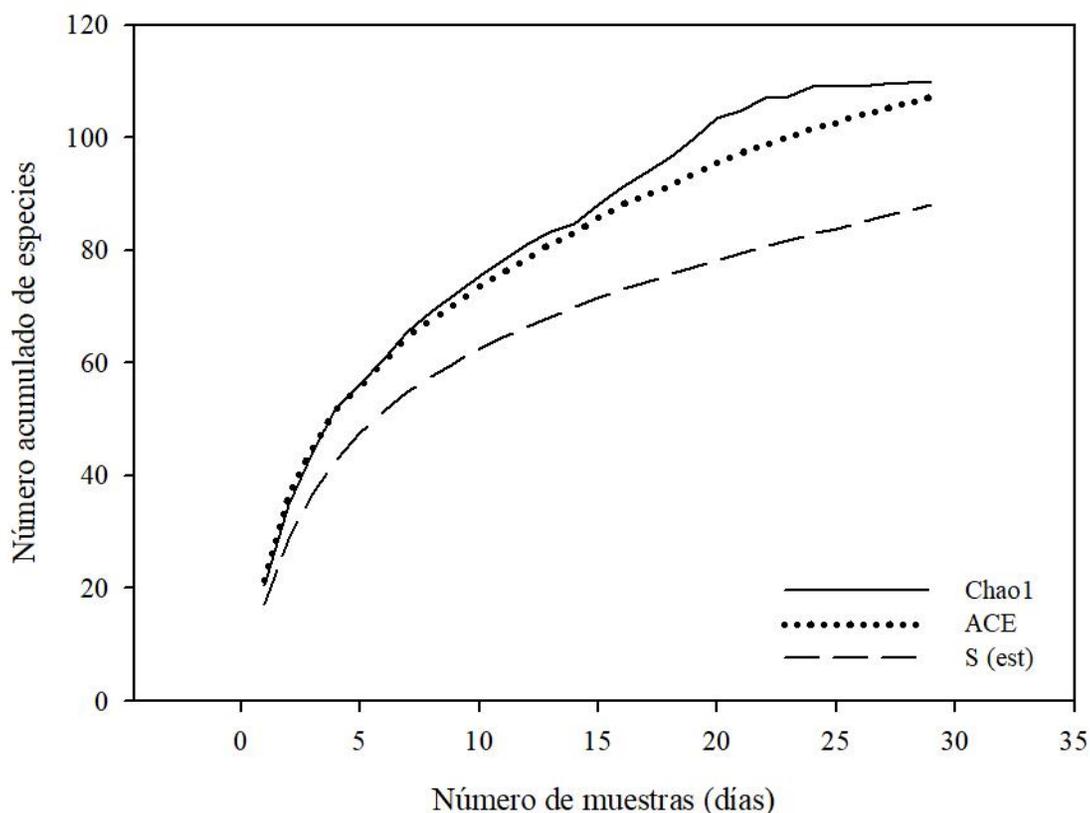


Figura 2. Número de especies observadas y estimadas en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, empleando los índices de Chao 1 y ACE con el 95% de confianza.

A nivel de orden las aves Passeriformes presentaron la mayor riqueza con 40 especies (45,97 % del total), seguida de Pelecaniformes con ocho representantes (9,19 %) y Columbiformes con siete (8,04 %) (Figura 3). Las familias con mayor número de especies fueron Tyrannidae con 14 (16,09 %), y Ardeidae, Columbidae e Icteridae, cada una con siete representantes, aportando individualmente el 8,04 % del total de la avifauna (Figura 4). En relación con las abundancias, fueron registrados 1889 individuos. El orden con mayor abundancia fue Passeriformes con 645 (34,14 % del total), seguido por Psittaciformes con 406 (21,49 %) y Columbiformes con 302 (15,98 %). Por su parte, *Eupsittula pertinax* (Psittacidae), *Columba livia* (Columbidae) y *Quiscalus lugubris* (Icteridae) fueron las especies más abundantes superando cada una la cifra de 90 individuos observados durante todas las jornadas de muestreo.

De acuerdo con la frecuencia de especies por días de observación, cuatro se categorizan como "muy comunes" (4,59 %), 20 como "comunes" (22,98 %), 35 como "poco comunes"

(40,22%) y 28 como "raras" (32,18%). Dentro de las aves residentes, *Icterus nigrogularis*, *Campylorhynchus griseus*, *Melanerpes rubricapillus* y *Columba livia* se encuentran en la categoría "muy común", siendo observadas en más de 25 días de muestreo; 18 especies son "comunes", 20 "poco comunes" y tres se categorizan como "raras". En cuanto a las transitorias, *Jacana jacana* se clasifica como "común", siete especies se ubican en el grupo de aves "poco comunes", y 14 en la categoría "rara" con menos del 10% de avistamientos en el total de 28 jornadas. Para el caso de las migratorias, *Setophaga petechia* fue la especie más observada (12 días), seguida por *Tyrannus dominicensis* con siete días, ubicándose en la categoría "poco común" junto a otras siete especies; las otras 11 migratorias reportadas se ubican en la categoría "rara", no superando observaciones mayores a tres días (figura 5). Cabe resaltar que todas las aves reportadas en el presente estudio no se encuentran en el Libro Rojo de Aves de Colombia (Renjifo *et al.*, 2016) y se consideran en Preocupación Menor (LC) de acuerdo con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2021).

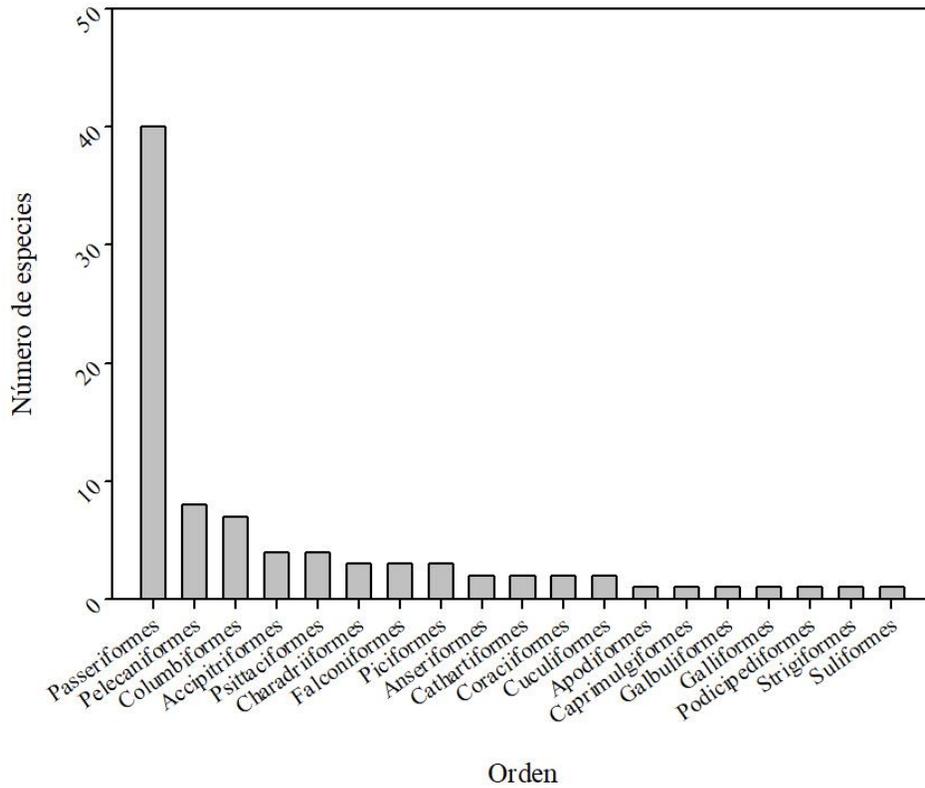


Figura 3. Riqueza de los órdenes de aves observadas en el bosque seco tropical de la Universidad del Magdalena y alrededores.

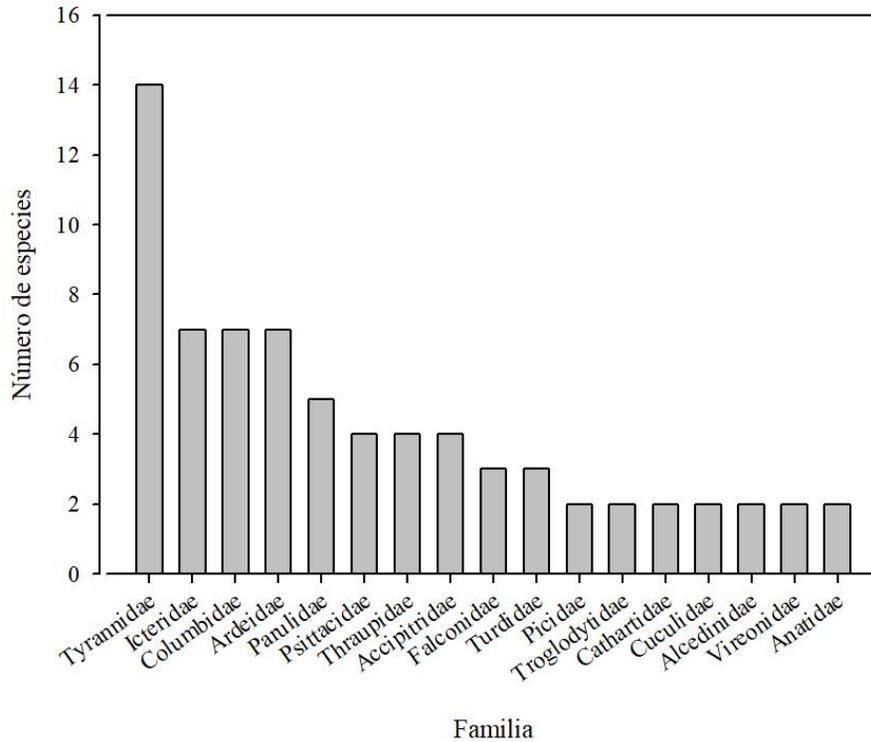


Figura 4. Riqueza de las familias de aves observadas en el bosque seco tropical de la Universidad del Magdalena y alrededores.

De acuerdo con la frecuencia de especies por días de observación, cuatro se categorizan como "muy comunes" (4,59 %), 20 como "comunes" (22,98 %), 35 como "poco comunes" (40,22 %) y 28 como "raras" (32,18 %). Dentro de las aves residentes, *Icterus nigrogularis*, *Campylorhynchus griseus*, *Melanerpes rubricapillus* y *Columba livia* se encuentran en la categoría "muy común", siendo observadas en más de 25 días de muestreo; 18 especies son "comunes", 20 "poco comunes" y tres se categorizan como "raras". En cuanto a las transitorias, *Jacana jacana* se clasifica como "común", siete especies se ubican en el grupo de aves "poco comunes", y 14 en la categoría "rara" con menos del 10 % de avistamientos en el total de 28

jornadas. Para el caso de las migratorias, *Setophaga petechia* fue la especie más observada (12 días), seguida por *Tyrannus dominicensis* con siete días, ubicándose en la categoría "poco común" junto a otras siete especies; las otras 11 migratorias reportadas se ubican en la categoría "rara", no superando observaciones mayores a tres días (figura 5). Cabe resaltar que todas las aves reportadas en el presente estudio no se encuentran en el Libro Rojo de Aves de Colombia (Renjifo *et al.*, 2016) y se consideran en Preocupación Menor (LC) de acuerdo con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2021).

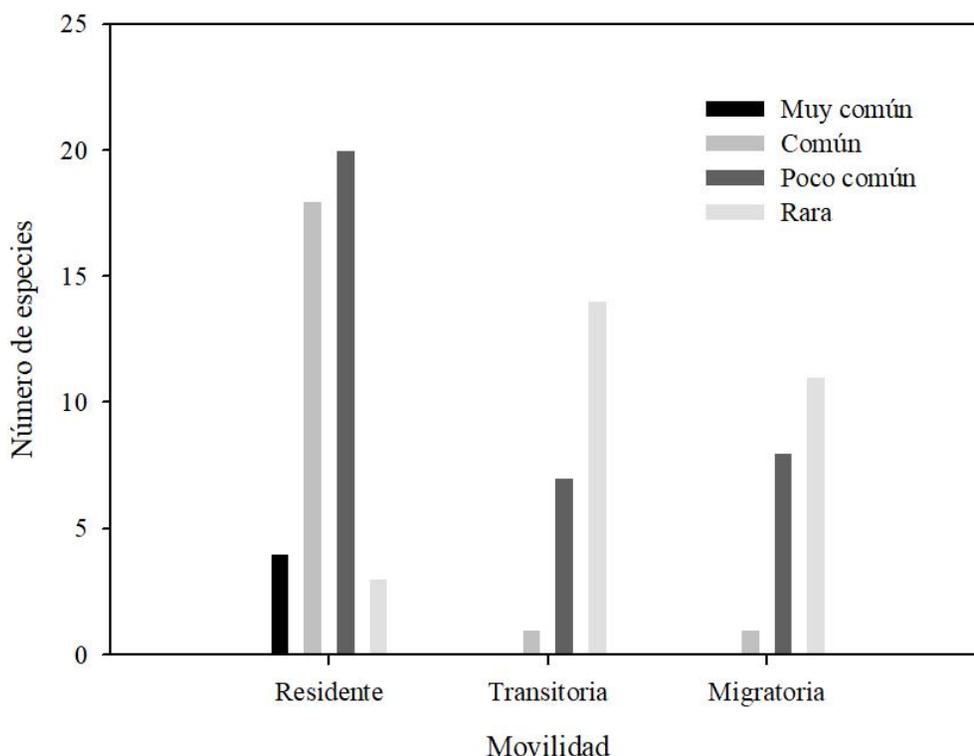


Figura 5. Riqueza de las aves observadas en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la Universidad del Magdalena, de acuerdo con su estatus y frecuencia de observaciones.

Nuestras observaciones permitieron incrementar el número de aves reportadas en la Universidad del Magdalena incluyendo 12 nuevos registros de especies residentes y transitorias. Además, se añade en el listado actual a la paloma común (*Columba livia*), una especie cosmopolita, ampliamente distribuida en todo el territorio colombiano, y con población abundante en el campus universitario. Dentro de los nuevos registros de aves transitorias encontramos a *Ortalis garrula* (Cracidae) endémica de zonas

bajas del Caribe colombiano; *Phimosus infuscatus* (Threskiornithidae), *Pelecanus occidentalis* (Pelecanidae), *Zenaida asiatica* (Columbidae), *Nyctidromus albicollis* (Caprimulgidae), *Colaptes punctigula* (Picidae), *Sturnella magna* (Icteridae) y *Bubo virginianus* (Strigidae). En cuanto a las aves residentes tenemos a *Myiozetetes cayanensis*, *Myiarchus tuberculifer* y *Fluvicola pica*, pertenecientes a la familia Tyrannidae y a la tortolita común (*Columbina minuta*) (tabla 1)

Discusión

La riqueza de aves de nuestro estudio refleja una cifra representativa de la diversidad de este grupo a escala local que alberga y frecuenta el campus universitario, especialmente al considerar que las coberturas vegetales, como los estanques piscícolas, los pastizales y el fragmento de bosque, están inmersos en una matriz urbana. La extrapolación de la riqueza basada en los estimadores Chao1 y ACE sugiere que hubo especies que no se detectaron dentro de nuestro censo debido a la rareza y la baja representatividad del número de individuos (Escalante-Espinosa, 2003), y en efecto se evidencia con las especies registradas fuera de las fechas de muestreo.

En general, pocas aves fueron comunes. Este atributo puede estar determinado por varios factores como por ejemplo la distribución geográfica restringida, reducción del hábitat óptimo, el alto grado de especialización o abundancias reducidas por la actividad humana (Rabinowitz *et al.*, 1986; Ceballos, 2001; Greenberg, 2016). No obstante, aunque se requiere un estudio específico en este entorno, en general, las aves residentes del bosque seco son especies generalistas adaptadas a las variaciones estacionales que no requieren muchas condiciones para establecer poblaciones (Gómez y Robinson, 2014). Lo anterior también nos ayuda a entender que algunas especies locales sean transitorias y se registren en bajas cantidades sólo en algunos periodos del año. Las aves migratorias tuvieron en su mayoría especies poco comunes. Los bosques secos del trópico son sistemas prioritarios para este conjunto de especies, permitiéndoles descansar y alimentarse después de viajar más de 3000 km sobre el Caribe y Centroamérica (Gómez y Bayly, 2010) no obstante, la reducción de este tipo de cobertura se ha relacionado con la disminución del hábitat donde frecuentan estas especies (Hutto 1989; Trejo y Dirzo, 2000; Bayly *et al.*, 2017). Dichas tendencias junto con otros factores intrínsecos a la fenología de migración de cada especie nos permiten asumir que las aves migratorias que llegan al fragmento de bosque seco de la universidad arriban en un reducido número de individuos.

La familia Tyrannidae fue la más representativa, coincidiendo así con otros estudios de comunidades de aves (Vergara Paternina *et al.*, 2017). Esta familia es la más diversa del orden Passeriformes en el neotrópico, ocupando diversos ecosistemas donde la mayoría se ha especializado en la captura de insectos y otras complementan la dieta con frutos, lo cual contribuye con la dispersión de semillas (Traylor, 1977; Cruz-Palacios *et al.*, 2011). La mayoría de estas especies presentan diferentes

estrategias de forrajeo, permitiéndoles aprovechar un sinnúmero de recursos tanto de las áreas abiertas como de bosque (Orians, 1969; Vereá *et al.*, 2000). Estas estrategias de forrajeo también pueden estar asociadas a la fitofisionomía del área, lo que podría conducir a la formación de distintos ensamblajes en diferentes zonas del bosque y sus alrededores (Fitzpatrick *et al.*, 2004; Rosa *et al.*, 2013). Un análisis enfocado principalmente a los grupos funcionales de esta familia y los diferentes usos del hábitat permitiría identificar especies potenciales que contribuyan a la reforestación del bosque seco tropical.

El campus universitario y la variedad de sus coberturas juegan un papel importante para la avifauna local y para las 87 especies de aves que representan el 38,83 % de las aves registradas en fragmentos de bosque seco de la región Caribe (Pizano, 2017). De acuerdo con Stotz *et al.* (1996) las aves que habitan el bosque seco generalmente no están especializadas a este tipo de bioma y pueden usar una variedad de ecosistemas como zonas abiertas, zonas de cultivo e incluso bosques húmedos y montanos a lo largo de los bosque secos de la planicie del Caribe, el valle del Magdalena, región Nor-Andina y Orinoquía, no obstante a pesar del amplio espectro de distribución que tienen las aves del bosque seco en el territorio nacional se considera que las comunidades de estos entornos sostienen una baja tasa de recambio (Gómez y Robinson, 2014) por el bajo grado de especialización y la alta capacidad de distribución de las aves (Fernandes- Castilheiro *et al.*, 2017) a través de los diferentes coberturas y tipos de ecosistemas en zonas bajas.

Las 45 especies residentes algunas de las cuales fueron las más abundantes (*Eupsittula pertinax*, *Columba livia*, *Quiscalus lugubris*), son aves que exhiben tolerancia y adaptaciones al entorno urbano e incluyen estrategias como tener amplia distribución, amplio rango en las áreas de reproducción, habilidad de utilizar los recursos que son abundantes en el entorno urbano, o ser generalistas en los hábitos de alimentación (Gill y Brumm, 2014). Particularmente la abundancia de la paloma común *Columba livia* obedece a su condición de especie introducida asociada en al entorno urbano, sin embargo, las especies residentes no abundantes son las que enfrentan el verdadero reto de los ambientes urbanizados como la escasez de alimento y sitios de reproducción debido a la pérdida de la vegetación (Gill y Brumm, 2014).

Nuestro estudio reporta de 20 especies migratorias en el fragmento de bosque seco de la Universidad del Magdalena,

riqueza que representan el 13% (n= 154) de las aves migratorias que llegan y/o transitan en Colombia (Naranjo et al., 2012), y el 46 % (n= 45) de las aves migratorias de registradas en la Sierra Nevada de Santa Marta (Gómez y Bayly, 2010). Cifra que también evidencia cuán importante puede ser un pequeño fragmento de vegetación (3 ha) inmerso en una matriz urbana para este grupo de especies provenientes del norte del continente americano. Los bosques de tierras bajas de Santa Marta son recursos críticos para las aves migratorias (Gómez y Bayly, 2010), pues proporcionan las primeras perchas para descansar y alimentarse después de un exigente vuelo (Bayly *et al.*, 2017) y forman parte de la conectividad migratoria de este conjunto de especies (Witynski y Bonter, 2018). *Setophaga petechia* fue la especie mayormente observada, en esta se ha documentado que la mayoría de los individuos cruzan el Golfo de México hacia América central completando su migración en el norte de Suramérica, localidades de centro y norte de Colombia sirven para que la especie pase el invierno antes de iniciar la migración de otoño (Witynski y Bonter, 2018).

El listado taxonómico obtenido representa el 49,46 % de las especies registradas por Strewé *et al.* (2009) (n= 186); no obstante este porcentaje de semejanza sería mayor excluyendo las aves en vuelo (n= 13) que reportó el mencionado autor. Al comparar sólo las aves residentes, la composición se asemeja en un 82% al trabajo de hace 12 años, y nuestros registros incrementan esta categoría de 38 a 46 especies.

Los nuevos registros de aves en el fragmento de vegetación y sus alrededores reflejan la importancia de los bosques y zonas verdes urbanas en la dinámica de las comunidades. En general, los movimientos de las aves pueden responder a múltiples aspectos ecológicos y comportamentales como forrajeo, reproducción y competencia, así como a cambios en su entorno producto de la fragmentación de hábitat y el cambio climático (Bogliani y Mellone, 2014). En este estudio la mayoría de los nuevos registros (91,6 %) fueron avistados en una única oportunidad, por lo que consideramos que este ecosistema funciona con un área de paso continuo de especies, donde pueden encontrar recursos necesarios para su alimentación y descanso durante el periodo de tránsito. En la medida que la disponibilidad de recursos es abundante y variada, algunas especies serán más avistadas (Bolger, 2001; Marzluff, 2001). Un ejemplo de ello es *Fluvicola pica*, quien fue observada en repetidas ocasiones dentro de la vegetación que crecía temporalmente en los cuerpos de agua.

Los hallazgos de nuestro estudio evidencian que el fragmento del bosque seco de la Universidad del Magdalena, sumado a los

demás elementos paisajísticos del campus benefician la diversidad de aves residentes y migratorias, y contribuyen con el soporte de poblaciones a escala local y regional. La heterogeneidad adyacente y la diversidad de la vegetación pueden ofrecer recursos como alimento, refugio y conectividad, y rigen la dinámica local de la comunidad de aves como se evidenció en los registros actualizados. Es recomendable una adecuada planificación de las ciudades para establecer zonas verdes con árboles nativos del bosque seco que favorezca el sostén de las poblaciones de aves y otros grupos de vida silvestre.

Agradecimientos

Esta investigación fue realizada en el marco del proyecto "Apropiación Social del Conocimiento y Generación de Contenidos Sobre la biodiversidad del Bosque Seco Tropical en la Universidad del Magdalena". Agradecemos a la Vicerrectoría de Investigación y a la Facultad de Ciencias Básicas por la financiación y apoyo logístico y al equipo de estudiantes Bosque Seco Unimagdalena.

Referencias

- Aguirre, S.E., Piraneque, N.V. y Díaz, C.J. 2019. Valoración del estado del suelo en zona de bosque seco tropical mediante técnicas analíticas y cromatogramas. *Información tecnológica* 30 (6): 337-350. Doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600337>.
- Albert, S., DeSante, D., Saracco, J. y Ruegg, K. 2018. El monitoreo de aves migratorias neotropicales en la temporada no reproductiva: éxitos, desafíos y nuevas iniciativas en el programa MoSi. *Zeledonia* 22 (2): 43-51.
- Andrade, G.I. y Mejía, C.A. 1988. Cambios estacionales en la distribución de la avifauna terrestre en el Parque Nacional Natural Macuira, Guajira, Colombia. Trianea: *Acta científica y Tecnológica INDERENA* 1: 145-169.
- Aronson, M.F.J., La Sorte, F.A., Nilon, C.H., Madhusudan, K., Goddard, M.A., Lepczyk, C.A., Warren, P.S., Williams, N., Cilliers, S., Clarkson, B., Cynnamon, D., Dolan, R., Hedblom, M., Klotz, S., Kooijmans, J.L., Kuhn, I., McGregors-Fors, I., McDonnell, M., Mörtberg, U., Pysek, P., Siebert, S., Sushinsky, J., Werner, P. y Winter, M. 2014. A global analysis of the impacts of urbanization on bird and plant diversity reveals key anthropogenic drivers. *Proceedings of Royal Society* 281 (1780): 20133330. Doi:

<https://doi.org/10.1098/rspb.2013.3330>.

Avendaño, J.E., Bohórquez, C.I., Rosselli, L., Arzuza-Buevas, D., Estela, F.A., Cuervo, A.M., Stiles, F.G. y Renjifo, L.M. 2017. Lista de chequeo de las aves de Colombia: Una síntesis del estado de conocimiento desde Hilty & Brown (1986). *Ornitología colombiana* 16 (eA01): 1-83.

Ayerbe, F. 2018. *Guía ilustrada de la avifauna colombiana*. Wildlife Conservation Society, Bogotá, Colombia.

Barranco-Pérez, W., Castellanos-Barliza, J., García-Quiñones, H. y Yepes-Rapelo, D. 2016. Flora de un fragmento urbano de bosque seco tropical. *Revista de la Facultad de Ciencias* 5(1): 141-147. Doi: <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v5n1>.

Bayly, N., Rosenberg, K., Easton, W., Gómez, C., Carlisle, J., Ewert, D. N., Drake, A. y Goodrich, L. 2017. Major stopover regions and migratory bottlenecks for Nearctic-neotropical landbirds within the Neotropics: A review. *Bird Conservation International* 28(1): 1–26. Doi: <https://doi.org/10.1017/S0959270917000296>.

Bernal-González, V.A., Paternina-Hernández, A., Carvajal-Cogollo, J.E., Rangel-Ch, J.O. y Ardila-Reyes, M.E. 2012. Riqueza de la avifauna del Caribe colombiano. En: Rangel-Ch, O., Editor. *Colombia Diversidad Biótica XII: La Región Caribe de Colombia*. Editorial Códice, Colombia.

Bogliani, G. y Mellone, U. 2014. Birds on the move: special column on bird movement. *Current Zoology* 60 (5): 602-603. <https://doi.org/10.1093/czoolo/60.5.602>.

Bolger, D.T. 2001. Urban birds: Population, community, and landscape approaches. En: Marzluff, J., Bowman, R. y Donnelly, R. Editores. *Avian ecology and conservation in an urbanizing world*. Kluwer Academic Publishers, Boston.

Borgmann, K.L. y Rodewald, A.D. 2005. Forest restoration in urbanizing landscapes: interactions between land uses and exotics shrubs. *Restoration Ecology* 13: 334-340. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2005.00042.x>.

Caula, S., Giner, S. y Nóbrega, J. 2010. Aves urbanas: un estudio comparativo en dos parches tropicales con diferente grado de intervención humana (Valencia, Venezuela). *Faraute de Ciencias y Tecnología* 5 (2): 3-13.

Ceballos, C. 2001. Especies raras, el conocimiento de la diversidad biológica y la conservación. CONABIO. *Biodiversitas* 38: 9-13.

Chace, J.F. y Walsh, J.J. 2006. Urban effects on native avifauna: a review. *Landscape and Urban Planning* 74: 46-69. Doi:

<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.08.007>.

Cruz-Palacios, M. T., Almazán-Núñez, R.C. y Bahena-Toribio, R. 2011. Distribución Geográfica y Ecológica de la Familia Tyrannidae (Aves: Passeriformes) en Guerrero, México. *Mesoamericana* 15(1): 15-24.

Dickinson, E. C. y Remsen, J.V. 2013. *The Howard and Moore complete checklist of the birds of the world*. Vol 1. Non-passerines. Aves Press, Eastbourne.

Dickinson, E.C. y Christidis, L. 2014. *The Howard and Moore complete checklist of the birds of the world*. Vol 2. Passerines. Aves Press, Eastbourne.

Dingle, H. 2014. *Migration – the biology of life on the move*. Oxford University Press, Croydon.

Escalante-Espinosa, T. 2003. ¿Cuántas especies hay? Los estimadores no paramétricos de Chao. *Elementos* 52: 53-56.

Evans, K.L., Chamberlain, D.E., Hatchwell, B.J., Gregory, R.D. y Gaston, K.J. 2011. What makes an urban bird? *Global Change Biology* 17: 32-44. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02247.x>.

Faeth, S.H., Bang, C. y Saari, S. 2011. Urban biodiversity: patterns and mechanisms. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1223: 69- 81. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05925.x>.

Fernandes-Castilheiro, W. F., do Santos-Filho, M., Flores de Oliveira, R. 2017. Beta diversity of birds (Passeriformes, Linnaeus, 1758) in Southern Amazon. *Ciência animal brasileira* 18:1-18. Doi: <https://doi.org/10.1590/1089-6891v18e-40703>.

Fitzpatrick, J., Bates, J., Bostwick, K., Caballero, I., Clock, B., Farnsworth, A., Hosner, P., Joseph, L., Langham, G., Lebbin, D., Mobley, J., Robbins, M., Scholes, E., Tello, J., Walther, B. y Zimmer, K. 2004. Family Tyrannidae. En: Del Hoyo, J., Elliot, A. y Christie, D. Editores. *Handbook of the birds of the world*. Lynx Editions, Barcelona.

Gatesire, T., Nsabimana, D., Nyiramana, A., Seburanga, J.L. y Mirville, M.O. 2014. Bird diversity and distribution in relation to urban landscape types in Northern Rwanda. *The Scientist World Journal* Doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/157824>.

B Gill D. y Brumm H. 2014. *Avian urban ecology Behavioural and physiological adaptations*. Oxford University Press. Oxford, UK.

Gill, F. y Donsker, D. 2016. IOC World Bird List (v 6.2). _URL_: www.worldbirdnames.org . Consultado: 13 de julio de 2020.

- Gómez, C. y Bayly, N.J. 2010. Cruzando el Caribe: Identificación de sitios de parada críticos para aves migratorias neotropicales en el norte de Colombia. Informe técnico del primer año No. CEC03. SELVA: Investigación para la conservación en el Neotrópico, Bogotá, Colombia.
- Gómez, J. y Robinson, S. 2014. Aves del bosque seco tropical de Colombia: Las comunidades del Valle Alto del Río Magdalena. En: Pizano, C. y García, H., Editores. *El bosque seco tropical en Colombia*. Bogotá, Colombia.
- Gotelli, N. J. y Colwell, R. K. 2010. Estimating species richness. En: Magurran, A. E. y McGill B.J., Editores. *Biological diversity: frontiers in measurement and assessment*. Oxford.
- Greenberg, R. S. 2016. Bird Communities. En: Lovette I. J y Fitzpatrick, J. W. Editores. *Handbook of Bird Ecology*. Wiley, Oxford.
- Hernández-C, O., Cardona-B, V., Montoya-V, P. 2015. Riqueza de especies de aves en el campus de la Universidad del Valle, once años después. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 7(1):25-34. Doi: <https://doi.org/10.24188/recia.v7.n1.2015.419>.
- Hutto, R. L. 1989. The effect of habitat alteration on migratory land birds in a west Mexican tropical deciduous forest: A conservation perspective. *Conservation biology* 3(2): 138-148. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1989.tb00066.x>.
- Isaksson, C. 2018. Impact of urbanization on birds. En: Tietze, D. Editor. *Fascinating Life Science*. Springer Chams, Suiza.
- Kinzig, A.P., Warren, P., Martin, C., Hope, D. y Katti, M. 2005. The effects of human socioeconomic status and cultural characteristics on urban patterns of biodiversity. *Ecology and Society* 10 (1): 23. Doi: <https://doi.org/10.5751/ES-01264-100123>.
- Leston, L.F.V. y Rodewald, A.D. 2006. Are urban forest ecological traps for understory birds? An examination using Northern Cardinals. *Biological Conservation* 131: 566-574. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.03.003>.
- Londoño-Betancourth, J. 2013. Discusiones sobre la presencia de aves rapaces, aves migratorias y aves bajo algún grado de amenaza en la ciudad de Pereira, Risaralda. *Luna Azul* 36:134-164.
- Losada-Prado, S. y Molina-Martínez, Y. 2011. Avifauna del bosque seco tropical en el departamento del Tolima (Colombia): análisis de comunidad. *Caldasia* 33 (1): 271-294.
- Loss, S.R., Ruiz, M.O. y Brawn, J.D. 2009. Relationships between avian diversity, neighborhood age, income, and environmental characteristics of an urban landscape. *Biological Conservation* 142 (11): 2578-2585. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.06.004>.
- Lovette, I.J. y Fitzpatrick, J.W. 2016. Why study birds? En: Lovette I.J. y Fitzpatrick, J.W. Editores. *Cornell Lab of Ornithology's Handbook of bird biology*. John Wiley & Sons, Ltd, Inglaterra.
- Marzluff, J.M. 2001. Worldwide urbanization and its effects on birds. En: Marzluff, J., Bowman, R. y Donnelly, R. Editores. *Avian ecology and conservation in an urbanizing world*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- McClanahan, T.R. y Wolfe, R.W. 1993. Accelerating forest succession in a fragmented landscape: the role of the birds and perches. *Conservation biology* 7 (2): 279-288. Doi: <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1993.07020279.x>.
- McKinney, M.L. 2006. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological conservation* 127 (3): 247-260. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.005>.
- McMullan, M. y Donegan, T. 2018. *Field guide to the birds of Colombia*. Rey-Naranjo, Bogotá, Colombia.
- Minias, P., Wlodarczyk, R., Minias, A. 2017. How birds colonize cities: genetic evidence from a common waterbird, the Eurasian coot. *Journal of Avian Biology* 48 (8): 1095-1103.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). 2014. Quinto informe nacional de biodiversidad de Colombia ante el convenio de diversidad biológica. Bogotá, Colombia.
- Moreno, C.E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe, UNESCO, Zaragoza, España.
- Naranjo, L.G. 2004. Las aves migratorias y la planificación del manejo de reservas naturales. En: FUDENA, APRINATURA, WWF, Red Colombiana de Reservas Naturales, The Nature Conservancy, Editores. *Áreas prioritarias para las aves migratorias en la cuenca del Orinoco*. Caracas, Venezuela.
- Naranjo, L. G., Amaya, J. D., Eusse-González, D. y Cifuentes-Sarmiento, Y. Editores. 2012. *Guía de las Especies Migratorias de la Biodiversidad en Colombia*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, WWF Colombia, Bogotá, Colombia.
- Nielsen, A., Van den Bosch, M., Maruthaveeran, S. y Konijnendijk, C. 2014. Species richness in urban parks and its drivers: A review of empirical evidence. *Urban Ecosystems* 17:305-327. Doi:

<https://doi.org/10.1007/s11252-013-0316-1>.

Orians, G.H. 1969. The number of bird species in some tropical forests. *Ecology* 50: 783–801.

Osorio-Olarte, J. y Molina-Prieto, L.F. 2009. A vuelo de pájaro: Las ciudades como refugio para las aves. *Revista Nodo7* (4): 47-58.

Parra, J. L., Sandoval-H, J., García, F. E., Cortés, M., Llano, L y T.R. Forrester. Instituto Alexander von Humboldt (IAvH). 2016. Lista de aves de fragmentos de bosque seco en la región del Caribe Colombiano. http://i2d.humboldt.org.co/ceiba/resource.do?r=le_caribe_aves_2015.

Pizano, C., González-M., R., Hernández-Jaramillo, A y García, H. 2017. *Biodiversidad en la práctica*. Instituto de Investigación Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.

Pollack, L., Rodríguez, E., Paredes, Y., Gutiérrez, J. y Mora, M. 2018. Aves silvestres asociadas a la flora urbana del distrito de Trujillo, Región la Libertad, Perú 2016-2017. *Arnaldoa* 25 (1): 241-272. Doi: <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.251.25114>.

Rabinowitz, D., Cairns, S. y Dillon, T. 1986. Seven forms of rarity and their frequency in the flora of the British Isles. En: Soulé, M. Editor. *Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity*. Sinauer Associates, Sunderland, MA.

Rangel-Ch, J.O. y Carvajal-C, J.E. 2012. Clima de la Región Caribe colombiana. En: Rangel-Ch, J.O., Editor. *Colombia Diversidad Biológica XII. La Región Caribe de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Ciencias Naturales, Bogotá, Colombia.

Red Colombiana de Reservas Naturales de la Sociedad Civil (Resnatur), Asociación para el Estudio y Conservación de las Aves Acuáticas en Colombia (Calidris) y Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF). 2004. *Manual para el monitoreo de aves migratorias*, Colombia.

Renjifo, L. M., Amaya-Villarreal, A. M., Burbano-Girón, J., y Velásquez-Tibatá, J., 2016. Libro rojo de aves de Colombia, Volumen II: Ecosistemas abiertos, secos, insulares, acuáticos continentales, marinos, tierras altas del Darién y Sierra Nevada de Santa Marta y bosques húmedos del centro, norte y oriente del país. Editorial Pontificia Universidad Javeriana e Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C., Colombia.

Rosa, G.L.M., Anjos, L. y Moura, M.O. 2013. Occupancy of different types of forest habitats by tyrant flycatchers (Passeriformes: Tyrannidae). *Biota Neotropica* 13(4):190-197.

Saboyá-Acosta, L. Montes-Correa, A., Vergara-Ríos, D., Ávila-Silva, Y., Jiménez-Bolaños, J. y Renjifo, J.M. 2015. Herpetofauna del campus de la Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. *Revista Biodiversidad Neotropical* 5(1): 54-63. Doi : <https://doi.org/10.18636/bioneotropical.v5i1.149> .

Sainz-Borgo, C. 2015. Estudio del ensamblaje de aves de un parche de bosque seco urbano en la ciudad de Caracas, Venezuela. *Acta biológica venezolana* 35 (1):47-60.

Sánchez-Clavijo, L.M. 2005. Estudio comparativo de la avifauna en tres remanentes de bosque seco tropical en el Valle del Río Magdalena: efectos del tamaño, el contexto de paisaje y la estacionalidad climática. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D.C.

Renjifo, L. M., Amaya-Villarreal, A. M., Burbano-Girón, J., y Velásquez-Tibatá, J., 2016. *Libro rojo de aves de Colombia, Volumen II: Ecosistemas abiertos, secos, insulares, acuáticos continentales, marinos, tierras altas del Darién y Sierra Nevada de Santa Marta y bosques húmedos del centro, norte y oriente del país*. Editorial Pontificia Universidad Javeriana e Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C., Colombia.

Rosa, G.L.M., Anjos, L. y Moura, M.O. 2013. Occupancy of different types of forest habitats by tyrant flycatchers (Passeriformes: Tyrannidae). *Biota Neotropica* 13(4):190-197.

Sekercioglu, Ç.H., Wenny, D.G., Whelan, C.J. y Floyd, C. 2016. Why Birds Matter: Bird ecosystem services that promote biodiversity and support human well-being. En: Şekercioglu, Ç.H., Wenny D.G. y Whelan, C.J., Editores. *Avian ecological function and ecosystem services*. The University of Chicago Press, Estados Unidos.

Smith, C.M. y Wachob, D.G. 2006. Trends associated with residential development in riparian breeding bird habitat along the Snake River in Jackson Hole, WY, USA: implications for conservation planning. *Biological conservation* 128: 431-446. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.10.008>.

Stotz, D. F., Fitzpatrick, J.W., Parker III, T.A., y Moskovitz, D.K. 1996. *Neotropical Birds: Ecology and Conservation*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, EE.UU.

Strewe, R., Villa-De León, C., Alzate, J., Beltrán, J., Moya, J., Navarro, C. y Utria, G. 2009. Las aves del campus de la Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. *Intropica* 4:79-91.

Strohbach, M.W., Haase, D. y Kabisch, N. 2009. Birds and the city: urban biodiversity, land use, and socioeconomics. *Ecology and*

Society 14 (2): 31. Doi: 10.5751/ES-03141-140231.

Traylor, M. A. 1977. A classification of the Tyrant Flycatchers (Tyrannidae). Bulletin of the Museum of Comparative Zoology 148: 129-184.

Trejo, I. y Dirzo, R. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biology conservation* 94: 133-142. Doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00188-3.

Tryjanowski, P., Morelli, F., Moller, P. 2020. Urban birds: Urban avoiders, urban adapters and urban exploiters. En: Douglas, I., Anderson, P.M.L., Goode, D., Houck, M., Maddox, D., Nagendra, H., Puay, T., Editores. *The Routledge Handbook of Urban Ecology*. Routledge Press, Londres.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). 2021. The IUCN Red List of Threatened Species. _URL:_ <https://www.iucnredlist.org/>. Consultado: 11 de junio 2021.

Verea, C., Fernández-Badillo, A. y Solorzano, A. 2000. Variación en la composición de las comunidades de aves de sotobosque

de dos bosques en el norte de Venezuela. *Ornitología neotropical* 11:65-79.

Vergara- Paternina, J. A., Ballesteros Correa, J., González Charrasqui, C. y Linares Arias, J.C. 2017. Diversidad de aves en fragmentos de bosque seco tropical en paisajes ganaderos del Departamento de Córdoba, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 65 (4): 1625 -1634. Doi: <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i4.26313> .

Winkler, D.W., Jørgensen, C., Both, C., Houston, A.I., McNamara, J.M., Levey, D.J., Partecke, J., Fudickar, A., Kacelnik, A., Roshier, D. y Piersma, T. 2014. Cues, strategies, and outcomes: how migrating vertebrates track environmental change. *Movement ecology* 2014 (2): 10. Doi: <https://doi.org/10.1186/2051-3933-2-10>.

Witynski, M.L. y Bonter, D.N. 2018. Crosswise migration by Yellow Warblers, Nearctic-neotropical passerine migrants. *Journal of Field Ornithology* 89 (1): 37-46. Doi: <https://doi.org/10.1186/2051-3933-2-10>.

Uso de hábitat y análisis preliminar de la dieta del periquito bronceado *Brotogeris jugularis* en un paisaje rural del piedemonte llanero colombiano

Habitat use and preliminary analysis of the diet of orange chinned parakeet *Brotogeris jugularis* in a rural landscape of the colombian llanos piedmont

Paola Hernández-Avendaño , Gersón Peñuela-Díaz  y Juan E. Carvajal-Cogollo * 

Grupo de investigación Biodiversidad y Conservación. Museo de Historia Natural "Luis Gonzalo Andrade". Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Boyacá, Colombia.

Resumen

La mayoría de los estudios ecológicos en psitácidos se han enfocado en especies que presentan una amplia distribución, pero se tiene poca información sobre la historia natural y los requerimientos ecológicos de especies pequeñas como las del género *Brotogeris*. La especie *Brotogeris jugularis* (Aves: Psittacidae) se enfrenta a amenazas de origen antropogénico directas como la caza ilegal para comercio o tenencia como mascota e indirectas como la pérdida y fragmentación de sus hábitats. Se evaluó el uso de hábitat y la dieta de *Brotogeris jugularis* en un paisaje rural del piedemonte llanero, Colombia. Se hicieron 35 transectos, distribuidos en cinco coberturas: bosque ripario, pastizal arbolado, tejido urbano, vegetación secundaria y mosaico de cultivos. Se registraron 114 individuos en cuatro de cinco coberturas; 15 en la época de sequía y 99 en la de lluvias. El bosque ripario mostró 55 individuos, seguido del tejido urbano con 41, mosaico de cultivos con 15 y el pastizal arbolado con 3 individuos. El uso y preferencia de hábitat diferencial en las unidades de muestreo fue congruente con los valores de abundancia por cada cobertura y se puede atribuir a la disponibilidad de recursos alimenticios. La dieta de la especie mostró preliminarmente, el uso de selectivo de variedades de frutales (e. g., *Mangifera indica*). Se muestra un avance en el conocimiento autoecológico de *Brotogeris jugularis*, que da cuenta de su condición generalista en la elección de los hábitats, mediada por una selección oportunista por aquellas coberturas que presentan mayor disponibilidad de recursos alimenticios, sean naturales o antropogénicas.

Palabras clave: uso de hábitat; recursos alimenticios; generalista; oportunista, cobertura del suelo; requerimientos ecológicos

Abstract

Most ecological studies on Psittacidae have focused on species with a wide distribution, but there is little information on the natural history and ecological requirements of small species such as those of the genus *Brotogeris*. The species *Brotogeris jugularis* (Aves: Psittacidae), faces threats of anthropogenic origin, direct threats such as illegal hunting for trade or pet ownership, and indirect threats such as habitat loss and fragmentation. We evaluated the habitat use and diet of *Brotogeris jugularis* in a rural landscape of the Piedemonte Llanero, Colombia. We made thirty-five transects, distributed in five coverages: riparian forest, wooded pasture, urban fabric, secondary vegetation and crop mosaic. We recorded a total of 114 individuals in four of the five coverages; 15 in the dry season and 99 in the rainy season. Riparian forest showed 55 individuals, followed by urban fabric with 41, crop mosaic with 15 and wooded pasture with three individuals. The differential habitat use and preference in the sampling units was congruent with the abundance values for each cover, these differences can be attributed to the availability of food resources. The diet of the species showed in a preliminary analysis, as the variety of fruit trees were used selectively (e.g. *Mangifera indica*). An advance in the autoecological knowledge of *Brotogeris jugularis* is shown, which shows its generalist condition in the choice of habitats, mediated by an opportunistic selection for those coverages that present greater availability of food resources, whether natural or anthropogenic.

Key words: habitat use; food resources; generalist; opportunist; ground coverage; ecological requirements

*Autor de correspondencia: juancarvajal@gmail.com

Editor: Diana Tamaris

Recibido: 19 de mayo de 2021

Aceptado: 24 de marzo de 2022

Publicación en línea: 07 de junio de 2022

Citar como: Hernández-Avendaño, P., Peñuela-Díaz, G. y Carvajal-Cogollo, J.E. 2022. Aves de la Universidad del Magdalena: análisis de la diversidad y actualización de registros. *Intropica* 17(1): 37-46. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.4071>

Introducción

La familia Psittacidae está conformada por especies que enfrentan múltiples amenazas de origen antropogénico. Entre las más relevantes se encuentran la degradación de sus hábitats (Rodríguez-Mahecha y Hernández-Camacho, 2002; Renjifo *et al.*, 2014) y la caza para comercio o tenencia en cautiverio como mascota (*e. g.*, especies de los géneros *Ara*, *Eupsittula* y *Brotogeris*, entre otros); (Restrepo-Rodas y Pulgarín-Restrepo, 2017). Esta familia se encuentra entre las aves más amenazadas, con un 31 % de las especies neotropicales con algún grado de amenaza (Berkunsky *et al.*, 2017). Todas las presiones antropogénicas que se dan sobre los psitácidos han ocasionado declives poblacionales en numerosas poblaciones neotropicales (Restrepo-Rodas y Pulgarín-Restrepo, 2017), sin importar si se trata de especies especialistas o generalistas en términos de uso del hábitat (Casagrande y Beissinger, 1997) y dieta (Soto Piñeiro y Bert, 2011), o si presentan una distribución geográfica reducida o más bien amplia (Berkunsky *et al.*, 2017).

Ante el riesgo de extinción que presentan las especies de la familia Psittacidae, la mayoría de estudios realizados se han enfocado en la evaluación de la distribución potencial y cambios en la disponibilidad de hábitat (Vílchez *et al.*, 2004; Ríos-Muñoz y Navarro-Sigüenza, 2009; Berkunsky *et al.*, 2017; Guevara y Delgado, 2021). Una elevada proporción de las investigaciones realizadas está centrada en especies altamente sensibles a los cambios en sus hábitats, lo que conlleva a vacíos de información para especies generalistas y de amplia distribución (Cantú *et al.*, 2007; Riveros-Torres *et al.*, 2021; Chonillo Villafuerte, 2021; Tabares-Castaño, 2021), tal como se observa para las especies del género *Brotogeris*.

Los periquitos del género *Brotogeris* se distribuyen exclusivamente en el neotrópico, siendo especies en su mayoría abundantes que ocurren en un amplio espectro de hábitats (Bates, 1998). Estos se alimentan principalmente de fruta, néctar y semillas (Roth, 1984; Pizo *et al.*, 1995) y actúan como polinizadores de algunas especies de la flora (Vicentini y Fischer, 1999). La disponibilidad de recursos alimenticios es uno de los principales factores que parecen afectar la abundancia local de estas aves (Bonadie y Bacon, 2000; Ragusa-Netto, 2006), ya que los individuos permanecen en un área determinada hasta que se agotan las fuentes de alimento más consumidas, lo que ocasiona que las especies del género *Brotogeris* realicen movimientos estacionales locales (Loiselle, 1988; Ragusa-Netto, 2005; Garcés, 2007).

Uno de los casos más llamativos sobre especies con fuertes

presiones pero que no se consideran bajo ninguna categoría de amenaza es el periquito bronceado *Brotogeris jugularis*, el cual se distribuye en tierras bajas de Centroamérica y el noroccidente de Suramérica (Collar *et al.*, 2020). En Colombia, suele encontrarse por debajo de los 1500 m de elevación (Hilty *et al.*, 1986; Del Hoyo *et al.*, 2014; Ayerbe-Quiñones, 2018), en las regiones del Pacífico, de los Andes y en el flanco occidente de la serranía del Perijá, en las cuencas altas de los ríos Nechí y Magdalena (Miller, 1947). En estas zonas los procesos de transformación de los hábitats y la alta demanda para tenencia como mascota son fuertes tensionantes sobre la abundancia de esta ave y seguramente sobre otras dinámicas ecológicas (Restrepo-Rodas y Pulgarín-Restrepo, 2017). Lamentablemente, se trata de una especie poco estudiada, por lo que hay una notoria carencia de información que pueda brindar alertas tempranas sobre posibles declives poblacionales o el deterioro excesivo de sus hábitats.

En este estudio se recopiló información sobre la ecología de *B. jugularis* y se aportó información sobre el uso de hábitat de la especie en el piedemonte llanero colombiano. Este trabajo tuvo como objetivos (i) documentar el uso general de hábitats de la especie en un paisaje rural y (ii) determinar de manera preliminar aspectos dietarios, así como sus picos de actividad a lo largo de un periodo anual. Los resultados obtenidos son discutidos en relación con sus potenciales implicaciones sobre el estado de conservación de la población local estudiada y la especie en general.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se desarrolló en un paisaje rural del piedemonte llanero en el municipio de Villavicencio, Colombia (N 04°08'35,2" W 073°40'03,2"), entre los 700 y 800 m de elevación (figura 1). El área se caracteriza por tener pendientes suaves y abruptas entre los 0-75° y una extensión aproximada de 2062,98 ha. Presenta una temperatura promedio anual de 27 °C y un promedio anual de lluvias de 3766 mm, con una media mensual de 313 mm (Minorta-Cely y Rangel-Ch, 2014). Las lluvias siguen un régimen de precipitación unimodal biestacional, donde se distingue una época de sequía de noviembre a marzo y una de lluvias de abril a octubre, siendo mayo-julio el periodo más lluvioso y noviembre-febrero el más seco (Minorta-Cely y Rangel-Ch, 2014).

El área de estudio se encuentra bajo la formación de bosque húmedo tropical (Holdridge, 1996), en una franja angosta entre el paisaje andino de la cordillera Oriental y las tierras bajas de la

Orinoquia colombiana (Rangel-Ch, 2015). En esta área se concentra una gran diversidad de especies de flora, que son potencialmente utilizadas como recurso alimentario por el periquito bronceado, principalmente de los géneros *Ruellia* (Acanthaceae), *Pera* (Euphorbiaceae), *Stylosanthes* (Fabaceae),

Sinningia (Gesneriaceae), *Heliconia* (Heliconiaceae), *Hyptis* (Labiatae), *Lantana* (Verbenaceae), *Clusia* (Clusiaceae), *Hirtella* (Chrysobalanaceae), *Davilla* (Dilleniaceae), *Siparuna* (Monimiaceae), *Piper* (Piperaceae), *Polygala* (Polygalaceae) y *Miconia* (Melastomataceae) (Rangel-Ch, 2015).

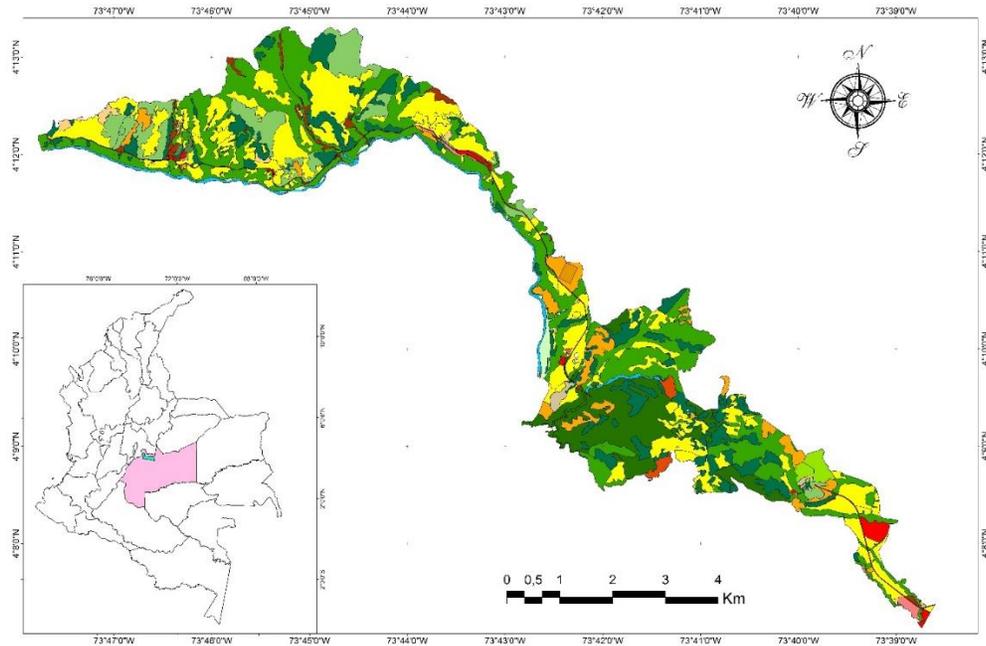


Figura 1. Ubicación del área de estudio en un paisaje rural del Piedemonte llanero, Villavicencio, Colombia.

Diseño de la investigación y muestreos

En el paisaje rural se escogieron cinco coberturas por su dominancia en el área: 1) bosque ripario (918,91 ha), caracterizado por vegetación arbórea de más de 8 m de altura y dosel semicerrado, alledaña a cuerpos de agua lóticos; 2) pastos arbolados (201,17 ha), con vegetación abierta y estructura simple, dedicados al pastoreo de ganado vacuno y caballar; 3) tejido urbano (48,10 ha), correspondiente a veredas y caseríos del área, sin una infraestructura urbana marcada; 4) vegetación secundaria (249,13 ha), comprendida por parches de bosque en un estadio sucesional avanzado, estratificados y con dosel cerrado y semicerrado, y 5) mosaico de cultivos (24,67 ha), que consistió en pequeños parches de sembradíos de pancoger (figura 2).

Se realizaron cuatro salidas de campo, con una duración de 15 días efectivos de muestreo: dos en la época de sequía (marzo y julio) y dos en época de lluvias (mayo y septiembre) de 2018. Se

instalaron 35 transectos de observación, distribuidos de a siete para cada tipo de cobertura vegetal, los cuales fueron visitados una vez por salida. Cada transecto representó la unidad de muestreo para la obtención de la información y tuvo una longitud que estuvo entre 1-2,5 km. Los transectos fueron recorridos por un investigador a una velocidad aproximada de 0,7-1,0 km/h.

La observación y el conteo de individuos se realizaron mediante técnicas de detección visual y auditiva estandarizadas para monitoreos de aves (Villarreal *et al.*, 2004). Los recorridos se efectuaron en las horas de mayor actividad de la especie, que generalmente son entre las 05:30 h y las 10:30 h y entre las 15:00 h y las 18:00 h (Ralph *et al.*, 1997). Una vez observados y contados los individuos, se detalló información adicional incluyendo: sexo de cada ave observada (cuando fue posible), cobertura vegetal ocupada, estrato de la vegetación donde se observó el individuo y datos generales de comportamiento y dieta.



Figura 2. Tipos de hábitat muestreados para la observación de para durante el estudio del Periquito bronceado (*Brotogeris jugularis*). A. Bosque ripario, B. Pastos arbolados, C. Tejido urbano, D. Vegetación secundaria y E. Mosaico de cultivos.

Análisis de datos

Se realizaron análisis descriptivos de la abundancia de la especie teniendo en cuenta el número de individuos observados en cada cobertura vegetal. Asimismo, se hicieron estimaciones para verificar si existían diferencias significativas entre estos registros a través de un análisis de la varianza (ANOSIM) en el programa PAST (Hammer *et al.*, 2001).

Para determinar el uso del hábitat, se consideró el número de individuos en cada una de las coberturas vegetales identificadas. Se aplicó el índice de Bonferroni con intervalos de confianza (Cherry, 1996) para ratificar el resultado de este, que varía de -1 a 1, e inferir si cada ave prefería, usaba o evitaba un

determinado hábitat y/o cobertura. Para esta interpretación se tuvieron en cuenta los intervalos de confianza inferior y superior, de manera que si el uso esperado presentaba un intervalo mayor, entonces se establecía que el ejemplar tenía preferencia, mientras que si el intervalo era menor, se concluía que evitaba. A su vez, el índice de Bonferroni se complementó con el cálculo del índice de preferencia de Jacobs (1974) (Montenegro y Acosta, 2008).

Para el cálculo a escala espacial de la amplitud de nicho con respecto al hábitat, se utilizó el índice estandarizado de Levins (BA) (Hurlbert, 1978): $BA = (B-1)/(n-1)$. B es el índice de amplitud de nicho de Levins ($B = 1/\sum p_i^2$), donde p_i corresponde a los tipos de hábitat que componen el espacio utilizado por la especie i .

De esta manera, un valor del índice estandarizado de Levins (BA) cercano a 0 sugiere una alta especialización por determinados hábitats, mientras que resultados cercanos a 1 corresponden a una utilización de hábitats generalista. Los valores por debajo de 0,6 fueron considerados como especialistas, de acuerdo con Krebs (1999). Estos análisis se hicieron en el programa HaviStat v2 (Montenegro y Acosta, 2008).

También se analizó el espectro dietario de la especie a través de estadísticos de tendencia central como media, mediana y moda, además de gráficos descriptivos como histogramas de frecuencias, con el fin de definir de manera preliminar aspectos de la dieta del periquito bronceado (como la preferencia por ciertas especies de flora).

Resultados

Se registraron 114 individuos: 15 en la época de sequía y 99 en la época de lluvias. Se identificaron en total 112 individuos y dos juveniles. Los individuos se observaron en grupos, tanto en vuelo como en plantas con disponibilidad de alimento, y a veces se detectaron más de 20 individuos en una misma planta. En algunas ocasiones los periquitos se encontraron en bandadas mixtas con el periquito aliazul (*Brotogeris cyanopectera*) (figura 3). Se evidenciaron dos picos de actividad: uno asociado a las primeras horas de la mañana (06:00 h y 07:00 h), con 44 individuos observados, y otro en las horas de la tarde (17:00 h a 18:00 h), con 70 individuos avistados.

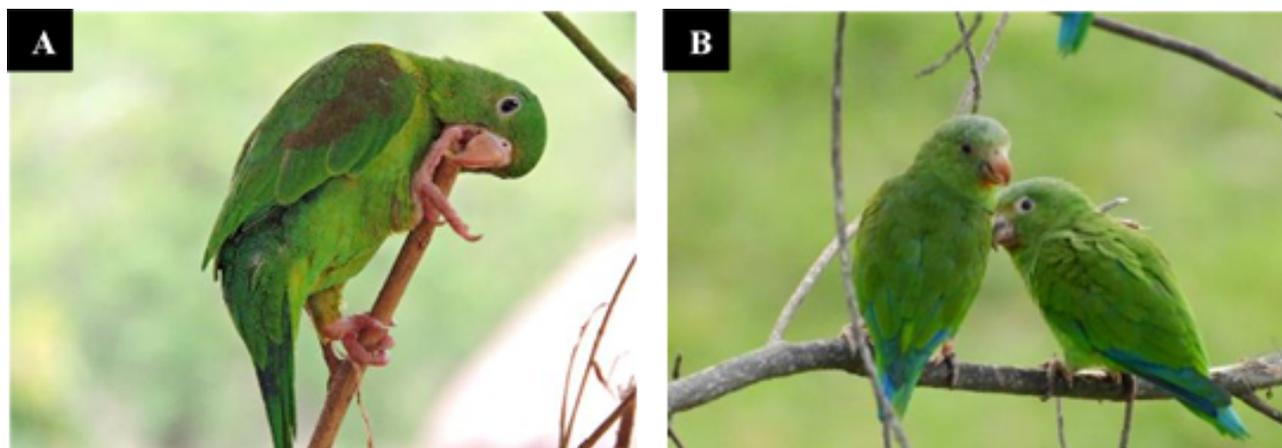


Figura 3. A. Individuo de Periquito bronceado (*Brotogeris jugularis*); B. Periquito aliazul (*B. cyanopectera*).

Uso de hábitats

El periquito bronceado se registró en cuatro de las cinco coberturas vegetales identificadas en el área de estudio. El bosque ripario fue el más utilizado por la especie, con 55 individuos observados (Bonferroni: 41,96; Jacobs: 0,3), seguido

del tejido urbano con 41 individuos (Bonferroni: 40,56), el mosaico de cultivos con 15 individuos (Bonferroni: 13,99) y los pastos arbolados con tres individuos (figura 4 y tabla 1). De acuerdo al análisis de varianza (ANOSIM), las diferencias en abundancia entre los hábitats no fueron estadísticamente significativas ($p > 0,05$).

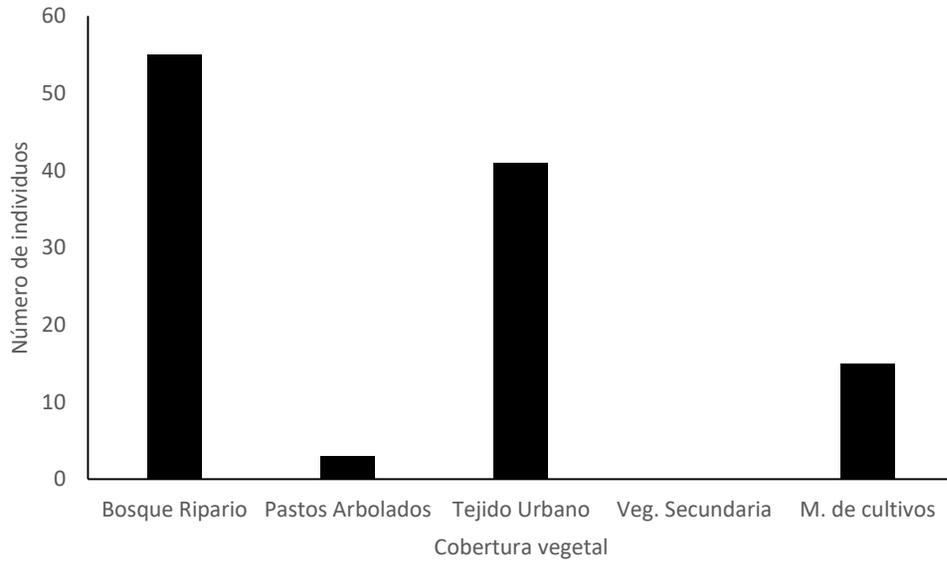


Figura 4. Hábitats usados por el Periquito bronceado (*Brotogeris jugularis*), en un paisaje rural del piedemonte llanero colombiano.

Tabla 1. Uso de hábitat para el periquito bronceado (*B. jugularis*) en un paisaje rural del Piedemonte Llanero colombiano.

Índice	Bosque ripario	Pastos arbolados	Tejido urbano	Vegetación secundaria	Mosaico de Cultivos
Índice de Bonferroni	41,96	12,59	40,56	4,9	13,99
Índice de Jacobs	0,3	-0,6	0	-1	0

Los valores generales de la amplitud de nicho (0,8) indicaron una elección de hábitats generalista por parte de la especie durante el periodo de muestreo, que abarcó la época seca y la

época de lluvia del año. Este valor es congruente con las observaciones de este periquito en cuatro de las cinco coberturas evaluadas.



Figura 5. Especies de plantas visitadas por el Periquito bronceado (*B. jugularis*): A. *Mangifera indica*, B. *Cecropia peltata*, C. *Ficus luschnathiana*, D. *Psidium guajava*, en un paisaje rural del Piedemonte Llanero colombiano.

Aspectos dietarios

En las cuatro coberturas usadas por el periquito bronceado, se registraron cuatro especies de plantas utilizadas como fuente de alimento (figura 5). De acuerdo a la proporción de registros de consumo, las especies se alimentaron de frutos de mango (*Mangifera indica*), guayaba (*Psidium guajava*) e higuierón (*Ficus luschnathiana*) y yemas e inflorescencias de yarumo (*Cecropia peltata*). Estas plantas se encontraban cerca de cuerpos de agua, bordes de carreteras y asentamientos humanos.

Discusión

Aspectos generales de la población

Las altas abundancias de la especie y su variación entre las coberturas se relacionan con la disponibilidad de recursos de acuerdo a la temporada del año, ya que esto fortalece el desarrollo correcto de sus funciones metabólicas (Marsden y Pilgrim, 2002). Una hipótesis que se puede establecer para los resultados mencionados es la planteada por Renton (2001), según la cual la variabilidad espacio-temporal de las abundancias de las especies se da de manera congruente con la disponibilidad de los recursos alimenticios y la diferenciación de sitios para cada función metabólica. De esta forma, se podría indicar que los bosques riparios son usados como sitio de reproducción (Bates, 1998) por la alta disponibilidad de termiteros en las partes altas de los árboles (Peñuela *et al.*, en prensa), los cuales son utilizados para la construcción de nidos por varias especies de psitácidos (Hilty *et al.*, 1986), mientras que los tejidos urbanos se muestran como sitios de alimentación por la disponibilidad de frutales naturales y cultivados que se registran en el área.

La baja abundancia de la especie en temporada seca pudo deberse a que la mayoría de periquitos migran a otras áreas forestales donde los recursos alimenticios consumidos están disponibles, tal como ha sido reportado en otras especies del género *Brotogeris* (Ragusa-Netto, 2007). Esta variación estacional en la abundancia ha sido documentada en varias especies de psitácidos que realizan movimientos de mesoescala para explotar los recursos vegetales a medida que están disponibles (Bonadie y Bacon, 2000; Wirminghaus *et al.*, 2001).

Uso de hábitats

El amplio uso de hábitats que mostró el periquito soporta la noción de que se trata de una especie generalista (Collar *et al.*, 2020). Este comportamiento generalista ha sido documentado

para otras especies de psitácidos, tales como *Aratinga canicularis*, *B. cyanopectus* y *Amazona oratrix* (Téllez-García, 2008), y se ha propuesto como una estrategia que facilitaría a dichas especies mantener poblaciones estables, incluso en hábitats altamente transformados (Snyder y McGowanet, 2000).

Otro aspecto que influye en el uso de hábitats del periquito bronceado es la configuración del paisaje. En este dominan bosques riparios y tejidos urbanos de tipo rural y en contacto directo con las áreas boscosas (Carvajal-Cogollo y Carvajal-Cogollo, 2021. Doc. ined). Estos proveen sitios necesarios para la alimentación de la especie, como se evidenció en esta investigación, y de anidamiento anidamiento (Lanning y Shiflett, 1983; Rodríguez-Estrella *et al.*, 1992; Monterrubio-Rico y Escalante-Pliego 2006: Ríos-Muñoz y Navarro-Sigüenza, 2009). Asimismo, la interacción entre zonas con alteraciones antropogénicas ligeras (bosques riparios) y marcadas (tejidos urbanos), parece ser necesaria para el establecimiento de poblaciones saludables de este periquito (Renjifo, 2001; Morales-Pérez, 2005).

El hecho de que el uso de hábitats esté influenciado por coberturas vegetales tales como el bosque ripario, pastos arbolados, tejido urbano y mosaico de cultivos, que el pico de actividad se registrara en las horas de la mañana, cuando las condiciones térmicas son favorables, y que la disponibilidad del recurso alimentario se diera principalmente en la época seca del año, lleva a mostrar una relación directa con estos parámetros para la especie *B. jugularis*. Como lo ha documentado Morales-Pérez (2005), esta asociación puede estar soportada por reportes de que el recurso alimentario es aprovechado por la especie de manera generalista/oportunista, usando con más frecuencia aquellas coberturas que, ya sea espacial o temporalmente le otorguen los recursos necesarios para su alimentación, como ocurre en otras especies de psitácidos y para *B. jugularis* en otras áreas de su distribución. Por su parte, los picos de actividad al amanecer y al anochecer, están asociados con el periodo habitual para la alimentación de la especie, en su salida a forrajear y el regreso a las coberturas de refugio (Casagrande y Beissinger, 1997).

Amenazas y conservación

Las amenazas de origen antropogénico a las que se ve enfrentado el periquito bronceado son la degradación y la transformación del hábitat (Cockle *et al.*, 2010; Berkunski *et al.*, 2017), las cuales a su vez alteran la disponibilidad de refugio, alimento y potenciales sitios de anidación. Sumado a lo anterior, existe una presión por el tráfico ilegal para mantenerlos como

mascotas (Cockle *et al.*, 2010). Por otro lado, se identificaron en el área de estudio algunas amenazas como la urbanización acelerada, la destrucción del hábitat por parte de los sistemas productivos como la ganadería y la agricultura, lo cual puede conllevar a que la disponibilidad del recurso alimentario decline, y por ende a un declive en las poblaciones naturales de esta especie (Berkunski *et al.*, 2017).

Los resultados presentados sugieren que el periquito bronceado puede moverse a través de grandes áreas dentro de un mosaico de vegetación en busca de recursos alimenticios, sin restringir el uso que hace del espacio a un tipo específico de hábitat. Esto es posiblemente una respuesta a la producción masiva de frutos a escala del paisaje, la cual presenta una variación que depende del periodo del año y el régimen de lluvias. A largo plazo, se recomiendan más estudios de aspectos dietarios, de uso y selección de hábitat, en los cuales se evalúe la producción de flores y frutos en este tipo coberturas de suelo, con el fin de determinar la relación de estos parámetros con los patrones de abundancia de este periquito. Esto permitirá entender cómo la flexibilidad ecológica de la especie facilita el aparente mantenimiento de poblaciones saludables a lo largo de su distribución, además de identificar recursos críticos cuya ausencia podría generar un impacto negativo sobre sus poblaciones.

Agradecimientos

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) y al Consocio Vial Andino (Conandino), quienes financiaron esta investigación en cumplimiento de sus objetivos misionales de gestión ambiental e investigación, respectivamente, en el marco del Convenio 057/2017. Al ingeniero Diógenes Arrieta (jefe ambiental de Conandino), a la bióloga María Isabel Bautista y a los doctores Enrique Vera y Zaida Ojeda, por parte de la UPTC, quienes apoyaron los aspectos logísticos y administrativos de la investigación. Al proyecto BPIN 2020000100003 "Investigación la biodiversidad de Boyacá: complementación y síntesis a través de gradientes altitudinales e implicaciones de su incorporación en proyectos de apropiación social de conocimiento y de efectos de cambio climático". Al equipo de investigadores del Grupo de investigación Biodiversidad y Conservación de la UPTC, por sus aportes para la estructuración y ejecución del proyecto de investigación general.

Referencias

Ayerbe -Quiñones, F. 2018. *Guía ilustrada de la avifauna colombiana*. Wildlife Conservation Society, Bogotá.

Bates, J.M. 1998. Handbook of the Birds of the World. Vol. 4:

Sandgrouse to Cuckoos. *The Condor* 100(4): 769. Doi: <https://doi.org/10.2307/1369764>.

Berkunsky, I., Quillfeldt, P., Brightsmith, D.J., Abbud, M.C., Aguilar, J.M.R.E., Alemán-Zelaya, U., Aramburú, R.M., Arce Arias, A., Balas McNab, R., Balsby, T.J.S., Barredo Barberena, J.M., Beissinger, S.R., Rosales, M., Berg, K.S., Bianchi, C.A., Blanco, E., Bodrati, A., Bonilla-Ruz, C., Botero-Delgado, E., Canavelli, S.B., Caparroz, R., Cepeda, R.E., Chassot, O., Cinta-Magallón, C., Cockle, K.L., Daniele, G., De Araujo, C.B., De Barbosa, A.E., De Moura, L.N., Del Castillo, H., Díaz, S., Díaz-Luque, J.A., Douglas, L., Figueroa Rodríguez, A., García-Anleu, R.A., Gilardi, J.D., Grilli, P.G., Guix, J.C., Hernández, M., Hernández-Muñoz, A., Hiraldo, F., Horstman, E., Ibarra Portillo, R., Isacch, J.P., Jiménez, J.E., Joyner, L., Juárez, M., Kacoliris, F.P., Kanaan, V.T., Klemann-Júnior, L., Latta, S.C., Lee, A.T.K., Lesterhuis, A., Lezama-López, M., Lugarini, C., Marateo, G., Marinelli, C.B., Martínez, J., McReynolds, M.S., Mejía Urbina, C.R., Monge-Arias, G., Monterrubio-Rico, T.C., Nunes, A.P., Nunes, F.P., Olaciregui, C., Ortega-Arguelles, J., Pacifico, E., Pagano, L., Politi, N., Ponce-Santizo, G., Portillo Reyes, H.O., Prestes, N.P., Presti, F., Renton, K., Reyes-Macedo, G., Ringler, E., Rivera, L., Rodríguez-Ferraro, A., Rojas-Valverde, A.M., Rojas-Llanos, R.E., Rubio-Rocha, Y.G., Saidenberg, A.B.S., Salinas-Melgoza, A., Sanz, V., Schaefer, H.M., Scherer-Neto, P., Seixas, G.H.F., Serafini P., Silveira, L.F., Sipinski, E.A.B., Somenzari, M., Susanibar, D., Tella, J.L., Torres-Sovero, C., Trofino-Falasco, C., Vargas-Rodríguez, R., Vázquez-Reyes, L.D., White, T.H.J., Williams, S., Zarza, R. y Masello, J.F. 2017. *Current threats faced by Neotropical parrot populations*. *Biological Conservation* 214: 278-287.

Bonadie, W.A. y Bacon, P.R. 2000. Year-round utilisation of fragmented palm swamp forest by Red-bellied macaws (*Ara manilata*) and Orange-winged parrots (*Amazona amazonica*) in the Nariva Swamp (Trinidad). *Biological Conservation*, 95(1): 1-5. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(00\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(00)00018-5).

Cantú, J.C., Sánchez, M.E., Grosselet, M. y Silva, J. 2007. Tráfico ilegal de pericos en México. *Una evaluación detallada*. Defenders of Wildlife, México.

Casagrande, D.G. y Beissinger, S.R. 1997. Evaluation of four methods for estimating parrot population size. *The Condor* 99(2): 445-457. Doi: <https://doi.org/10.2307/1369951>

Cherry, S. 1996. A comparison of confidence interval methods for habitat use-availability studies. *The Journal of Wildlife Management* 653-658. Doi: <https://doi.org/10.2307/3802084>.

Chonillo Villafuerte, J.A. 2021. Evaluación rápida sobre el estado

- de conservación de la avifauna en el área protegida Isla Santay (Guayas-Ecuador) Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil.
- Cockle, K.L., Martin, K. y Drever, M.C. 2010. Supply of tree-holes limits nest density of cavity-nesting birds in primary and logged subtropical Atlantic forest. *Biological Conservation* 143 (11): 2851-2857. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.08.002>.
- Collar, N., P. F. D. y Kirwan, G. M. 2020. Orange-chinned Parakeet (*Brotogeris jugularis*), version 1.0. In: del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D.A. y de Juana, E. Editors. *Birds of the World* Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York.
- Del Hoyo, J., Collar, N.J., Christie, D.A., Elliott, A. y Fishpool, L.D.C. 2014. *HBW and BirdLife International Illustrated Checklist of the Birds of the World: non-passerines*. Lynx Edicions. Barcelona.
- Garcés, P.A. 2007. Análisis de la avifauna reportada en la Reserva Forestal del Proyecto hidroeléctrico Fortuna, Provincia de Chiriquí. *Tecnociencia* 9(1): 133-150.
- Guevara, N. y Delgado, E. 2021. Riqueza y abundancia de la diversidad de aves en el parque municipal summit, república de Panamá. *Tecnociencia* 23(2) 110-139.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T. y Ryan, P.D. 2001. Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron* 4: 1-9.
- Hilty, S.L., Brown, W.L. y Brown, B. 1986. *A guide to the birds of Colombia*. Princeton University Press.
- Holdridge, L. 1996. *Ecología basada en zonas de vida*. 4a reimpresión. IICA, San José.
- Hurlbert, S.H. 1978. The non-concept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology* 59: 67-77.
- Jacobs, J. 1974. Quantitative measurement of food selection. *Oecologia* 14(4): 413-417. Doi: <https://doi.org/10.1007/BF00384581>.
- Krebs, C.J., 1999. *Ecological Methodology*, Addison-Welsey, Menlo Park, California.
- Lanning, D.V. y Shiflett, J.T. 1983. Nesting ecology of Thick-billed Parrots. *The Condor* 85(1): 66-73. Doi: <https://doi.org/10.2307/1367891>.
- Levins, R. 1968. *Evolution in changing environments: some theoretical explorations*. Princeton University Press. Doi: <https://doi.org/10.1515/9780691209418>.
- Loiselle, B.A. 1988. Bird abundance and seasonality in a Costa Rican lowland forest canopy. *The Condor* 90(4): 761-772. Doi: <https://doi.org/10.2307/1368833>.
- Marsden, S.J. y Pilgrim, J.D. 2003. Factors influencing the abundance of parrots and hornbills in pristine and disturbed forests on New Britain, PNG. *Ibis* 145(1): 45-53. Doi: <https://doi.org/10.1046/j.1474-919X.2003.00107.x>.
- Miller, A.H. 1947. The tropical avifauna of the upper Magdalena Valley, Colombia. *The Auk* 64(3): 351-381. Doi: <https://doi.org/10.2307/4080380>.
- Minorta-Cely, V. y Rangel-Ch, J.O. 2014. *La riqueza y la diversidad de las plantas con flores de la Orinoquia Colombiana. Colombia Diversidad Biótica XIV La región de la Orinoquia de Colombia. Bogotá, Colombia*. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.
- Montenegro, J. y Acosta, A. 2008. Programa para inferir uso, preferencia de hábitat y amplitud de nicho. Unesis, Departamento de Biología, Pontificia Universidad Javeriana.
- Monterrubio-Rico, T.C. y Escalante-Pliego, P. 2006. Richness, distribution and conservation status of cavity nesting birds in Mexico. *Biological Conservation* 128 (1): 67-78. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.017>.
- Morales-Pérez, L. 2005. Evaluación de la abundancia poblacional y recursos alimenticios para tres géneros de Psitácidos en hábitats conservados y perturbados de la costa de Jalisco, México. Universidad Nacional Autónoma de México, DF, México.
- Pizo, M.A., Simáo, I. y Galetti, M. 1995. Diet and flock size of sympatric parrots in the Atlantic forest of Brazil. *Ornitología Neotropical* 6: 87-95.
- Quiñones, F.A. 2018. *Guía Ilustrada de la Avifauna Colombiana*. Panamericana Formas e Impresos S. A, Bogota.
- Ragusa-Netto, J. 2005. Extensive consumption of *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook. (Bignoniaceae) nectar by parrots in a tecoma savanna in the southern Pantanal (Brazil). *Brazilian Journal of Biology* 65(2): 339-344. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842005000200018>.
- Ragusa-Netto, J. 2006. Dry fruits and the abundance of the Blue-and-Yellow Macaw (*Ara ararauna*) at a cerrado remnant in central Brazil. *Ornitología Neotropical* 17(4): 491-500.
- Ragusa-Netto, J. 2008. Yellow-chevroned Parakeet (*Brotogeris chirirí*) abundance and canopy foraging at a dry forest in western Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 43(2): 99-

105. Doi: <https://doi.org/10.1080/01650520701510859>.

Ralph, C.J., Geupel, G.R., Pyle, P., Martin, T.E., DeSante, D.F. y Milá, B. 1997. *Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres* (Vol. 159). US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. Doi: <https://doi.org/10.2737/PSW-GTR-159>.

Rangel-Ch, J.O. 2015. La riqueza de las plantas con flores de Colombia: The richness of flowering plants in Colombia. *Caldasia* 37(2): 279-308. Doi: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v37n2.54375>.

Renjifo, L.M. 2001. Effect of natural and anthropogenic landscape matrices on the abundance of subandean bird species. *Ecological Applications* 11(1): 14-31. [https://doi.org/10.1890/10510761\(2001\)011\[0014:EONAAAL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/10510761(2001)011[0014:EONAAAL]2.0.CO;2).

Rengifo, L.M., Gómez, M.F., Velásquez-Tibatá, J., Amaya-Villarreal, Á.M., Kattan, G.H., Amaya-Espinel, J.D. y Burbano-Girón, J. 2014. *Libro Rojo de Aves de Colombia. Volumen I. Bosques Húmedos de los Andes y la Costa Pacífica*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá.

Renton, K. 2001. Lilac-crowned Parrot diet and food resource availability: resource tracking by a parrot seed predator. *The Condor* 103(1): 62-69. Doi: <https://doi.org/10.1093/condor/103.1.62>.

Restrepo-Rodas, D.C. y Pulgarín-Restrepo, P.C. 2017. Dinámicas de los loros en cautiverio en Colombia: tráfico, mortalidad y liberación. *Ornitología Colombiana* 16:eA06.

Ríos-Muñoz, C.A. y Navarro-Sigüenza, A.G. 2009. Efectos del cambio de uso de suelo en la disponibilidad hipotética de hábitat para los psitácidos de México. *Ornitología Neotropical* 20(4): 491-509.

Riveros-Torres, L., Domínguez-Torrejón, G., y Méndez-Alca, A. 2021. Inventario de aves en el bosque ribereño de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía. *Maestro y Sociedad* 18(4): 1576-1583.

Rodríguez-Estrella, R., Mata, E. y Rivera, L. 1992. Ecological notes on the green parakeet of Isla Socorro, Mexico. *The Condor* 94(2):

523-525. Doi: <https://doi.org/10.2307/1369224>.

Rodríguez-Mahecha, J.V. y Hernández-Camacho, J.I. 2002. *Loros de Colombia*. Conservation International, Bogotá.

Roth, P. 1984. Roth, P. 1984. Repartição do Habitat entre Psitacídeos Simpátricos no Sul da Amazõnia. *Acta Amazonia*. 14(1-2): 175-221. Doi: <https://doi.org/10.1590/1809-43921984142221>.

Snyder, N.F. y McGowan, P. 2000. Parrots: status survey and conservation action plan 2000-2004. IUCN, Gland.

Soto Piñeiro, C.J. y Bert, E. 2011. Principios en la alimentación de psitácidos. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria* 12(11): 1-3.

Tabares- Castaño, Y. 2021. Proceso de rehabilitación de fauna silvestre en el Oriente Antioqueño.

Téllez-García, L. 2008. Abundancia relativa y características del hábitat de anidación del loro cabeza amarilla (*Amazona oratrix*) en diferentes condiciones de conservación de la vegetación. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

Vicentini, A. y Fischer, E.A. 1999. Pollination of *Moronobea coccinea* (Clusiaceae) by the golden-winged parakeet in the central Amazon. *Biotropica* 31(4): 692-696. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.1999.tb00419.x>.

Vílchez, S., Harvey, C. A., Sánchez Merlos, D., Medina, A., y Hernández, B. 2004. Diversidad de aves en un paisaje fragmentado de bosque seco en Rivas, Nicaragua. *Encuentro: Revista Académica de la Universidad Centroamericana* (68): 60-75.

Villarreal, H.M., Álvarez, M., Córdoba-Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, y Umaña, A.M. 2004. *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá.

Wirminghaus, J.O., Downs, C.T., Perrin, M.R. y Symes, C.T. 2001. Breeding biology of the Cape Parrot, *Poicephalus robustus*. *Ostrich-Journal of African Ornithology* 72(3-4): 159-164. Doi: <https://doi.org/10.2989/00306520109485310>.

Composición florística y estructura de las especies de sombrío en los sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la subregión de los Montes de María, Bolívar-Colombia

Floristic composition and structure of shade species in cacao agroforestry systems (*Theobroma cacao* L.) in Montes de María subregion, Bolívar-Colombia

Darwin J. Ebratt-Matute 

Asociación Nacional Cacaotera de Colombia (Red Cacaotera), San Juan Nepomuceno, Bolívar, Colombia

Resumen

Con el fin de conocer la composición florística y la estructura de sistemas agroforestales de cacao en la subregión de los Montes de María, se realizó una caracterización de las especies de sombrío en 60 plantaciones de cacao en los municipios de El Carmen de Bolívar, San Jacinto y San Juan Nepomuceno. En las 15 hectáreas muestreadas, se hallaron 26 especies de sombrío distribuidas en 14 familias y 1302 individuos. La densidad promedio fue de 87 individuos por hectárea. El 42 % de estas especies son caducifolias, el 27 % perennifolias y el 31 % semiperennes. En cuanto a origen y estado de conservación, el 77 % son especies nativas, el 19 % exóticas y el 4 % introducidas y naturalizadas; así mismo, se encontraron siete especies con algún grado de conservación. De acuerdo con el índice de valor de importancia, las especies más relevantes fueron *Gliricidia sepium* y *Persea americana*, mientras que las familias más destacadas fueron Fabaceae y Lauraceae. En cuanto a la estructura, se encontró que el mayor número de individuos (592) correspondió a plantas cuyo diámetro a la altura del pecho osciló entre 16,01 y 32 cm, mientras que, en lo que respecta a la altimetría, el mayor número de ejemplares (190) se ubicó en el intervalo 12,01-15 m. En cuanto a área basal, las especies de sombrío significaron un total de 270,01 m² (18 m²/ha). A nivel regional, el índice de Shannon arrojó una diversidad media (2,6); además, el valor del índice de Pielou (0,8) indicó una homogeneidad relativamente alta, mientras que el índice de Simpson (0,11) reflejó baja dominancia. Las curvas de acumulación de especies arrojaron una completitud por encima del 85 % en los estimadores no paramétricos, exceptuando el de Jackknife-2, que registró un valor de 83,2 %, sugiriendo una cobertura muestral satisfactoria.

Palabras clave: Bosque Seco Tropical; agroforestería; sostenibilidad; Índice de diversidad

Abstract

To know the floristic composition and structure of the cacao agroforestry systems in Montes de María subregion, a characterization of the shade tree species was carried out in 60 cacao plantations located in the municipalities El Carmen de Bolívar, San Jacinto and San Juan Nepomuceno. In the 15 hectares sampled, 26 species were found distributed in 14 families and 1302 individuals. The density was 87 individuals per hectare. 42 % of the species are deciduous, 31 % semi-evergreen and 27 % evergreen. Regarding origin and state of conservation, 77 % are native species, 19 % exotic and 4 % introduced and naturalized; likewise, seven species were found with some special degree of conservation. According to importance value index, the most relevant species were *Gliricidia sepium* and *Persea americana*, while the most outstanding families were Fabaceae and Lauraceae. Regarding the structure, it was found that the largest number of individuals (592) corresponded to individuals whose diameter at breast height ranged between 16.01 and 32 cm, while, as far as altimetry is concerned, the largest number of specimens (190) was located in the interval 12.01-15 m. In terms of basal area, shade species represented a total of 270.01 m² (18 m²/ha). At the regional level, the Shannon index showed a medium diversity (2.6); in addition, the value of the Pielou index (0.8) indicated a relatively high homogeneity, while the Simpson index (0.11) reflected a low dominance. Species accumulation curves showed completeness above 85 % in all non-parametric estimators, except for Jackknife-2, which recorded a value of 83.2 %, results that suggest satisfactory sampling coverage.

Key words: Tropical Dry Forest; agroforestry; sustainability; diversity index

*Autor de correspondencia: darwinebratt@gmail.com

Editor: Luis M. Manjarrés Martínez

Recibido: 10 de enero de 2022

Aceptado: 20 de junio de 2022

Publicación en línea: 30 de junio de 2022

Citar como: Ebratt-Matute, D.J. 2022. Composición florística y estructura de las especies de sombrío en los sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la subregión de los Montes de María, Bolívar-Colombia. Intropica 17(1): xx. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.4495>



Introducción

Colombia es el quinto país productor de cacao en América; en él existen aproximadamente 65,341 familias cacaoteras, las cuales en el año 2020 cosecharon 63,416 ton de grano en 189,185 ha de cultivos (MADR, 2021). La importancia de la actividad cacaotera en el país se evidencia por una fuerte industria local, un importante consumo interno de productos elaborados, un 95 % de sus exportaciones catalogadas como de cacao fino de aroma y una política de apoyo abierta y diversa, con un claro enfoque hacia el incremento de la producción y el desarrollo de la institucionalidad local (Ríos *et al.*, 2017).

En la subregión de los Montes de María, el cultivo de cacao tuvo su primer impulso en el año 2010, el cual se hizo con el fin de promover el retorno al territorio de aquellas personas desplazadas por la violencia (Aguilera-Díaz, 2013). Se estima que existen 700 ha del cultivo en la subregión, dominados por materiales híbridos y clones introducidos y regionales (CCN-51, EET-8, ICS-60, ICS-39, ICS-95, TSH-565, CNCH-12 y CNCH-13), los cuales benefician aproximadamente a 600 familias de productores (Red Cacaotera, doc. ined.).

En la última década la actividad cacaotera de Montes de María ha sido impulsada por diversas instituciones (Burbano-Figueroa, 2019); sin embargo, a pesar de las acciones que ayudan a incrementar la importancia del cacao en la subregión, aún se evidencia un rendimiento bajo del cultivo (Aguilera-Díaz, 2013; Burbano-Figueroa, 2019), lo que es semejante a la tendencia nacional, problemática que es ocasionada por problemas fitosanitarios y baja o ineficiente implementación de prácticas agronómicas (podas, fertilizaciones) (Abbott *et al.*, 2019; MADR, 2021).

En vista de lo anterior, y aprovechando que en Colombia los cultivos de cacao se encuentran como explotaciones agroforestales mixtas (Ríos *et al.*, 2017; Abbott *et al.*, 2019), el correcto manejo de estos sistemas y sus sombríos se convierte en un medio para incidir sobre la fertilidad, la recirculación de nutrientes, el estado fitosanitario, el rendimiento de los cultivos, la oferta de recursos ecosistémicos y la captura de carbono atmosférico (Somarriba, 2004; Somarriba y Beer, 2011; Ordoñez-Espinosa *et al.*, 2021). No obstante, para aprovechar las bondades de los sistemas agroforestales, es necesario conocer su composición florística y estructura, debido a que las interacciones biológicas, económicas, y agronómicas de las especies de sombrío con los cacaotales, cambian de acuerdo con los ecosistemas, los taxones, la cultura y las necesidades de los productores de cada región (Somarriba, 2004; Somarriba y Beer, 2011).

En Colombia se han realizado algunos estudios para comprender la composición florística de los sombríos asociados a los cacaotales, donde se citan los trabajos desarrollados por Ordoñez-Espinosa *et al.* (2020) en el departamento del Huila y el desarrollado en la región amazónica por Rojas *et al.* (2021), evidenciándose en ellos la diferencia en cuanto a la diversidad de los ecosistemas y sus regiones, pasando de 36 especies en zonas de bosque seco tropical (BsT) del Huila a 136 especies en bosques húmedos amazónicos, y teniendo en común que las especies que la conforman corresponden a vegetación diversa y propia de dichos ecosistemas. Así mismo, existen otros estudios asociados a ecosistemas de bosque seco tropical, en los cuales a partir de la estructura y diversidad del arreglo agroforestal de cacao se ha ayudado a comprender la fijación del carbono atmosférico, como es el caso del estudio desarrollado por Marín *et al.* (2016) en el departamento del Tolima. Por su parte, Burbano-Figueroa (2019) ha mencionado que *Persea americana* Mill., es una importante especie de sombrío en los cacaotales de Montes de María, pero su trabajo se ha enfocado a ofrecer un panorama comprensible de los sistemas de producción agroforestales de aguacate, quedando en evidencia la falta de esfuerzos en investigación para el cultivo de cacao en esta zona (Williams, 2019).

Teniendo en cuenta que en la actualidad no existe un paquete tecnológico para la producción de cacao en la subregión, y esta a su vez se caracteriza por ser un ecosistema de bosque seco tropical (Pizano y García, 2014), se propone la hipótesis que la diversidad de especies de sombrío asociadas a cacao en Montes de María está dominada por flora nativa de dicho ecosistema. Por tanto, el objetivo del presente estudio consistió en definir la composición y estructura de las especies de sombrío asociadas a los sistemas agroforestales de cacao en la subregión de los Montes de María, en el departamento de Bolívar.

Materiales y métodos

Área de estudio

Los predios donde se realizaron los muestreos están ubicados en el departamento de Bolívar, en la subregión de los Montes de María, y forman parte de la región Caribe colombiana (9°49'45" N, 75°7'46" O) (figura 1). La subregión se encuentra a una altitud de 800 msnm; no obstante, el gradiente altitudinal de los predios evaluados fluctuó entre 102 y 520 msnm. El tipo de formación vegetal es de bosque seco tropical o sus equivalentes: bosque tropical caducifolio, selva veranera decidua y bosque deciduo por sequía de baja altitud

(Hernández-Camacho y Sánchez, 1992). La temperatura ambiental varía entre 26 y 30°C (Aguilera-Díaz, 2013), la precipitación anual oscila entre 1500 y 2000 mm y la humedad relativa entre 80 % y 85 % (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2022). De acuerdo con el mapa

trazado por Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC (1997), los suelos donde se ubican los predios censados son ligeramente ácidos a neutros, con alta saturación de bases, moderadamente profundos y con litología de areniscas calcáreas intercaladas con arcillolitas.

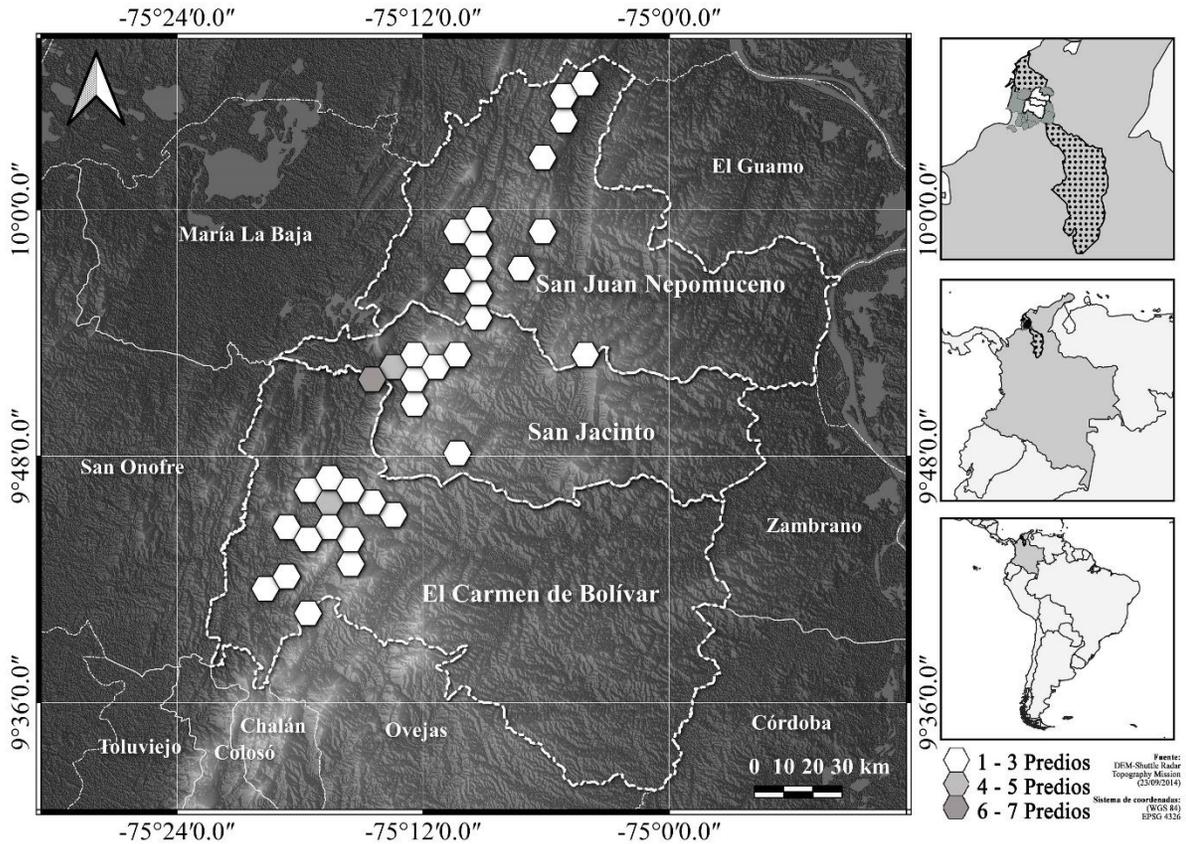


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio. Se observan agrupados los 60 predios censados en la malla hexagonal.

Muestreo

A través de un muestreo aleatorio se seleccionaron tres sitios de estudio con 20 parcelas cada uno, lo que arrojó un total de 60 plantaciones de cacao (unidades de muestreo), siguiendo los métodos propuestos por Gentry (1982) y Rangel-Ch. y Velázquez (1997), modificados por Roa-Romero et al. (2009) para aumentar la unidad de muestreo a 2500 m², obteniendo de esta manera un área de cobertura muestral de 15 ha. De las 60 plantaciones de cacao seleccionadas, 20 pertenecen a la Asociación de Productores de Cacao de los Montes de María (Asprocamm), 20 a la Corporación para el Desarrollo Integral Regional (Corintegral) y 20 a la Asociación Integral de Campesinos de la vereda Hayita y Vecinos (Asichav), las cuales abarcaron los municipios del Carmen de Bolívar, San Jacinto y San Juan Nepomuceno, respectivamente (figura 1).

Para el censo de individuos, se escogieron aquellos ejemplares

con un diámetro a la altura del pecho (DAP) superior o igual a 10 cm (Gentry, 1982; Guiracocha *et al.*, 2001; Rojas-Molina *et al.*, 2021). A los individuos de cada unidad de muestreo se les midió el DAP a 1,3 m de distancia del suelo y se les estimó la altura, en metros; así mismo, se indagó con el productor sobre los usos asignados a las especies identificadas, la persistencia o fenología de las hojas (caducifolia, perennifolia, semiperenne) y el hábito de crecimiento. Con la finalidad de verificar este último aspecto y conocer el estado de conservación, se consultó el trabajo desarrollado por Pizano y García (2014).

El proceso de determinación de las especies se llevó a cabo a partir de colectas de material vegetal, observaciones realizadas en campo, información suministrada por el propietario de la parcela y literatura especializada (Mendoza-C, 1999; Cordero y Boshier, 2003; Pizano y García, 2014; López *et al.*, 2016; Bernal *et al.*, 2019). De igual forma, se apoyó la labor con la

comparación de ejemplares reseñados en herbarios digitales, como los del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia (ICN, 2021), el del Royal Botanic Gardens, Kew (POWO, 2022), y el del Missouri Botanical Garden (Tropicos, 2021). Además, para establecer en el listado florístico la nomenclatura correcta de las especies se utilizó la herramienta "The International Plant Index" (IPNI, 2021).

Análisis de la información

A partir de la información de altura y DAP de los individuos censados se establecieron las clases altimétricas y diamétricas, empleando la fórmula de Sturges $K = 1 + 3,333 \cdot \log(N)$, donde K = número de clases, y N = total de individuos (abundancia) (Martínez-Sánchez, 2016); así mismo, se complementó la altimetría clasificando los individuos de acuerdo con la metodología propuesta por Somarriba (2004), donde el estrato bajo lo componen los individuos con menos de 8 m de altura, el estrato medio entre 8,01 y 24 m y el estrato alto más de 24,01 m. A partir de las medidas del DAP, se calculó el área basal en m^2 , utilizando la fórmula $\pi/4 \cdot (DAP)^2$ (Rangel-Ch. y Velázquez, 1997).

Para evaluar la importancia ecológica de los taxones en la estructura del ecosistema, se calculó el índice de Valor de Importancia para especies (IVI) y familias (IVF). Para el IVI se empleó la fórmula Densidad Relativa + Frecuencia Relativa + Dominancia Relativa (Martínez-Sánchez, 2016), donde:

Densidad relativa= (individuos para cada especie/total de individuos de la comunidad) *100

Frecuencia relativa= (ocurrencia de cada especie en las unidades de muestreo/suma de las frecuencias de todas las especies de la comunidad) *100

Dominancia relativa= (área basal de cada especie/total del área basal de la comunidad) *100.

Para el caso del IVF, se empleó la fórmula Densidad Relativa + Dominancia Relativa + Diversidad Relativa, donde los cálculos de Densidad y Dominancia Relativa son los mismos usados para calcular el IVI, mientras que Diversidad Relativa= (Especies por familia/Total de especies) *100 (Rangel-Ch. y Velázquez, 1997).

Los análisis de diversidad tanto por municipio como por área total de muestreo (regional) se basaron en el cálculo del índice de Shannon-Wiener (IH), el índice de equidad de Pielou (IJ) y el índice de dominancia de Simpson (ID). Las fórmulas empleadas para estos índices fueron las siguientes: $IH = -\sum p_i \log_2(p_i)$, donde p_i es la abundancia proporcional de la especie "i", es decir, el número de individuos de la especie "i" dividido entre el número total de individuos en la muestra; $IJ = \sum p_i$

$\log_2(p_i)/\log_2(S)$, siendo "S", el número de especies encontrado en la comunidad; e $ID = \sum p_i^2$ (Moreno, 2001).

Posteriormente, para evaluar la fiabilidad del inventario de especies obtenido mediante el esfuerzo de muestreo implementado, se realizaron curvas de acumulación de especies; así mismo, se efectuaron curvas de estimación de riqueza, utilizando los estimadores no paramétricos de Chao-1, Chao-2, Jackknife-1, Jackknife-2 y Bootstrap (López-Gómez y Williams-Linera, 2006; González-Oreja *et al.*, 2010). Para contrastar la anterior información, se calculó el porcentaje de completitud (%C), utilizando la fórmula: $\%C = (S_{obs}/S_{est}) \cdot 100$, donde S_{obs} = número de especies observadas, y S_{est} = número de especies estimadas (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). Tanto el ordenamiento de la matriz de datos para la acumulación de especies como el cálculo de los estimadores de diversidad se realizaron mediante el programa EstimateS vers. 9.1.0.

Por último, para comparar la riqueza de especies entre los municipios muestreados, se utilizó el índice de similitud de Sørensen (I_s), empleando la fórmula $I_s = 2C/(A+B)$, siendo C el número de especies en común entre los sitios A y B; A el número de especies encontradas en el sitio A, y B el número de especies encontradas en el sitio B (Moreno, 2001).

Resultados

Composición botánica

A nivel regional (Montes de María), se obtuvo una abundancia de 1302 individuos en las 15 ha censadas, con una densidad de 86,8 individuos por hectárea. En cuanto a municipios, 480 individuos correspondieron al Carmen de Bolívar (96 ind/ha), 436 a San Jacinto (87,2 ind/ha) y 386 a San Juan Nepomuceno (77,2 ind/ha). A nivel regional se determinó que la composición taxonómica estuvo representada por 14 familias, 26 géneros y 26 especies, lo que en cifras municipales correspondieron a 10 familias y 18 especies en El Carmen de Bolívar, 12 familias y 19 especies en San Jacinto, y 13 familias y 22 especies en San Juan Nepomuceno (tabla 1). En lo que respecta al origen, el 77 % de las especies inventariadas fueron nativas (20 especies), el 19 % exóticas (5) y el 4 % introducidas y naturalizadas (1).

Estructura

El estudio reveló la existencia de 20 especies de tipo arbóreo, para las cuales se inventarió un total de 821 individuos, una de tipo arbóreo/arbustivo (*G. sepium*), con 266 individuos; dos de tipo arbustivo, con 61 individuos; una de tipo hierba (*Musa x paradisiaca* L.), con 120 individuos, y dos de tipo palma, con 34 individuos (tabla 1).

Tabla 1. Composición florística, número de individuos, tipos de crecimiento, orígenes, fenología de las hojas y usos de las especies de sombrío en los sistemas agroforestales de cacao en el área de estudio. C: hábito de crecimiento, A: arbóreo, Ar: arbustivo, H: hierba, P: palma. Or.: tipo de origen, Ex: exótica; Na: nativa, Nt: introducida y naturalizada. F.H.: fenología de las hojas, Cad: caducifolia, Per: perennifolia, Sem.Per: semiperenne. Uso: Ar: artesanías, Cer: cerca viva, Con: material para construcción, Fr: fruto, Frj: forraje, Md: madera, Mn: medicinal, Or: ornamental, Sbr: sombrío. Individuos por municipio, C.B.: Carmen de Bolívar, S.J.: San Jacinto, S.N.: San Juan Nepomuceno.

Especie	Familia	C.	Or.	F.H.	Uso	C.B.	S.J.	S.N.	Total
<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart, 1952	Fabaceae	A	Na	Sem.Per	Md, Sbr	20	-	-	20
<i>Albizia saman</i> (Jacq.) Merr., 1891	Fabaceae	A	Na	Cad	Md, Frj	6	7	15	28
<i>Anacardium excelsum</i> (Bertero & Balb. ex Kunth) Skeels, 1912	Anacardiaceae	A	Na	Per	Md, Mn	2	15	2	19
<i>Cassia grandis</i> L.f., 1782	Fabaceae	A	Na	Cad	Fr	1	-	-	1
<i>Cecropia peltata</i> L., 1759	Urticaceae	A	Na	Cad	Mn	21	19	23	63
<i>Cedrela odorata</i> L., 1759	Meliaceae	A	Na	Cad	Md, Mn	24	10	6	40
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn., 1791	Malvaceae	A	Na	Cad	Md, Or	-	12	7	19
<i>Cocos nucifera</i> L., 1753	Arecaceae	P	Ex	Per	Fr, Mn	-	10	10	20
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken, 1950	Boraginaceae	A	Na	Sem.Per	Md, Mn	24	11	43	78
<i>Ficus insipida</i> Willd., 1806	Moraceae	A	Na	Per	Mn	-	-	4	4
<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth, 1842	Fabaceae	A, Ar	Na	Cad	Frj, Mn, Cer	113	90	63	266
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam., 1789	Malvaceae	A	Na	Sem.Per	Fr, Mn	21	16	21	58
<i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O.Grose, 2007	Bignoniaceae	Ar	Na	Cad	Md	18	31	4	53
<i>Mangifera indica</i> L., 1753	Anacardiaceae	A	Ex	Per	Fr	7	18	9	34
<i>Manilkara zapota</i> (L.) P. Royen, 1953	Sapotaceae	A	Na	Per	Fr	2	-	6	8
<i>Melicoccus bijugatus</i> Jacq., 1760	Sapindaceae	A	Na	Sem.Per	Fr, Mn	-	-	5	5
<i>Musa x paradisiaca</i> L., 1753	Musaceae	H	Ex	Per	Fr	54	58	8	120
<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. Ex Lam.) Urb., 1920	Malvaceae	A	Na	Sem.Per	Md	-	-	8	8
<i>Persea americana</i> Mill., 1768	Lauraceae	A	Nt	Sem.Per	Fr	118	79	57	254
<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H. E. Moore & Stearn (1967)	Sapotaceae	A	Na	Cad	Fr	10	9	6	25
<i>Sabal mauritiiiformis</i> (H. Karst.) Griseb & H. Wendl., 1864	Arecaceae	P	Na	Per	Ar, Con	-	-	14	14
<i>Spondias mombin</i> L., 1753	Anacardiaceae	A	Na	Sem.Per	Fr, Mn	6	17	56	79
<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) H.Karst., 1862	Malvaceae	A	Na	Cad	Md, Mn	6	4	2	12
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC., 1845	Bignoniaceae	A	Na	Cad	Md	27	14	17	58
<i>Tectona grandis</i> L.F., 1782	Lamiaceae	A	Ex	Cad	Md	-	8	-	8
<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Willd. y Arn., 1834	Fabaceae	Ar	Ex	Sem.Per	Cer, Mn, Frj	-	8	-	8

Respecto a la distribución por clases diamétricas, la abundancia disminuyó por encima de los 32 cm de DAP. A nivel regional, el mayor número de individuos (592) correspondió al intervalo 16,01-32 cm, situación que también se observó en los municipios de El Carmen de Bolívar (187 ind.) y San Juan Nepomuceno (257 ind.), mientras que en San Jacinto el mayor número de individuos (157) se ubicó en el intervalo 32,01-48 cm

(figura 2). De otro lado, el total del área basal en las 15 ha evaluadas fue de 270,01 m² (18 m²/ha). Respecto a las clases altimétricas determinadas mediante el método de Sturges, el mayor número de individuos (290) se registró entre 12,01 y 15 m de altura (figura 3), en tanto que según la clasificación altimétrica propuesta por Somarriba (2004), 442 individuos son de estrato bajo, 785 de estrato medio y 75 de estrato alto.

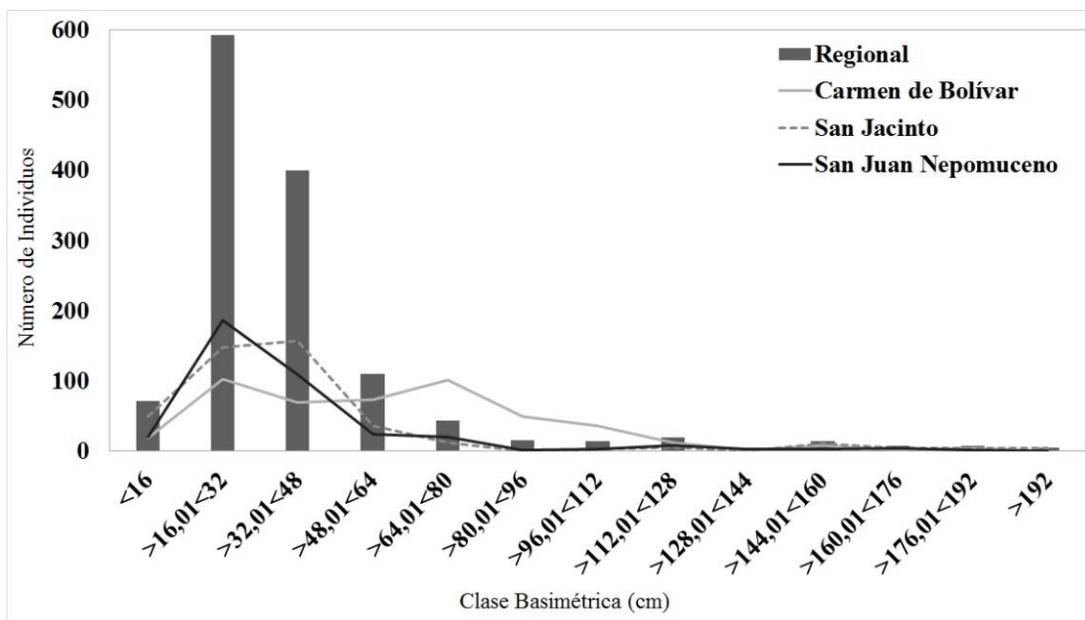


Figura 2. Distribución del diámetro a la altura del pecho (DAP) para las especies de sombrío en sistemas agroforestales de cacao en una muestra de 15 ha localizada en la subregión de los Montes de María.

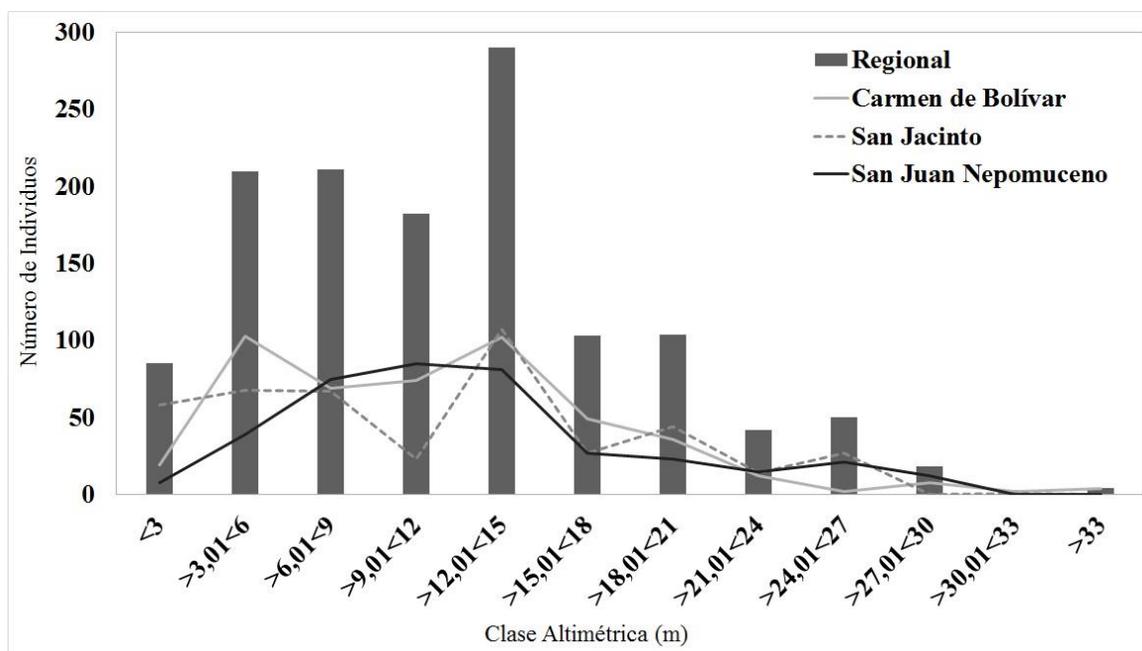


Figura 3. Distribución de alturas de las especies de sombrío en sistemas agroforestales de cacao en una muestra de 15 ha localizada en la subregión de los Montes de María.

Usos de las especies de sombrío

Los principales usos reportados para las especies de sombrío fueron los siguientes: fuentes de obtención de madera (11 especies), medicina (10), forraje (3), frutas (12), materiales para

construcción (1), artesanías (1), cercas vivas (2), ornamentales (1) y sombrío para otros cultivos (1) (tabla 1). El 46 % de las especies encontradas fueron sujetas a un uso, otro 46 % a dos usos y un 8 % a tres usos (tabla 1).

Persistencia de las hojas

La persistencia de las hojas se distribuyó de la siguiente manera: 42% de las especies son caducifolias (11 especies), 31 % semiperennes (8) y 27 % perennifolias (7). En caducifolias, Fabaceae fue la familia con mayor representación de especies (3); en semiperennes, Fabaceae, y Malvaceae registraron dos especies cada una, mientras que, en perennifolia, Arecaceae y Anacardiaceae registraron también dos especies cada una (tabla1).

Índices de valor de Importancia para especies (IVI) y familias (IVF)

De acuerdo con el IVI, los cinco taxones más relevantes a nivel regional fueron *G. sepium* (IVI: 41,6), *P. americana* (40,4), *A. excelsum* (22,70), *C. pentandra* (19,5) y *Albizia saman* (Jacq.) Merr. (19,06) (figura 4, tabla 2). En cuanto al IVF, los taxones más relevantes a nivel regional fueron Fabaceae (114,7), Lauraceae (47,37) y Anacardiaceae (24,88) (figura 5, tabla 3).

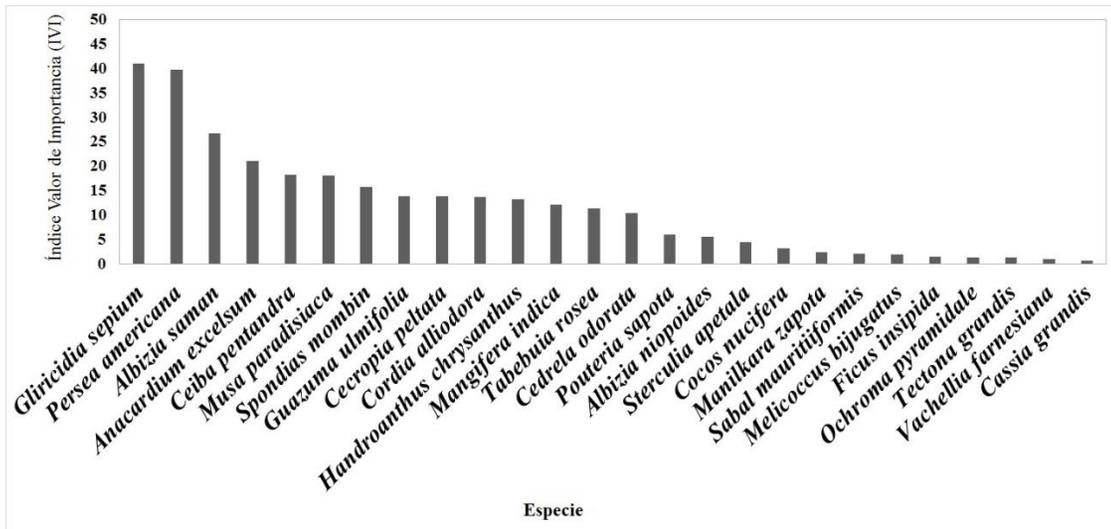


Figura 4. Índice de valor de importancia para especies (IVI) a nivel regional en una muestra de 15 ha localizada en Montes de María.

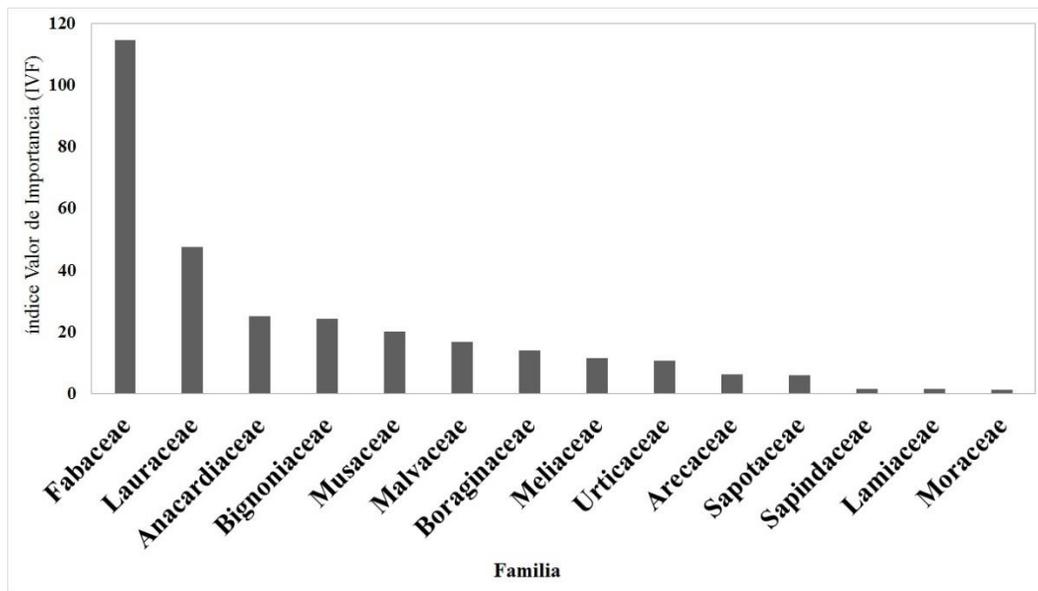


Figura 5. Índice de valor de importancia para familias (IVF) a nivel regional en una muestra de 15 ha localizada en Montes de María.

Composición florística y estructura de las especies de sombrío en los sistemas agroforestales de cacao

Tabla 2. Índice de valor de importancia por especie (IVI) y variables calculadas en los predios de cada municipio. A.B.: Área basal en m²; Fr.: Frecuencia relativa; Dr.: Densidad relativa; Dor.: Dominancia relativa; IVI: índice de valor de Importancia.

Especie	Carmen de Bolívar					San Jacinto					San Juan Nepomuceno				
	A.B.	Fr.	Dr.	Dor.	IVI	A.B.	Fr.	Dr.	Dor.	IVI	A.B.	Fr.	Dr.	Dor.	IVI
<i>Albizia niopoides</i>	4,90	20	6,19	4,17	7,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Albizia saman</i>	5,20	6	4,12	1,25	7,54	6,90	7	5,56	1,6	6,5	14,4	15	9,5	3,9	19,7
<i>Anacardium excelsum</i>	5,09	2	1,03	0,42	7,38	35,6	15	5,56	3,4	33,8	5,4	2	1,2	0,5	7,3
<i>Cassia grandis</i>	0,44	1	1,03	0,21	0,64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cecropia peltata</i>	0,85	21	8,25	4,38	1,24	0,76	19	7,78	4,4	0,7	0,55	23	8,3	6,0	0,8
<i>Cedrela odorata</i>	9,57	24	4,12	5,00	13,9	2,38	10	1,11	2,3	2,3	1,70	6	1,2	1,6	2,3
<i>Ceiba pentandra</i>	-	-	-	-	-	24,1	12	5,56	2,8	22,9	13,5	7	3,6	1,8	18,4
<i>Cocos nucifera</i>	-	-	-	-	-	0,96	10	1,11	2,3	0,9	1,26	10	1,2	2,6	1,7
<i>Cordia alliodora</i>	1,93	5,15	5,00	2,80	2,59	0,68	11	3,33	2,52	0,64	2,31	43	9,5	11,1	3,2
<i>Ficus insipida</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,09	4	2,4	1,0	1,5
<i>Gliricidia sepium</i>	6,37	113	16,5	23,5	9,25	4,86	90	16,7	20,6	4,6	3,91	63	11,9	16,3	5,3
<i>Guazuma ulmifolia</i>	3,32	21	7,22	4,38	4,81	1,72	16	6,7	3,7	1,6	1,55	21	7,1	5,4	2,1
<i>Handroanthus chrysanthus</i>	3,42	18	6,19	3,75	4,96	5,89	31	7,8	7,1	5,6	0,75	4	2,4	1,0	1,0
<i>Mangifera indica</i>	5,87	7	3,09	1,46	8,52	5,88	18	4,4	4,1	5,6	4,52	9	2,4	2,3	6,2
<i>Manilkara zapota</i>	0,57	2	1,03	0,42	0,82	-	-	-	-	-	1,06	6	2,4	1,6	1,5
<i>Melicoccus bijugatus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,92	5	2,4	1,3	2,6
<i>Musa paradisiaca</i>	2,33	54	10,3	11,3	3,38	1,37	58	10	13,3	1,3	0,23	8	1,2	2,1	0,3
<i>Ochroma pyramidale</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,01	8	1,19	2,1	1,4
<i>Persea americana</i>	9,97	118	15,46	24,58	14,47	6,66	79	12,2	18,1	6,3	4,98	57	8,3	14,8	6,8
<i>Pouteria sapota</i>	1,26	10	2,06	2,08	1,82	1,37	9	2,2	2,1	1,3	2,15	6	2,4	1,6	2,9
<i>Sabal mauritiiformis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53	14	2,4	3,6	0,7
<i>Spondias mombin</i>	1,18	6	1,03	1,25	1,71	2,78	17	3,33	3,9	2,6	7,29	56	13,1	14,5	10,0
<i>Sterculia apetala</i>	3,82	6	1,03	1,25	5,12	1,77	4	1,11	0,9	1,7	1,06	2	1,2	0,5	1,4
<i>Tabebuia rosea</i>	2,85	27	6,19	5,63	4,14	0,78	14	3,33	3,2	0,7	2,00	17	4,8	4,4	2,7
<i>Tectona grandis</i>	-	-	-	-	-	0,77	8	1,11	1,8	0,7	-	-	-	-	-
<i>Vachellia farnesiana</i>	-	-	-	-	-	0,12	8	1,11	1,8	0,1	-	-	-	-	-

Tabla 3. Índice de valor de Importancia para familias (IVF) calculadas en los predios de cada municipio muestreado. A.B.: Área basal en m²; Fr.: Frecuencia relativa; Dr.: Densidad relativa; Dor.: Dominancia relativa; IVF: índice de valor de Importancia para familias.

Familia	Carmen de Bolívar					San Jacinto					San Juan Nepomuceno				
	A.B.	Fr.	Dr.	Dor.	IVF	A.B.	Fr.	Dr.	Dor.	IVF	A.B.	Fr.	Dr.	Dor.	IVF
Anacardiaceae	2,38	3,13	2,39	3,12	8,64	8,62	11,4	11,5	11,4	34,3	2,52	17,3	2,93	17,0	37,2
Arecaceae	-	-	-	-	-	0,96	2,29	1,28	2,29	5,86	1,4	6,21	1,65	6,2	14,0
Bignoniaceae	7,74	9,37	7,79	9,38	26,5	7,69	10,3	10,2	10,3	30,8	2,93	5,44	3,44	5,4	14,2
Boraginaceae	1,93	5,00	1,94	5,00	11,9	0,67	2,52	0,90	2,52	5,94	2,30	11,1	2,70	11	24,8
Fabaceae	63,6	29,1	63,9	29,1	122	41,5	24,1	55,5	24	103	61,5	20,2	72,2	20,2	112
Lamiaceae	-	-	-	-	-	1,83	1,83	1	1,8	4,63	-	-	-	-	-
Lauraceae	10	24,5	10,0	24,5	59,0	6,72	18,1	8,98	18	45,0	5,04	14,7	5,91	14,7	35,3
Malvaceae	0,33	5,62	0,33	5,62	11,5	2,95	7,33	3,94	7	18,2	2,29	9,84	2,68	9,8	22,3
Meliaceae	9,56	5,00	9,62	5,00	19,6	2,37	2,29	3,17	2,29	7,75	1,69	1,55	1,99	1,55	5,09
Moraceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	1,09	1,03	1,28	1	3,31
Musaceae	2,46	11,2	2,47	11,2	24,8	1,36	13,3	1,82	13	28,1	0,22	2,07	0,26	2	4,33
Sapindaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,2	1,29	2,59	1,2	5,08
Sapotaceae	0,51	2,50	0,51	2,50	5,51	0,34	2	0,45	2,1	4,55	1,38	3,1	1,62	3,1	7,82
Urticaceae	0,85	4,37	0,85	4,30	9,52	0,76	4,35	1,01	4,3	9,66	0,54	5,95	0,64	5,9	12,4

Tabla 4. Especies observadas (S_{obs}), individuos obtenidos (N) e índices de diversidad de Shannon-Wiener (IH), dominancia de Simpson (ID) y equidad de Pielou (IJ) para los municipios muestreados y a nivel regional (Montes de María).

	S_{obs}	N	IH	IJ	ID
El Carmen de Bolívar	18	480	2,3	0,7	0,14
San Jacinto	19	436	2,5	0,8	0,11
San Juan Nepomuceno	22	386	2,6	0,8	0,10
Muestra Regional	26	1302	2,6	0,8	0,11

Diversidad y similitud de especies

A nivel regional, el índice de Shannon-Wiener arrojó un valor de 2,63, el de equidad de Pielou fue de 0,81 y el de dominancia de Simpson 0,11 (tabla 4). En cuanto al Índice de Sørensen, para todos los pares de municipios comparados se obtuvieron valores de similitud iguales o mayores al 80 %, siendo San Jacinto y San Juan Nepomuceno los municipios más homogéneos, con 82,93 %, siguiéndole San Jacinto y el Carmen de Bolívar, con 81,08 %, en tanto que los menos homogéneos

fueron El Carmen de Bolívar y San Juan Nepomuceno, con 80 %.

De acuerdo con las curvas de acumulación y estimación de especies (figura 6), se evaluó la completitud en función de la riqueza específica obtenida (26 especies). Para el estimador de Chao-1 se proyectaron 26 especies (completitud: 100 %), en tanto que para los restantes estimadores se obtuvieron los siguientes resultados: Chao-2: 27,6 (93,9%), Jackknife-1: 29,9 (86,8%), Jackknife-2: 31,2 (83,2%), y Bootstrap: 28,8 (92,5%).

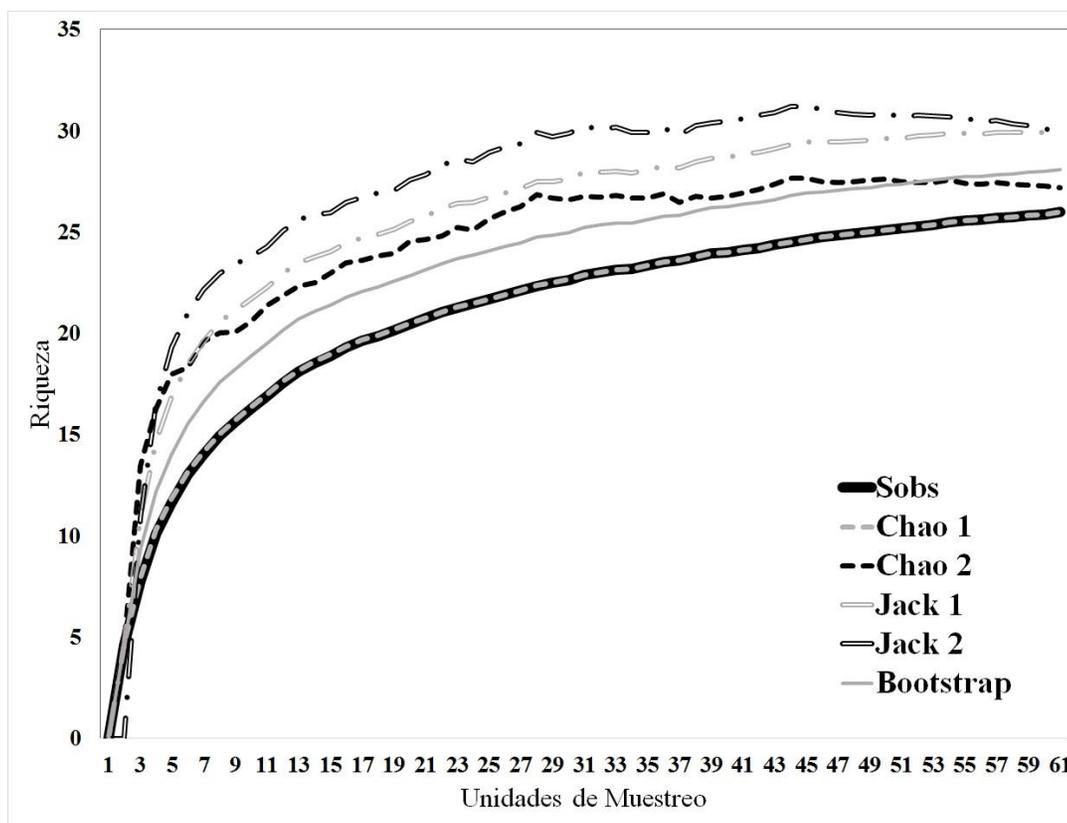


Figura 6. Curvas de acumulación de especies observadas (Sobs) y estimadas en el área de estudio.

Discusión

Composición botánica

Los valores de riqueza (26 especies) y densidad (87 individuos por ha) resultantes se encuentran dentro de los valores reportados en otras zonas cacaoteras del mundo, siendo incluso superior a los de algunos municipios del estado de Chiapas, México (Roa-Romero *et al.*, 2009; Avendaño-Arrazate *et al.*, 2021) y similares a los registrados en zonas semideciduas del este de Ghana (Asigbaase *et al.*, 2019). En contraste, la diversidad resultó ser menor a la reportada para la reserva indígena de Talamanca, Costa Rica (Guiracocha *et al.*, 2001) y, en lo que respecta a Colombia, menor a las obtenidas en municipios con ecosistemas de bosque seco tropical en el departamento del Huila (Ordoñez-Espinosa y Rangel-Ch, 2020) y en la región amazónica (Rojas-Molina *et al.*, 2021).

Los productores de cacao de Montes de María sembraron sus cacaotales en áreas de cultivos de aguacate (Burbano-Figueroa, 2019) y priorizaron aquellas especies arbóreas que provenían de relictos de bosque o que se obtuvieron por

regeneración natural, en donde sobresalen algunas especies longevas y con gran aporte de área basal, como *A. excelsum*, *C. pentandra*, *A. saman*, *M. indica* y *S. mombin* (tabla 2). Por tanto, se deduce que los arreglos no corresponden a los recomendados por paquetes tecnológicos ofrecidos en otras zonas de Colombia y a las prácticas de manejo asociadas a ellos (Pinzón *et al.*, 2012; Jaimes *et al.*, 2021), afectando de esta forma el rendimiento del cultivo de cacao e incrementando, mediante su diversidad, los servicios ecosistémicos (Bisseleua y Vidal, 2007; Andrade *et al.*, 2017).

Índices de valor de importancia para especies (IVI) y familias (IVF)

Los sistemas agroforestales de cacao en la subregión de los Montes de María, están conformados por especies y familias típicas del ecosistema bosque seco tropical, así mismo, dominados por especies de importancia ecológica y económica como lo son *G. sepium* y *P. americana*, especies que, de acuerdo con el IVI, fueron las más relevantes. En el caso de la primera, su relevancia se debió a la variedad de usos que tienen por parte de los productores (tabla 1) y a los beneficios que proporciona para el desarrollo de los

cacaotales, especialmente la rapidez de crecimiento, adecuación de suelos y proporción de sombra. La relevancia de la segunda especie se debe a la importancia económica que tiene para la población montemariana (Yabrudy-Vega, 2012; Burbano-Figueroa, 2019). Además, Marín *et al.* (2016) encontraron que este tipo de arreglos pueden almacenar hasta 31,7 t C/ha, por lo que su uso en asocio con otras especies de bosque seco tropical puede convertirse en una estrategia que aporte al incremento de los sumideros de carbono. Así mismo, se constituye en una importante fuente de nutrientes del suelo a través de su hojarasca, lo que puede favorecer la producción (Jaimez y Franco, 1999). Es importante tener en cuenta que tanto el aguacate como el cacao son afectados por agentes fitopatológicos del género *Phytophthora*, no obstante, *P. cinnamomi*, que es el agente causal del marchitamiento del aguacate, en otra región con bosque seco tropical (Departamento del Cesar-Colombia) no ha incrementado el riesgo de afectación a cacaotales en asocio con aguacates (Tofiño *et al.*, 2012), lo que es importante debido a que esta enfermedad es la principal limitante de este cultivo en la subregión de los Montes de María (Burbano-Figueroa, 2019).

Menores valores de IVI correspondieron a las especies *Cassia grandis*, *S. mauritiiformis*, *C. odorata*, *T. roseae*, y *M. bijugatus*, lo que se atribuye a actividades antrópicas extractivas para el aprovechamiento de los bienes y servicios que ofrecen estos taxones. Esta tendencia ha sido también registrada en el departamento del Huila y en la región norte del Caribe colombiano (Ordoñez-Espinosa y Rangel-Ch, 2020; García *et al.*, 2021). Según los valores del IVF, la familia más destacada fue Fabaceae, lo que se debe a su alta capacidad adaptativa, fisiológica y estructural, características que sustentan su importancia en los ecosistemas de bosque seco tropical en Colombia (Mendoza-C, 1999; Pizano y García, 2014).

Persistencia de las hojas

La mayor proporción de las especies fueron caducifolias (42%) (tabla 1), condición que favorece la adaptación de estos taxones al bosque seco tropical (Pizano y García, 2014); sin embargo, se ha demostrado que este tipo de especies con deshoje mayor afectan el rendimiento fisiológico de los árboles de cacao y por consiguiente su rendimiento productivo, especialmente en épocas secas (Agudelo-Castañeda *et al.*, 2018; Ordoñez-Espinosa *et al.*, 2021), siendo este un problema que actualmente afecta los cacaotales de la región, debido a que Montes de María posee dos épocas marcadas de bajas precipitaciones (junio-julio y diciembre-

febrero) (Burbano-Figueroa, 2019). Por ello, se ha observado escasez de sombrío en estas épocas a causa de los doseles caducifolios, afectándose de esta forma los cultivos de cacao.

Origen y estados de conservación

Se destaca que la vegetación obtenida en este estudio es típica de la composición florística del bosque seco tropical para la región Caribe colombiana (Pizano y García, 2014; Bernal *et al.*, 2019). Se registraron 20 especies nativas y siete especies con algún grado especial de preservación. De acuerdo con la fragilidad del ecosistema en Montes de María (Pizano y García, 2014), esta condición ha favorecido la presencia de instituciones durante los últimos años en la región, en donde han empleado el cultivo de cacao como medio para la conservación, siendo este un potencial que algunos autores han evaluado (Guiracocha *et al.*, 2001; Asigbaase *et al.*, 2019).

Se resalta que algunas especies presentan algún grado de amenaza. De acuerdo a Pizano y García (2014), la especie *Anacardium excelsum* se le ha sido asignado un estado entre preocupación menor y casi amenazada, en tanto que *Ceiba pentandra*, *Cordia alliodora* y *Handroanthus chrysanthus* presentan un estado de preocupación menor. Por su parte, *Cedrele odorata* se encuentra en peligro crítico, *Sabal mauritiiformis* se encuentra casi amenazada y *Vachellia farnesiana* tiene alto potencial de riesgo de invasión biológica.

Estructura

En lo referente a la altura de los individuos registrados, el mayor número de ejemplares se ubicó en el intervalo 12,01-15 m, mientras que de acuerdo a la metodología propuesta por Somarriba (2004) el mayor número de individuos se ubicó en el estrato medio. Esta distribución altimétrica es similar a la encontrada en otras regiones, como es el caso de Cárdenas, Chiapas (México) y el Amazonas colombiano (Sánchez *et al.*, 2016; Avendaño-Arrazate, 2021; Rojas-Molina *et al.*, 2021). Estos rangos de distribución demostraron que los arreglos agroforestales de cacao en la subregión se asemejan a bosques jóvenes o secundarios, muy similar a lo registrado por Rojas-Molina *et al.* (2021) en el Amazonas. La especie *P. americana*, con una altura promedio de 13,20 m ($\pm 0,53$), tuvo la mayor frecuencia en el rango de 12,01 a 15 m, lo que coincidió con Burbano-Figueroa (2019), quién documentó que en Montes de María los individuos de esta especie pueden alcanzar alturas de hasta 15 m. En referencia a la información basimétrica, se determinó que las especies de sombrío aportaron en promedio 18 m² de área basal por

hectárea, valor mayor al reportado en Huila, Colombia (Ordoñez-Espinosa y Rangel-Ch, 2020) y similar a la media de Cárdenas, México (Sánchez *et al.*, 2016).

Diversidad y similitud de especies

El índice de Shannon-Wiener arrojó una diversidad media (2,63), lo que indica que hubo homogeneidad en la diversidad proporcional. Este valor se atribuye al manejo marginal y tradicional de los cacaotales por parte de los productores (Abbott *et al.*, 2019), los cuales no han implementado un paquete tecnológico adecuado. Este resultado guarda relación con lo observado en otras regiones, en donde la intensificación de la producción es mayor y la diversidad de las especies de sombrero tiende a disminuir (Bisseleua y Vidal, 2008; Guiracocha *et al.*, 2001; Asigbaase *et al.*, 2019). Los productores muestreados en este estudio se preocupan por mantener su diversidad, debido a los servicios ecosistémicos que les proporcionan estas especies. En similares estudios también se comprobó la importancia que los agricultores le asignan a los servicios ecosistémicos en zonas de bosque seco en el Tolima, especialmente en lo atinente a la protección de las fuentes hídricas (Andrade *et al.*, 2016).

Con relación a la similitud entre pares de municipios, el índice de Sørensen evidenció que los tres municipios considerados en el estudio presentan alta semejanza entre sí. Lo anterior se debe a que las plantaciones de cacao de los tres municipios se encuentran cercanas, como también a un patrón de semejanza con respecto a las prácticas de establecimiento de los cacaotales, debido a que esas siembras fueron promovidas simultáneamente por el gobierno colombiano (Aguilera-Díaz, 2013).

En cuanto a las curvas de acumulación para especies observadas y estimadas, se encontró que a nivel regional estas son equitativas y poseen tendencia a normalizarse. En lo referente a la completitud, el muestreo fue satisfactorio, debido a que superó el 85 % de completitud según todos los estimadores calculados (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003; Villarreal *et al.*, 2004), exceptuando el de Jackknife-2 que arrojó un valor de 83,2 %. Sin embargo, el indicador de Jackknife-2 es más cercano a la riqueza verdadera para unidades de muestreo menores de 30, situación contraria al presente estudio en donde el número de unidades de muestreo fue de 60, en donde el de Jackknife-1 es más preciso (López-Gómez y Williams-Linera, 2006). La información anterior sugiere que a pesar de que la riqueza en este estudio no fue igual a la estimada, el enfoque de muestreo fue satisfactorio, por lo que

se recomienda la réplica de esta metodología en regiones con ecosistema similar y el uso de estimadores no paramétricos para plantas leñosas, como los basados en la técnica Jackknife.

Agradecimientos

A las familias de cacaoteros de la subregión de los Montes de María, especialmente a la del profesor Edgardo Rafael Torres Castellar. Al personal técnico de la Asociación Nacional Cacaotera de Colombia (Red Cacaotera): Ángela Aya Hernández, Ariel Alfonso Arias, Claudia Serrano Balmaceda, Leyner Barrios Jaraba, Ornella Repizzo Alfonso, Sair Mendoza Contreras, y a su gerente, Miguel Ángel Vargas Caro. Se agradece a Harold Arango Moreno y al programa Riqueza Natural de USAID, por haber financiado los esfuerzos en adopción de prácticas agroecológicas en fincas cacaoteras en la subregión de los Montes de María y, por último, a Juan Fernando Gutiérrez Cárdenas y a Everth Ebratt Ravelo, por sus valiosos conocimientos sobre el subsector cacaotero y la biodiversidad.

Referencias

- Abbott, P.C., Benjamin, T.J., Burniske, G.R., Croft, M.M., Fenton, M., Kelly, C.R., Lundy, M., Rodríguez-Camayo, F. y Wilcox, M.D. 2018. *Análisis de la cadena productiva de cacao en Colombia*. United States Agency for International Development – USAID, Santiago de Cali.
- Agudelo-Castañeda, G.A., Cadena-Torres, J., Almanza-Merchán, P.J., y Pinzón-Sandoval, E.H. 2018. Desempeño fisiológico de nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo la sombra de tres especies forestales en Santander, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 12 (1): 223-232. Doi: <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7341>
- Aguilera-Díaz, M.M. 2013. Montes de María: una subregión de economía campesina y empresarial. Documentos de trabajo sobre economía regional y urbana; No. 195. Banco de la Republica, Cartagena.
- Andrade, H.J., Segura, M., y Sierra, E. 2017. Percepción local de los servicios ecosistémicos ofertados en fincas agropecuarias de la zona seca del norte del Tolima, Colombia. *Revista Luna Azul* 45: 42-58. Doi: <https://doi.org/10.17151/luaz.2017.45.4>.
- Asigbaase, M., Sjoergersten, S., Lomax B.H. y Dawoe, E. 2019. Tree diversity and its ecological importance value in organic and conventional cocoa agroforests in Ghana. *PLoS ONE* 14 (1): 1-19. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210557>.
- Avenidaño-Arrazate, C.H., Suárez-Venero, G.M., Mendoza-

- López, A., Martínez-Bolaños, M., Reyes-Reyes, J. y Espinosa-Zaragoza, S. 2021. Composición arbórea de especies asociadas al cacao: selva Lacandona y sistemas agroforestales, Chiapas, México. *Agronomía Mesoamericana*, 32 (2): 365-381. Doi: <https://doi.org/10.15517/am.v32i2.41630>.
- Bernal, R., Gradstein, S.R., y Celis, M. 2019. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Disponible en: <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co> . Consultado: 10 octubre de 2021.
- Bisseleua, H., y Vidal, S. 2008. Plant biodiversity and vegetation structure in traditional cocoa forest gardens in southern Cameroon under different management. *Biodiversity and Conservation* 17: 1821-1835. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9276-1>.
- Burbano-Figueroa, O. 2019. Sistemas agroforestales de aguacate antillano en Montes de María (Colombia): un modelo conceptual del sistema de producción. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 25 (2): 75-102. Doi: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.09.018>.
- Cordero, J., y Boshier, D.H. 2003. Descripción de especies de árboles nativos de América Central. En: Cordero, J., y Boshier, D.H. Editores. *Árboles de Centroamérica. Un Manual para Extensionistas*. Instituto Forestal de Oxford-CATIE. San José de Costa Rica.
- García, H., Carbonó-De la Hoz, E., y Barranco-Pérez, W. 2021. Diversidad beta del bosque seco tropical en el norte del Caribe colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 45 (174): 95-108. Doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyfn.1267>.
- Gentry, A. 1982. Patterns of neotropical plant species diversity. En: Hecht M.K., Wallace B., Prance G.T. Editores. *Evolutionary Biology*. Boston: Springer, Boston.
- González-Oreja, J.A., De la Fuente-Díaz-Ordaz, A.A., Hernández-Santín, L., Buzo-Franco, D. y Bonache-Regidor, C. 2010. Evaluación de estimadores no paramétricos de la riqueza de especies. Un ejemplo con aves en áreas verdes de la ciudad de Puebla, México. *Animal Biodiversity and Conservation* 33.1: 31-45.
- Guiracocha, G., Harvey, C.A., Somarriba, E., Krauss, U. y Carrillo, E. 2001. Conservación de la biodiversidad en sistemas agroforestales con cacao y banano en Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8 (30): 7-11.
- Jiménez-Valverde, A. y Hortal, J. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología* 8 (31): 151-161.
- Hernández-Camacho, J., y Sánchez, H. 1992. Biomas terrestres de Colombia. En: Halffter, G. Editor. *La diversidad biológica iberoamericana I*. Acta Zoológica Mexicana, México. D.F. Instituto de Ciencias Naturales (ICN). 2021. Herbario Nacional Colombiano, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <http://www.biovirtual.unal.edu.co/es/colecciones/search/plants/>. Consultado: 10 octubre de 2021.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2022. Atlas climatológico de Colombia. Disponible en: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html> . Consultado: 10 diciembre de 2021.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 1997. Mapa Digital de Suelos del Departamento de Bolívar, República de Colombia. Escala 1:100.000. Disponible en: <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia> . Consultado: 10 diciembre de 2021.
- IPNI. 2021. International Plant Name Index (IPNI). Disponible en: <https://www.ipni.org/> . Consultado: 10 octubre de 2021.
- Jaimes, Y.Y., Agudelo, G.A., Báez, E.Y., Rengifo, G.A., y Rojas-Molina, J. 2021. Modelo productivo para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el departamento de Santander. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA. Doi: <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7404647>.
- Jaimez, R., Franco, W. 1999. Producción de hojarasca, aporte en nutrientes y descomposición en sistemas agroforestales de cacao y frutales. *Agrotrópica* 11 (1): 1-8.
- López, C. R., Sarmiento, C., Espitia, L., Barrero, A.M., Consuegra, C., y Gallego, C., B. 2016. *100 plantas del Caribe colombiano. Usar para conservar: aprendiendo de los habitantes del bosque seco*. Fondo Patrimonio Natural, Bogotá D.C.
- López-Gómez, A.M., y Williams-Linera, G. 2006. Evaluación de métodos no-paramétricos para la estimación de riqueza de especies de plantas leñosas en cafetales. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 78: 7-15. Doi: <https://doi.org/10.17129/botsoci.1717>.
- MADR. 2021. Cadena de cacao, cifras sectoriales. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales. Disponible en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf> . Consultado: 10 diciembre de 2021.

- Marín Q., M. del P., Andrade, H.J., y Sandoval, A.P. 2016. Fijación de carbono atmosférico en la biomasa total de sistemas de producción de cacao en el departamento del Tolima, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 19 (2): 351-360. Doi: <https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n2.2016.89>.
- Martínez-Sánchez, J.L. 2016. Comparación de la diversidad estructural de una selva alta perennifolia y una mediana subperennifolia en Tabasco, México. *Madera y Bosques* 22 (2): 29-40. Doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2016.2221322>.
- Mendoza-C., H. 1999. Estructura y riqueza florística del bosque seco tropical en la región Caribe y el valle del río Magdalena, Colombia. *Caldasia* 21: 70-94.
- Moreno, C.E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA, Sociedad Entomológica Aragonesa, Aragón.
- Ordoñez-Espinosa, Claudia-Mercedes, Suárez-Salazar, Juan-Carlos, Rangel-Churio, Jesús-Orlando y D., Saavedra-Mora. 2021. Los sistemas agroforestales y la incidencia sobre el estatus hídrico en árboles de cacao. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 19 (1): 256-267. Doi: <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n1.2021.1623>.
- Ordoñez-Espinosa, Claudia-Mercedes, y Rangel-Ch, J. 2020. Composición florística y aspectos de la estructura de la vegetación en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.-Malvaceae) en el departamento del Huila, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 44 (173): 1033-1046. Doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1183>.
- Pinzón, J., Rojas, J. Rojas, F., Ramírez, O., Moreno, F. y Castro, G. 2012. *Guía técnica para el cultivo del cacao*. Fedecacao. Bogotá. D.C.
- Pizano, C., y García, H. 2014. *El Bosque Seco Tropical en Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D.C.
- POWO. 2022. Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Disponible en: <http://www.plantsoftheworldonline.org/>. Consultado: 10 octubre de 2021.
- Rangel-Ch., J.O., y Velázquez, A. 1997. Métodos de estudio de la vegetación. En: Rangel-Ch., J.O., Lowy-C., P., y Aguilar-P., M. Editores. *Colombia diversidad biótica II: Tipos de vegetación en Colombia*. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.
- Ríos, F., Ruiz, A., Lecaro, J., y Rehpani, C. 2017. *Estrategias país para la oferta de cacaos especiales -Políticas e iniciativas privadas exitosas en el Perú, Ecuador, Colombia y República Dominicana*. Fundación Swisscontact Colombia. Bogotá D. C.
- Roa-Romero, H., Salgado-Mora, M.G., y Álvarez-Herrera, J. 2009. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Soconusco, Chiapas – México. *Acta Biológica Colombiana* 14 (3): 97-109.
- Rojas-Molina, J., Ramos, P., Castro, M., Pesca, A., Vargas, Y., y Escobar, L. 2021. Estructura y composición florística de bosques asociados a especies de *Theobroma* en la Amazonía colombiana. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12 (68), 128-150. Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i68.1078>.
- Sánchez, F., Pérez-Flores, J., Obrador, J., Sánchez, Á., y Ruiz-Rosado, O. 2016. Árboles maderables en el sistema agroforestal de cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 14: 2711-2733. Doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i14.440>.
- Somarriba, E. 2004. ¿Cómo evaluar y mejorar el dosel de sombra?. *Agroforestería en las Américas* (41-42): 122-130.
- Somarriba, E., y Beer, J. 2011. Productivity of *Theobroma cacao* agroforestry systems with timber or legume service shade trees. *Agroforestry systems* 81 (2): 109-121. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9364-1>.
- Tofiño, A., Cabal, D. y Gil, L.F. 2012. Análisis de componentes del sistema productivo de aguacate, con incidencia probable de *Phytophthora* en Cesar, Colombia. *Avances en Investigación Agropecuaria* 16 (2): 63-90.
- Trópicos. 2021. Trópicos. Missouri Botanical Garden. Saint Louis, USA. Disponible en: <https://www.tropicos.org/home>. Consultado: 10 octubre de 2021.
- Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M. y Umaña, A. M. 2004. *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C.
- Williams, K.J. 2019. Using cacao to catalyze development: productivity drivers and technology adoption amongst smallholder farmers in Montes de María, Colombia. Tesis de Maestría, Cornell University, New York, United States.
- Yabrudy-Vega, J. 2012. El aguacate en Colombia: Estudio de caso de los Montes de María, en el Caribe colombiano. Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana; No. 171. Banco de la República, Cartagena

Composición mineralógica de algunos suelos del norte del departamento de Magdalena, Colombia

Mineralogical composition of some soils from the north of the department of Magdalena, Colombia

Sonia Esperanza Aguirre-Forero , José Rafael Vásquez Polo  y Nelson Piraneque* 

Programa de Ingeniería Agronómica, Facultad de ingeniería, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia

Resumen

Los análisis mineralógicos de suelos son necesarios para explicar características físico-químicas genéticas y taxonómicas inherentes a los mismos y su evaluación integral con el fin de obtener conocimiento real y completo del recurso y su manejo adecuado. En este trabajo se propuso como objetivo identificar la composición mineralógica de seis zonas ubicadas en el norte del departamento del Magdalena, región aledaña a la Sierra Nevada de Santa Marta Colombia, localizada en clima cálido seco. Para ello, se seleccionaron suelos donde se desarrollan los cultivos agrícolas de mayor importancia en la región y de bosques aledaños a fin de establecer limitaciones y potencialidades. El estudio fue descriptivo con recopilación de información edafoclimática de la zona y recolección de muestras para su posterior análisis mineralógico. Los resultados evidenciaron predominio de clima cálido seco y muy seco con temperatura promedio de 27 °C suelos de régimen ústico. La fracción mineral de arena está asociada a contenidos de cuarzo y feldspatos mientras que la fracción fina, reporta biotita y Haloisita en 100 % de las muestras. En las zonas 2 y 4 evidenciaron además contenidos de esmectita, en la zona 3 clorita y en la 2 se registró una muestra halita (1,3 %). El análisis de la composición porcentual mineralógica confirma que los suelos estudiados presentan bajo grado evolutivo debido a las condiciones de humedad ústico, que controla el desarrollo de los suelos, lo que limita la transformación de los minerales fácilmente alterables.

Palabras clave: mineralogía de arenas; mineralogía de arcillas; difracción de rx; fertilidad real del suelo; fertilidad potencial del suelo; suelos tropicales

Abstract

The mineralogical analyses of soils are necessary to explain the genetics, taxonomic, and physical-chemical characteristics and their critical evaluation to obtain actual and complete knowledge of the resource and its adequate management. In this work, the objective was to identify the mineralogical composition of six subzones in the north of the department of Magdalena, a region adjacent to the Sierra Nevada de Santa Marta Colombia, in a dry climate. The soils of the most important crops in the area and surrounding forests were selected to establish limitations and potentialities. The study was descriptive with the compilation of edaphic and climatic information and mineralogical analysis. The results showed a predominance of dry and very dry warm climates with an average temperature of 27 °C and an ustic soil regime. The sand mineral fraction is associated with quartz and feldspar content. In contrast, the fine fraction reports Biotite and Haloisite in 100 % of the samples. Zones 2 and 4 also showed Smectite content; in zone 3, Chlorite, and zone 2, a Halite sample (1.3 %) was reported. The analysis of the percentage mineralogical composition confirms that the soils studied present a low evolutionary degree due to the ustic regime that controls the soil development, limiting the alteration of the most labile minerals.

Key words: sand mineralogy; clay mineralogy; diffraction rx; real soil fertility; potential soil fertility; tropical soils

*Autor de correspondencia: npiraneque@unimagdalena.edu.co

Editora: Saeko Gaitán

Recibido: 21 de abril de 2022

Aceptado: 30 de junio de 2022

Publicación en línea: 30 de junio de 2022

Citar como: Aguirre, S., Vásquez, J. y Piraneque, N. 2022.

Composición mineralógica de algunos suelos del norte del departamento de Magdalena, Colombia. *Intropica* 17(1):61-71

Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.4561>.



Introducción

La mineralogía es una rama de las Ciencias Geológicas que estudia la evolución de la fase sólida inorgánica de los suelos, permite identificar, describir e interpretar las características y presencia de los componentes mineralógicos resultado de la herencia y los procesos de oxidoreducción, deshidratación, recristalización, cementación, litificación, mineralización y sustitución de minerales que en conjunto se conoce como autogénesis, pero que puede variar según a la evolución sedimentario-pedológica de cada territorio (Imbellone *et al.*, 2016). Conocer parámetros mineralógicos es de gran beneficio para orientar prácticas agrícolas y rehabilitar suelos degradados, así como poder orientar y establecer trabajos en la zona de estudio. Los suelos presentes en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) presentan alta y variada heterogeneidad debido a la presencia de diferentes materiales parentales y la alta diversidad de condiciones biológicas y climáticas. El conocimiento existente sobre los suelos del departamento del Magdalena es bastante limitado y fragmentado lo que limita la planificación y el uso adecuado de la tierra.

Antecedentes

Los suelos en el departamento del Magdalena se han derivado de una gran variedad de materiales, tanto in situ como transportados. En el sector del macizo montañoso de la Sierra Nevada que se encuentra en el departamento del Magdalena, los materiales son de variada naturaleza y complejidad. Más de la mitad del macizo consta de rocas ígneas intrusivas félsicas e intermedias, caracterizadas por alto contenido de SiO_2 , AlO_3 , K_2O y NaO_2 y moderados a bajos en FeO , MgO y CaO (Torres *et al.*, 2004). El resto, está constituido por rocas volcánicas y metamórficas entre las que sobresalen los gneises de protolito ígneo y esquistos de composición variada. El incipiente desarrollo de los suelos localizados en las partes altas asociado a las filas y vigas desarrollados a partir de diferentes materiales ígneos y metamórficos, se debe primordialmente a los procesos erosivos y continuos a que están sometidos; el proceso erosivo se opone, a través del tiempo, a la acción de los factores y procesos de formación, por lo que los suelos estarán en busca del equilibrio con su medio ambiente. En los planos de inundación de la planicie y valles aluviales, el proceso pedogenético se ve interrumpido continuamente por el aporte periódico de sedimentos a través de las inundaciones que enriquecen los suelos por aportes de las especies mineralógicas provenientes de las partes altas de la montaña, iniciándose muchas veces un nuevo ciclo de formación (Instituto Geográfico

Agustín Codazzi (IGAC), 2009).

Así, se diferencian dos zonas geomorfológicas: la zona montañosa al nororiente y una extensa planicie al suroccidente su génesis es de un ambiente anhidro y de alta presión en cuyas condiciones se han cristalizado las rocas madres originales, probablemente rocas ígneas desde composición silícea hasta andesitas y dacitas con complejo de rocas metamórficas y en el oeste, depósitos sedimentarios cuaternarios. Las características litológicas son: metagranodiorita anfibólica de textura granoblástica grano grueso a medio, con megacristales de anfíbol, algunos epidotizados en una matriz de cuarzo plagioclasa y feldespato potásico; anfibolita con fenocristales de plagioclasa, granitoide rico en cuarzo, anfibolita masiva con estructura traquítica, neis cuarzo feldespático con bandas anfibólicas y biotíticas, y calcita y anfibolita calcárea en una relación incierta (Hernández, 1996).

Por su parte, el clima es un factor formador determinante de los suelos, su acción no solo se traduce como causal diferenciadora de ellos, sino que la vegetación y los organismos presentes y condiciona o controla, junto con la forma de relieve, el agua efectiva, que, al pasar por los materiales edáficos, causa disolución, translocación, lixiviación, reorganización mineralógica y redistribución de materiales como coloides y nutrientes. En la megacuenca de sedimentación el clima es cálido seco, pertenece en su gran mayoría a la formación bosque seco tropical. La vegetación imperante de esta zona tiene poca influencia como factor formador de suelos debido a los escasos aportes de materia orgánica (Ghimire *et al.*, 2017; Piraneque *et al.*, 2018), las plantas son de escaso y fino follaje; así mismo, las altas temperaturas aceleran la mineralización de la materia orgánica.

A pesar del bajo contenido de materia orgánica, el humus evoluciona en condiciones de alternancia estacional de precipitación y temperaturas altas (los regímenes ústico y árido abarcan el 65 % de la zona).

Para el estudio de la mineralogía de los suelos en la región Caribe colombiana Malagón y Marino (1997) definieron ocho asociaciones que configuran la distribución y abundancia de especies minerales en la fracción arena de los suelos del Caribe colombiano. En forma sintética, estas asociaciones permiten diferenciar dos clases de suelos: a) Los cuarcíticos y b) Los feldespáticos; cada una de estas clases admite matices según los minerales accesorios que acompañan al mineral predominante; el caso de excepción lo constituyen dos porciones del área, una la zona periférica externa de la Sierra

Nevada de Santa Marta y la otra el extremo suroccidental de la región, en inmediaciones del Golfo de Urabá; en esas dos áreas los suelos contienen predominantemente minerales alterados. La fracción arcillosa de los suelos se agrupó en cuatro clases: esmectíticos, caoliniticos, micáceos y vermiculíticos. Estas clases configuran ocho asociaciones, en las cuales los constituyentes principales están acompañados por cuarzo, gipsita y micas o illita.

En la región se aprecia la amplia distribución de esmectita, dominante en toda el área con excepción de la Sierra Nevada y al sur- oriente de la Serranía del Perijá; de otra parte, la caolinita parece concentrarse más en áreas periféricas de la Sierra Nevada de Santa Marta, en una franja angosta al extremo inferior oriental de la región y en una porción del sector sur de la misma, donde aparecen también escasas franjas de suelos vermiculíticos. Los minerales micáceos se concentran en la Guajira, donde se intercalan con la ocurrencia de esmectita en las vecindades de la Serranía de La Macuira (Malagón y Marino, 1997).

Según Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC (2009) y Aguirre *et al.* (2015), la mineralogía de los suelos de las zonas estudiadas del departamento del Magdalena está dominada por Caolinita (5-30 %), Cuarzo (desde trazas hasta 50 %), micas (micas 5-50 %), feldespatos (trazas-30 %), montmorillonita (30-50 % en zona 2 y 4) y vermiculita (5-30 %). En la zona 3, que se encuentra en el límite entre el departamento del Magdalena con la Guajira, se caracteriza por la presencia de cuarzo (21-54 %), micas (5-50 %), vermiculita (5-30 %), feldespatos (10-30 %), hornblenda (9-20 %) y plagioclasas (10-58 %). La mineralogía de la región admite algunas interpretaciones respecto del origen de los materiales de los suelos, el grado de evolución o etapa intempérica y su fertilidad natural. En el primer caso, la mineralogía parece heredada de una mezcla de sedimentos marinos y continentales (principalmente en las zonas 3, 5 y 6), estos últimos probablemente en estados previos de meteorización, a juzgar por el amplio predominio de cuarzo y caolinita. Por cuanto se refiere al estado evolutivo de los suelos, la ocurrencia de esmectita llevaría a asignarles una moderada madurez, si se acepta que dicha especie es el resultado de procesos de alteración actuantes sobre micas e illita; concordantemente, la vermiculita constituiría también indicador de procesos pedogenéticos poco avanzados en los sectores indicados (Malagón y Marino, 1997).

El objetivo de la investigación fue identificar la mineralogía de seis zonas definidas por Vásquez (2014), ubicadas en el norte del departamento del Magdalena, región aledaña a la Sierra

Nevada de Santa Marta, localizados entre 0 y 1000 msnm donde se encuentran los cultivos agrícolas de mayor importancia en la región y de suelos de bosques aledaños; con el fin de establecer limitaciones y potencialidades del recurso.

Materiales y métodos

El enfoque metodológico de la investigación fue descriptivo con recopilación de características de la zona y muestreo de suelos en campo para su posterior análisis.

Área de estudio

El estudio se realizó en los municipios de Santa Marta, Ciénaga, Dibulla, Aracataca y Zona Bananera, considerados a partir de estudios previos (Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), 2009; Piraneque *et al.*, 2018) como la zona con cultivos de mayor importancia económica (*Coffea arabica*, *Elaeis guineensis*, *Mangifera indica*, cultivos frutales y de hortalizas) al noreste del departamento del Magdalena y localizados entre las coordenadas 11°36'58"- 8°56'25" N y 73°32'50"-74°56'45"O (figura 1).

Zonas de muestreo

Zona 1. Se encuentra en suelos de clima cálido húmedo, de filas y vigas, relieve ligero a fuertemente escarpado; originados de rocas ígneas y metamórficas; profundos y superficiales, bien drenados, texturas franco arenosos y franco arcillosos, bajo contenido de materia orgánica (1,1 a 1,7 %), reacción moderadamente ácida a neutra (pH 5,8 a 6,5) y fertilidad media a alta. Los cultivo predominante en la zona es el café (*Coffea arabica*).

Zona 2. Se encuentra en suelos de clima cálido seco, en posición de terrazas desarrollados a partir de sedimentos medios y gruesos, moderadamente profundos a profundos, bien a imperfectamente drenados, textura franco arcillosa a arenosa franca medias a gruesas y fertilidad moderada a alta, reacción ligeramente ácida a neutra y media saturación de bases, muy bajos contenidos de materia orgánica contenidos altos de cuarzo (80-86 %) y bajos en feldespatos (6-8 %). Cultivo predominante en la zona: palma africana o palma de aceite (*Elaeis guineensis*).

Zona 3. Se encuentran suelos de clima cálidos a seco en posición de marea y terrazas con relieve plano a ligeramente ondulado originados de sedimentos fluviomarinicos, profundos, pobremente drenados de texturas francas, inundables, reacción ligeramente ácida a alcalina, bajos a muy bajos contenidos de materia orgánica y alta saturación de bases. Cultivo predominante en la zona el banano (*Musa* sp).

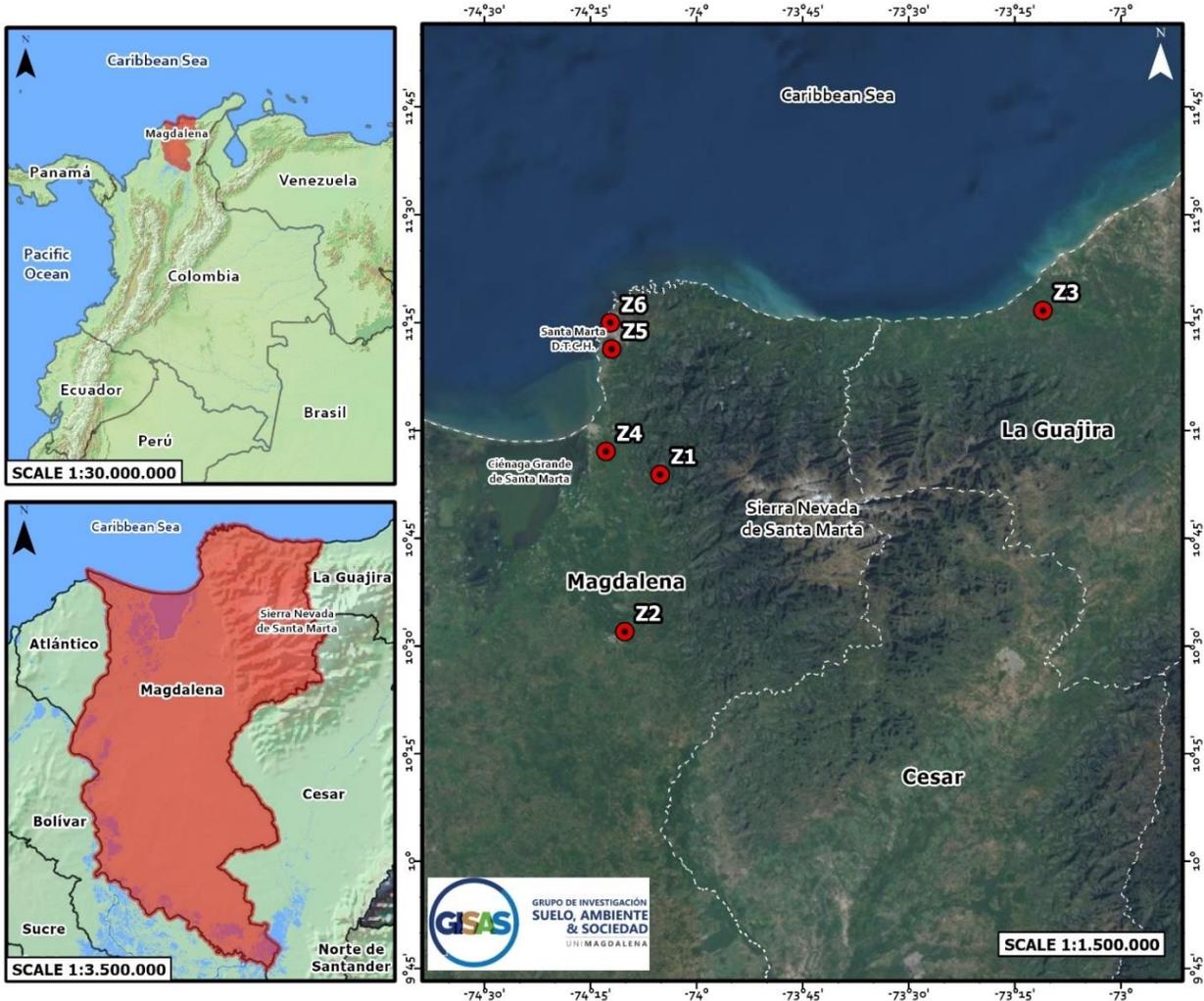


Figura 1. Localización de la zona de estudio y los sitios donde se realizó el muestreo para análisis mineralógico. Sistema geodésico de coordenadas WGS84, Proyección: Transversa de Mercator. Fuente modelo de sombras: imágenes de elevación digital ALOS PALSAR Radiometrically Terrain Corrected (RTC), Alaska Satellite Facility (ASF) 2011. Fuente imagen de fondo: World satellite imagery. Esri, Maxar y Earthstar Geographics.

Zona 4. Se encuentran suelos de clima cálido seco, superficiales, derivados de sedimentos aluviales medios, pobres a bien drenados con textura media a gruesa (franca, franco-limoso y arenoso), reacción extremadamente alcalina con alta saturación de bases y de sales. Cultivo predominante en la zona el banano (*Musa sp*) y Mango (*Mangifera indica*).

Zona 5. Se encuentran suelos de clima cálido muy seco superficiales derivados de sedimentos fluvio-marinos medios, texturas francas a franco limosas reacción alcalina, bajos contenidos de materia orgánica. Los cultivos frutales son los predominantes en la zona.

Zona 6. Se encuentran suelos de clima cálido muy seco, derivados de sedimentos fluvio-marinos finos, superficiales,

excesivamente drenados, texturas gruesas (Franco arcillosas, arenosas y franco arenosas), reacción moderada a fuertemente alcalina (pH superior a 8,5), bajos a muy bajos contenidos de materia orgánica. Los cultivos de hortaliza son los predominantes para esta zona.

Diseño de muestreo

Para efectuar la caracterización se realizó consulta exploratoria de documentos en el tema y, se programaron salidas de campo con el fin de recolectar información *in situ* de la vegetación, las variables ambientales y los tipos de suelos de la zona de estudio.

Durante el muestreo se realizó el reconocimiento preliminar de cada sitio y se pudo identificar dos condiciones de usos de los suelos que se basa en la implementación de cultivos y la

conservación de bosques. Con base a esta caracterización se realizó un muestreo aleatorio estratificado seleccionando en seis zonas diferenciadas por el tipo de uso del suelo: café-bosque en el municipio de Ciénaga, palma-bosque en el municipio de Aracataca, suelos preparado para el banano-bosque en el municipio de Dibulla, banano-mango-bosque en el municipio de Zona Bananera, frutales-bosque en el municipio de Santa Marta y hortalizas-bosque en el municipio de Santa Marta; en cada una de ellas, se escogieron dos sitios de muestreo, uno de cultivo y otro en el área de bosque, excepto en la zona 4 donde se seleccionaron tres sitios: dos de cultivo y uno de bosque. En cada condición se recolectó una muestra compuesta a partir de 10 sub-muestras de suelo por sitio entre 0 y 20 cm de profundidad, para un total de 13 muestras de suelos.

Análisis mineralógico

La separación de las fracciones (arena y arcilla) empleada para la identificación mineral se realizó teniendo en cuenta la metodología de separados del suelo por el método de la pipeta de Robinson; debido a la escasa proporción de materia orgánica (MO), no se aplicó ningún dispersante, lo que previene la formación de artefactos del tipo oxalato y de un incremento del ataque a los materiales primarios de mayor labilidad. Una vez obtenidas las fracciones se procedió a mineralogía óptica de arenas y mineralogía de arcillas por difracción de RX con radiación CuK α en un equipo Philips PM8203 difractometer (Philips, Wavre, Belgium).

Tabla 1. Caracterizaciones edáficas y climáticas de las zonas muestreadas. Fuente: Adaptado por los autores de IGAC (2009), Vásquez (2014), Soil Survey Staff (2014) y WRB (2014).

Característica	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6
Uso del suelo	Cultivo de café <i>Coffea arabica</i> y bosque húmedo tropical	Palma africana (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq) y bosque seco tropical	Suelo preparado para banano (momento del muestreo) y Bosque seco tropical	Cultivos de banano (<i>Musa</i> sp.) y mango (<i>Mangifera indica</i>) y bosque seco tropical	Cultivos de frutales y bosque seco tropical	Cultivo de hortalizas y Bosque muy seco tropical
No de Familias vegetales	16	8	14	14	14	10
Ubicación	Vereda Kennedy, Municipio Ciénaga	Municipio de Aracataca	Corregimiento las flores, Dibulla	Sector la aguja, Zona Bananera	Granja del SENA Agropecuario, Santa Marta	Granja Experimental Universidad del Magdalena, Santa Marta.
Coordenadas	10°53'52.27"N 74°05'09"W	10°32'00"N 74°10'09"W	11°16'41.2"N 73°11'01"W	10°57'06"N 74°12'48.19"W	11°11'-11°15'N 74°07'- 74°12' W	74°07' - 74°12' W 11°11' - 11° 15' N

Las muestras se analizaron por el método de polvo (Abad y Velilla, 2018) para la identificación y determinación semi-cuantitativa de fases minerales predominantes. El equipo trabajó con cátodo de cobre y longitud de onda 1,74 Å con barridos habituales entre 3°- 65° de ángulo 2 θ con salida sobre registro digital Philips PW 1710 y recogida de datos con ordenadores PC. El control y tratamiento de los difractogramas se efectuó con software X Powder (versión 2008) tanto para el análisis cualitativo como cuantitativo de las muestras. La fracción menor de 2 mm se obtuvo mediante suspensión y decantación, tras suspensión, aplicando la Ley de Stokes (Pelayo *et al.*, 2021).

Resultados

Características de clima y suelo

La descripción de las características de clima, vegetación y suelo se encuentran en la tabla 1. Con los resultados obtenidos los suelos de la zona pertenecen a los órdenes inceptisol (zonas 1, 3, 4 y 5) y entisol (zonas 2 y 6) lo que indican un bajo nivel de evolución en los suelos del Magdalena.

Análisis mineralógico de la fracción arena

La composición de minerales de la fracción arena se aprecian en la tabla 2 donde se aprecia que Cuarzo con 58 % y feldespatos con 13 % son los minerales más representativos en la zona de estudio confirmando el bajo desarrollo de los suelos de la zona tal como lo expresa IGAC (2009).

Composición mineralógica de suelos del norte del departamento del Magdalena

Continuación tabla 1

Característica	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6
Altitud	956 msnm	42 msnm	5 msnm	15 msnm	10 msnm	7 msnm
Clima	Cálido húmedo	Cálido seco	Cálido seco	Cálido seco	Cálido muy seco	Cálido muy seco
Temperatura media	24 °C	28,4 °C	27 °C	27 °C	30 °C	28 °C
Precipitación media	2000 mm	1200 mm	1245 mm	750 mm	880 mm	663 mm
Paisaje	Montaña	Planicie	Planicie	Planicie	Planicie	Planicie
Tipo de relieve	Filas y Vigas	Planos de inundación y terrazas subcrecientes	Relieve plano de marea y terrazas	Planos de inundación	Plano de marea	Planos de marea de la planicie fluvio marina
Pendiente	12-75%	<12 %	3-7 %	<12 %	1-3 %	1-3 %
Litología	Rocas metamórficas (neisses y esquistos cuarcíticos) e ígneas (granodiotitas y cuarzodioritas) granodioritas y cuarzomonzonitas)	Depósitos aluviales finos y medios	Depósitos superficiales clásticos, hidrogénicos mixtos	Sedimentos aluviales finos y medios	Sedimentos fluvio marinos finos y medios	sedimentos fluvio marinos finos y medios
Clasificación de suelos Soil taxonomy (2014)	Typic Eutrudepts	Typic Ustifluvents	Fluventic Haplustepts	Typic Haplustepts	Fluventic Haplustepts	Typic Ustipsamments
Régimen de humedad/temperatura	Údico Isohipertérmico	Ústico Isohipertérmico	Ústico Isohipertérmico	Ústico Isohipertérmico	Ústico Isohipertérmico	Ústico Isohipertérmico
Clasificación de suelos WRB (2014)	Cambisol háplico	Fluvisol háplico	Cambisol fluvéntico endogleyico	Cambisol fluvéntico endogleyico	Cambisol fluvéntico endogleyico	Arenosol háplico

Tabla 2. Composición semicuantitativa de minerales en la fracción arena fina (% en peso).

Zona	M	Usos	% Cuarzo	% Feldespatos	Otros – No determinado	
1	1	Café con sombrío		52	42	6
	2	Bosque		61,1	36	2,9
2	3	Cultivo de palma africana		67	30	3
	4	Bosque seco tropical secundario (relictos)		58	39	3
3	5	Suelo preparado para banano		60,9	35	4,1
	6	Bosque muy seco tropical		61,1	33	5,9
4	7	Cultivo de banano		53,5	41	5,5
	8	Cultivo de mango		64,3	30	5,7
	9	Bosque muy seco tropical		62,1	31	6,9
5	10	Frutales de clima cálido		50	45	5,0
	11	Bosque muy seco tropical		59,8	38	2,2
6	12	Maíz y hortaliza (aji)		58,3	39	2,7
	13	Bosque muy seco tropical		58	37	5

Análisis mineralógico de la fracción arcilla

Las arcillas presentan mayor variabilidad mineralógica que las arenas. En términos generales para todas las zonas los minerales dominantes fueron: biotita (62 %) y la haloisita con un (24 %) (tabla 3), no obstante, se presentan en menor proporción minerales como: el cuarzo (18-24 %) zonas 2 y 3; goethita (13 %), en concordancia con las condiciones climáticas húmedas presentes en la zona 1; feldespatos (4-13 %) zonas 2, 3, 5 y 6;

esmeclitas minerales 2:1 (3-22 %) zonas 2 y 4 caracterizando mayor evolución pedogenética en estos suelos; clorita (2-5%) zona 3; y halita 6 % en la zona 2 suelo cultivado. Los minerales tipo 2:1 dominaron esta fracción en las diferentes zonas, destacando las micas (biotita e illita) como formadores de estructuras básicas para la síntesis de especies arcillosas y a la haloisita del tipo (1:1) como la arcilla dominante y más importante en estos suelos.

Tabla 3. Composición semicuantitativa de minerales en la fracción arcilla (% en peso). Fuente: Adaptado de CSIC Madrid, Teresa González. Parte de trabajo de investigación de los autores.

Zona	M	Usos	Cuarzo	Goethita	Feldespatos	Biotita	Haloisita	Esméctica	Clorita	Halita
1	1	Café con sombrío	-	13	-	67	20	-	-	-
	2	Bosque	-	13	-	63	24	-	-	-
2	3	Cultivo de palma africana	18	-	13	29	21	13	-	6
	4	Bosque seco tropical secundario	24	-	11	30	13	22	-	-
3	5	Suelo preparado para banano	21	-	7	33	34	-	5	-
	6	Bosque muy seco tropical	24	-	12	32	30	-	2	-
4	7	Cultivo de banano	-	-	-	67	30	3	-	-
	8	Cultivo de Mango	-	-	-	82	18	-	-	-
	9	Bosque muy seco tropical	-	-	-	53	25	12	-	-
5	10	Frutales de clima cálido	-	-	9	65	26	-	-	-
	11	Bosque muy seco tropical	-	-	8	65	27	-	-	-
6	12	Maíz y Hortaliza (ají)	-	-	7	74	19	-	-	-
	13	Bosque muy seco tropical	-	-	4	75	21	-	-	-

Discusión

Características de clima y suelo

Cinco de las seis zonas (zona 2 a 6) están en el paisaje de planicie y clima cálido seco con temperaturas promedio que superan 27°C (tabla1). De estas, dos zonas corresponden a planos de inundación (zonas 2 y 4), la zona 3, planos de marea y terrazas y la 5 y 6, corresponden a planos de marea fluvio-marina. En estas cinco zonas, la alteración del bosque tropical favorece la expansión de vegetación herbácea espinosa y degradación del suelo, muchas especies de árboles en la temporada más seca detienen crecimiento y pierden sus hojas como estrategia para sobrevivir, el estrato herbáceo es pobre y discontinuo, lo que refirma escaso flujo de materia orgánica con alto grado de mineralización en zonas intervenidas, suelos expuestos a procesos de meteorización donde la evaporación es más alta que la precipitación, confirma el régimen de humedad presente (ústico), tienden a acumular sales (Aguirre *et al.*, 2021) e incrementan la mineralización de la materia orgánica (Aguirre *et al.*, 2015; Piraneque *et al.*, 2018). En contraste, en la zona 1 ubicada en las estribaciones de montaña con mayor humedad (ústico) se divisan diferentes estratos en el dosel de los árboles (plantas epifitas) con la acumulación de algunos restos orgánicos en la superficie del suelo y mayor oportunidad de aportes de materia orgánica lo que marca la evolución de las especies mineralógicas.

De acuerdo con Wilson (2019), la fase sólida inorgánica de los

suelos proviene del material geológico, o de los minerales generados durante la pedogénesis. La mineralogía descriptiva se ocupa de la clasificación de los minerales en grupos según sus propiedades comunes, principalmente propiedades químicas y estructurales. La difracción de rayos X (XRD) proporciona información importante sobre la historia de la alteración de los minerales y una importante visión de primer orden de las fuentes (para el caso de la zona 1 los esquistos, mientras que en las zonas de planicie una mezcla del producto de la meteorización de las rocas, presentes en la montaña como granitos, grano dioritas, etc., metamórficas esquistos gneises, ortoneises, etc. que pueden estar en las cuencas de los ríos que transportan los materiales que forman la planicie aluvial y fluvio-marina (en los casos donde el mar re TRABAJA los materiales aportados por los ríos.) y procesos responsables de la distribución; para este caso se estableció dos grupos la fracción arena y la fracción fina o arcilla.

Análisis mineralógico de la fracción arena

La fracción arena (0,05-0,25 mm) evidencia una composición simple y homogénea, con predominio del cuarzo (50-67 %) en todas las muestras contrastando con lo descrito por Aguirre *et al.* (2015), Gámez-Ramírez (2012) e Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2009) quienes reportan contenidos de cuarzo entre 21 y 96 %. Otro mineral dominante (tabla 2), en todos los casos fueron los feldespatos que representan del 36 al 50 %, situación reportada por Gámez-Ramírez (2012) y que contrasta por lo registrado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi

(IGAC) (2009) donde estos minerales los reporta en las zonas 1 (19 a 39 %), zonas 2 y 4 (desde trazas hasta 3%), zona 3 (15 a 30 %) y zonas 5 y 6 (10 a 30 %). Estos resultados están acordes a los descritos por Malagón y Marino (1997), quienes caracterizando la mineralogía de la fracción arena al microscopio petrográfico en suelos de la región Caribe colombiana, permitieron diferenciar dos grandes clases de suelos: cuarcíticos y feldespáticos.

Otros minerales descritos que representaron porcentajes inferiores al 5 % no fueron identificados por la técnica utilizada, sin embargo, Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2009) empleando técnica óptica, reportó la presencia de Hornblenda en concentraciones que van desde 2 % (en la zona 1) hasta 20 % en las zonas 3, 5 y 6, plagioclasas 4 a 7 % en zona 1 y 10 a 58 % en las zonas 3, 5 y 6 y biotita (4 a 6 % en zona 1 y trazas a 12 % en zonas 3, 5 y 6).

En suelos de la zona 1 clima cálido húmedo, desarrollados sobre neis y esquistos, se registró la presencia de cuarzo y feldespatos (tabla 2), además de algunos granos alterados principalmente plagioclasas sericitizadas, feldespatos caolinizados y opacos de alteración. En las demás zonas, con suelos derivados de sedimentos coluvio-aluviales y fluvio-marinos, en las áreas cálidas secas, los feldespatos dominan esta fracción; los componentes dominantes de la fracción arena, de los suelos derivados de granodiorita, cuarzodiorita y granito, en condiciones de clima cálido y seco, se componen principalmente de plagioclasa y feldespato potásico con algo de cuarzo y mica (Vásquez, 2014).

Los minerales primarios, son dominantes en estos suelos y de ellos se destacan las micas, con predominio de las biotitas, pero con una illitización incipiente y en un caso (zona 3) con una ligera cloritización, muy probablemente heredada de procesos hidrotermales o metamórficos que afectaron a las biotitas (Vásquez, 2014). El porcentaje de este mineral, que no se ha identificado en las arenas, representa valores superiores al 60 % (60-80 % de la fracción arcilla en las zonas 4, 5 y 6), mientras que en las zonas 2 y 3 se encuentra en torno al 30 %, marcando por el clima reinante (cálido seco) con bajo grado de alteración (tabla 3). Los feldespatos, otros minerales primarios lábiles en los trópicos húmedos, aunque no tanto en los secos, aparecen en proporciones del 5 al 10 % en las zonas 2, 3, 5 y 6, mientras que el cuarzo se encuentra en un porcentaje del orden del 20 % en las zonas 2 y 3, resultados que coinciden con lo descrito por Hernández (1996) quien afirma que "La región de la Sierra Nevada de Santa Marta es un mosaico geológico bastante complejo cuya explicación genética está todavía en estudio".

Análisis mineralógico de la fracción arcilla

La fracción arcilla otorga la fertilidad real o actual de los suelos. Muchas son materiales estratificados donde confluyen diversos minerales dentro de una tendencia común en la que las diferencias se establecen por sitio y son prácticamente irrelevantes y aleatorias en la diferenciación por uso del suelo. La composición mineralógica de la fracción fina pone de manifiesto que se trata de una paragénesis mineral de alteración incipiente como lo describen Mercado et al. (2021) y con escaso tiempo de evolución hacia condiciones de equilibrio (Besoain, 1985). Junto a minerales primarios lábiles, como la biotita, aparecen minerales neoformados como haloisita y en algunos casos esmectitas, minerales 2:1 (zonas 2 y 4), siempre acompañados por minerales más resistentes como feldespatos y en algunos casos (zonas 2 y 3) por cuarzo. Las especies mineralógicas dominantes en las diferentes zonas son la biotita (29 a 82%) y la haloisita (13 a 34%) acompañados por esmectitas (zonas 2 y 4), clorita (zona 3) y halita (zona 2).

Los minerales neoformados que son los indicadores de los procesos de alteración y neoformación y, por tanto, los que señalan la orientación genética de los suelos están constituidos por haloisita, ubicada en todas las muestras con un porcentaje entre 13 y 34% y esmectitas, (minerales 2:1) sólo presentes en planos de inundación y terrazas subcrecientes de las zonas 2 y 4 con porcentajes del 3 al 22% (Tabla 3). La presencia de haloisita indica que la alteración ni es excesivamente intensa, ni se han alcanzado condiciones de alta intemperización que estarían representadas por asociaciones de equilibrio con presencia de caolinita, asociada o no con gibbsita y goethita. Como estos minerales no se han identificado, excepto pequeñas cantidades de goethita en la zona 1 (13 %), se concluye que el grado de alteración es incipiente y que los procesos de neoformación no están favorecidos, produciéndose únicamente una cierta alteración de los feldespatos y biotitas como precursores de arcillas 2:1 que favorecerán la fertilidad y la capacidad de uso de estos suelos, con formación de un mineral no excesivamente ordenado como es la haloisita, pero sin que exista posibilidad de formas y metaestabilizar compuestos amorfos, de bajo grado de ordenación y elevada reactividad.

El drenaje moderado y no excesivamente rápido en el interior del suelo no permite la formación de gibbsita. Además, la práctica ausencia de infiltración, excepto en la zona 1, reduce todavía más los procesos de alteración y neoformación, pudiendo considerarse a los suelos estudiados como "sistemas abiertos, de alteración incipiente y escasamente sustractivos" (Vásquez, 2014), debido a la ausencia o minimización de las

pérdidas por lavado (ETP > P en todos los meses). La presencia de esmectitas en las zonas 2 y 4 debe relacionarse con una reducción del drenaje con la consiguiente ampliación del tiempo de residencia, pero puede ser producida en los suelos actuales o bien en el área fuente de la que proceden los sedimentos.

En síntesis, para los suelos estudiados de la región del Magdalena a pesar de las elevadas temperaturas la meteorización física y la alteración de minerales es escasa y la neoformación de minerales en equilibrio con las condiciones superficiales está muy restringida. Todo ello, está relacionado con las características que impone el carácter semiárido a árido derivado del balance de agua con acumulación de materiales.

Existen diagramas termodinámicos que permiten predecir la sucesión de formación de los minerales a medida que cambia el pH y la concentración de las soluciones (Churchman y Lowe, 2012). La reacción general es:

Mineral primario → Solución → Mineral secundario

Una secuencia de minerales secundarios que se desarrollan por neoformación a partir de minerales no laminados y por transformación (degradación) de silicatos laminados (Modificado de Besoain, 1985) que fue expuesta por Imbellone *et al.* (2016) y puede orientar los posibles procesos pedológicos prospectivos en la zona de estudio son:

Plagioclasa → (sericita) → vermiculita → montmorillonita → Al-esmectita → caolinita → gibbsita

Feldespato-K → montmorillonita → caolinita → gibbsita

Vidrio → geles, alofano → montmorillonita → haloisita → caolinita → gibbsita

Transformación por degradación de silicatos laminados:

Biotita → (clorita) → vermiculita → montmorillonita → Al-esmectita → caolinita → gibbsita

Illita → interstratificados illita-vermiculita → vermiculita → interstratificados vermiculita-montmorillonita → montmorillonita → caolinita → gibbsita

Dado que la mineralogía de arenas y de arcillas tienen marcada influencia en las propiedades físicas (estructuración, distribución de poros, retención de humedad, plasticidad y erodabilidad, entre otras), biológicas (fijación de C, formación de humus, fijación biológica de nitrógeno y regulación climática, entre otras), y químicas (almacenamiento y disponibilidad de nutrientes, pH, entre otras) de los suelos tal como lo mencionan

Delgado y Gómez (2016) y Kome *et al.* (2019) este trabajo presenta grandes implicaciones prácticas pues de él se pueden desprender estudios de fertilidad actual y potencial, lo que es de gran interés para la producción de cultivos en la zona de estudio.

De lo anterior se puede entrever que la zona 1 de montaña, con clima cálido húmedo, presenta limitaciones por pendientes escarpadas, alto grado de procesos erosivos y afloramientos rocosos que unidos a los elevados contenidos de cuarzo, feldespatos y biotita otorgan, principalmente por éstos dos últimos más la oportunidad de mayor acumulación de materia orgánica, alta fertilidad potencial pero baja actual o real, por lo que su uso debe estar enmarcado en la agroforestería o forestal propiamente dicho.

En la zona 2, el clima cálido seco, unido a la baja pendiente, favorecen los procesos de sedimentación y de inundación, aquí la vegetación natural dio paso a la implantación de palma africana, de allí la menor proporción de familias vegetales encontradas. Los contenidos de cuarzo, feldespatos, hornablenda, plagioclasas, biotita y haloisita, verifican el bajo grado de evolución del suelo con alta fertilidad potencial, pero la actual limitada por las altas temperaturas, baja precipitación, acumulación de sales en superficie (manifestada por la presencia de contenidos de Halita), baja CIC, bajos contenidos de materia orgánica, lo que supone manejo adecuado del drenaje mediante obras ingenieriles y de la fertilización para mantener la producción de los cultivos.

En la zona 3, con relieve plano de marea y terrazas en clima cálido, las inundaciones y la profundidad efectiva son sus principales limitantes para el desarrollo de cultivos, presenta altos contenidos de cuarzo, feldespatos, biotita, haloisita y pequeños contenidos (2-5%) de clorita filosilicato posiblemente proveniente de la alteración de la biotita, confirmando bajo grado de evolución del suelo el cual muestra medios contenidos de materia orgánica en superficie y bajos a muy bajos en profundidad, con horizontes con alta densidad aparente lo que dificulta el movimiento del agua y el aire. El déficit de precipitación obliga a obras de riego y drenaje para el emprendimiento de cultivos.

En la zona 4 los suelos ubicados en plano de inundación de ríos que bajan de la sierra nevada, presentan relieve plano, presentándose inundaciones de corta duración en épocas de lluvias o de crecientes de los ríos y nivel freático elevado. Las altas temperaturas asociadas a la baja precipitación y excesiva evapotranspiración dan lugar a la formación de sales y/o sodio que debe ser adecuadamente manejado para que la producción

agrícola (mango y banano) no se vea afectada. La presencia de cuarzo, feldespatos, biotita, haloisita y pequeñas cantidades de esmectita, permite entrever que son suelos potencialmente fértiles pero que actualmente muestran bastantes limitaciones. En la zona 5 los suelos conformados por los sedimentos fluviomarinos originan suelos imperfectamente drenados con alta saturación de bases, bajos contenidos de materia orgánica y horizontes con densidad aparente elevada. La presencia de cuarzo, feldespatos, biotita y haloisita verifican el bajo grado de evolución del suelo. Las principales limitantes para el desarrollo de los cultivos son los encharcamientos ocasionales, baja precipitación, altas temperaturas y profundidad efectiva.

Finalmente en la zona 6, con altos contenidos de cuarzo, feldespatos, biotita y haloisita se muestran suelos arenosos superficiales, con elevados contenidos de sales y elevado nivel freático pero con buen drenaje, muy bajos contenidos de materia orgánica. Los minerales de cuarzo, feldespatos, biotita y haloisita abundan en estos suelos, de allí su bajo grado de evolución. La zona presenta baja precipitación lo que no da lugar a la alteración de los minerales y por tanto es necesario recurrir a prácticas de fertilización y riego para obtener buenas cosechas.

Conclusiones

Con base a la caracterización de la zona de estudio se puede concluir que el clima junto con el relieve y la vegetación, son los factores que más influyen proceso de meteorización de las rocas y en el desarrollo de los suelos. En la zona, prevalece la meteorización física mientras que los procesos químicos, que dependen exclusivamente del agua son escasos dadas las condiciones climáticas reinantes.

El 98 % del aluminio corresponde a la estructura de los silicatos, sin mucha influencia en las condiciones de los suelos estudiados.

Los suelos de las áreas cálidas muestran fertilidad moderada ya que la fracción gruesa presenta cantidades elevadas de cuarzo, moderadas de feldespatos que al alterarse formarán montmorillonita mejorando la fertilidad real de los suelos y la fracción fina (que muestra la fertilidad real de los suelos) aún es escasa e incipiente. En todo caso, las características físicas, químicas y mineralógicas de los suelos estudiados responden a los materiales parentales y al clima dominante.

La fracción fina del suelo está integrada por proporciones bajas de haloisita y presencia significativa de micas (biotita) cuya alteración conlleva la formación de clorita, vermiculita, montmorillonita y esmectita arcillas del grupo 2:1 de alta

reactividad las cuales incrementarían la CIC de los suelos y su fertilidad real, lo que podría mejorar la productividad agrícola de la región.

En las condiciones de estudio, los suelos se pueden considerar como sistemas abiertos de alteración incipiente y escasamente sustractivos debido a que la evapotranspiración excede la precipitación en todas las épocas del año. Por otro lado, la presencia de esmectita en las zonas 2 y 4 puede deberse a la reducción del drenaje ya que se aumenta el tiempo de residencia pero también puede provenir de las zonas de donde provienen los sedimentos lo que pone de manifiesto que, para incrementar la productividad de los suelos es necesario recurrir a mejorar las prácticas de riego, drenaje, fertilización, manejo de sales, incremento de materia orgánica, reducción de la compactación y recurrir a sistemas agroforestales de producción de cultivos.

El análisis de la composición mineralógica confirma que los suelos estudiados están poco meteorizados y presentan un bajo grado evolutivo, donde las condiciones de los minerales primarios son estables y donde la humedad escasa y el elevado pH, no permiten la alteración de los minerales de mayor labilidad un ejemplo de esto lo constituyen los feldespatos potásicos que son difícilmente alterables en las condiciones del estudio.

No se presenta una trayectoria simple de alteración de los minerales encontrados en el estudio. En presencia de clima seco a muy seco se generan secuencias muy distintas de minerales arcillosos presentando un índice de alteración muy bajo.

El presente trabajo es el inicio de la aplicación de técnicas analíticas mineralógicas de suelos en la región Caribe y contribuye al área de edafología haciendo énfasis en la parte geoquímica ya que se logró determinar la composición mineralógica en los suelos en el área de estudio con aplicaciones prácticas en el manejo del suelo y la producción de cultivos en la zona de estudio.

Referencias

- Abad, I., y Velilla, N. 2018. ¿De qué está hecho este material? Una introducción al uso e interpretación de las técnicas básicas de caracterización de los minerales. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 26(3): 265-265. Doi: <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/343212/434359>.
- Aguirre, S.E., Piraneque, N.V., y Abaunza, C.F. 2021. Species with agroforestry-systems potential in the Magdalena state, Colombia. *Información tecnológica* 32(5): 13-28. Doi: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000500013>.

- Aguirre, S.E., Piraneque, N.V. y Rodríguez, J. 2015. Relationship between the nutritional status of banana plants and black sigatoka severity in the Magdalena region of Colombia. *Agronomía Colombiana* 33(3):348-355. <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v33n3/v33n3a08.pdf>.
- Besoain, E. 1985. *Mineralogía de arcillas de suelos*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). URL: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A9804e/A9804e.pdf>. Consultado: 07 de junio 2022.
- Churchman, G.J. y Lowe, D.J. 2012. Alteration, Formation, and Occurrence of Minerals in Soils. En: Huang, P.M., Li, Y. y Sumner, M.E., Editors. *Handbook of Soil Science. Properties and Processes*. 2nd Edition, CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton.
- Delgado, A. y Gómez, J.A. 2016. The Soil. Physical, Chemical and Biological Properties. En: Villalobos, F.J. y Fereres, E. Editores. *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture*. Springer, Cham.
- Gámez-Ramírez, D. 2012. Análisis mineralógico de sedimentos en zonas de playa entre Costa Verde y la bahía de Taganga (departamento del Magdalena). Informe Técnico Final. Santa Marta. Url: <https://www.drummondLtd.com/estudios-mineralogicos-en-playas-de-santa-marta>. Consultado: 07 de junio 2022.
- Ghimire B, Ghimire R, VanLeeuwen B, y Mesbah A. 2017. Cover crop residue amount and quality effects on soil organic carbon mineralization. *Sustainability* 9:2316. Doi: <https://doi.org/10.3390/su9122316>.
- Hernández, M. 1996. Geología de las Planchas 11 Santa Marta y 18 Ciénaga. Ministerio de Minas y energía, Bucaramanga Colombia. URL: <https://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010024387/Documento/pdf/0101243871102000.pdf>. Consultado: 07 de junio 2022.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 2009. Estudio General de suelos y zonificación de Tierras. Departamento del Magdalena, escala 1:100000. Bogotá D.C.
- Imbellone, P.A., Beilinson, E. y Aguilera, E.Y. 2016. Micromorfología de suelos. En: Pereira, F. y Torres, M. Editores. *Suelos y Geología Argentina: Una visión integradora desde diferentes campos disciplinarios*. Asociación geológica argentina. Avellaneda, Argentina. UNDAV Ediciones, Universidad Nacional de Avellaneda, Buenos Aires.
- Kome, G., Enang, R., Tabi, F. y Yerima, B. 2019. Influence of Clay Minerals on Some Soil Fertility Attributes: A Review. *Open Journal of Soil Science* 9: 155-188. Doi: <https://dx.doi.org/10.4236/ojss.2019.99010>.
- Malagón, D. 2003. Ensayo sobre tipología de suelos colombianos-énfasis en génesis y aspectos ambientales. *Revista Academia Colombiana de Ciencias* 27(104): 319-341.
- Malagón Castro, D. y Marino Santana, L. 1997. Los suelos de la región del Caribe colombiano. *Revista Suelos Ecuatoriales* 27: 15-25.
- Mercado, M.M., Peralta, F.L., Pons, M.J., Franchini, M.B., Impiccini, A. y Rainoldi, A.L. 2021. *Análisis geoquímico y caracterización mineralógica de la alteración y mineralización en secciones de los depósitos Loma de la Plata y Valle Esperanza, distrito Navidad, Chubut, Argentina*. *Revista De La Asociación Geológica Argentina* 78(4):512-538.
- Pelayo, M., Villar, M. V., Fernández, A. M., y Pérez del Villar, L. 2021. Estudio mineralógico, geoquímico, físico-mecánico y de las aguas intersticiales de muestras procedentes de los yacimientos bentónicos de Morrón de Mateo, Pozo Usero, El Toril, San José y El Corralete. CIEMAT. Url: <http://documenta.ciemat.es/bitstream/123456789/955/1/BARRAYAC2.pdf>. Consultado: 07 de junio 2022.
- Piraneque, N., Aguirre, S. y Reis, A. 2018. Carbon sequestration in a Typic Ustipsamment under semiarid conditions. *Spanish Journal of Soil Science* 8(3): 293-305. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2018.V8.N3.01>.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington D.C.
- Torres, R.L., García-Casco, A. y Molina, J. 2004. Petrología metamórfica, asistente de prácticas. Departamento de Mineralogía y Petrografía Universidad de Granada. URL: <https://www.ugr.es/~petgquim/descargas/CPM.pdf>. Consultado: 07 de junio de 2022.
- Vásquez, J. R. 2014. Contenido, formas y mecanismos de estabilidad del carbono orgánico en suelos del departamento del Magdalena (Colombia), bajo diferentes tipos de usos del suelo. Tesis doctoral Universidad Santiago de Compostela, España.
- Wilson, M. J. 2019. The importance of parent material in soil classification: A review in a historical context. *Catena* 182: 104131. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104131>.
- WRB. World Reference Base for Soil Resources. 2014 update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.

Estado del recurso hídrico en el campus de la Universidad del Magdalena, Colombia State of the water resource in the campus of the Universidad del Magdalena, Colombia

Sonia Esperanza Aguirre-Forero *, Milagros Carrillo ¹, Isaac Romero ² y Nelson Virgilio Piraneque-Gambasica ¹

1. Programa de Ingeniería Agronómica, Universidad del Magdalena, Magdalena, Colombia

2. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad del Magdalena, Magdalena, Colombia

Resumen

En la ciudad de Santa Marta existe déficit de agua potable de 1600 L/día, por lo que desde 2014 en predios de la Universidad del Magdalena se localizó un pozo de agua subterráneo. Entendiendo que la gestión hídrica debe ser integrada al territorio como eje que soporta el funcionamiento de los ecosistemas, el desarrollo de infraestructuras y el entorno social, en predios de la institución se planteó diagnosticar el estado del recurso hídrico y prospectar escenarios de consumo de agua en la entidad. Con metodologías mixtas de debilidades-opportunidades-fortalezas-amenazas, análisis prospectivo, talleres de expertos, mesas de trabajo y modelo WEAP, se compararon escenarios actual, tendencial y optimista en un periodo de 15 años (2018 a 2032). Los resultados, evidenciaron fallas en sistema hidráulico, carencia de monitoreo para obtener datos en tiempo real de consumo y estado del acuífero, usos de agua sin restricción y problemas de calidad. El valor de pH más alto se alcanzó en (E1) y (E4) con 7,85 y 8,38. Los valores de dureza están por encima del máximo permisible y se clasifican como aguas duras, E3 336,1 mg/L y E8: 347,6 mg/L fueron los valores más altos. El cloruro de sodio y de potasio, tuvieron promedio de 75,6 a 90,8 mg/L, concentraciones, que a pesar de cumplir los criterios de la Resolución del Ministerio del Medio Ambiente 2115 de 2007, son altas, siendo limitante para riego. Respecto a los recuentos microbiológicos en E4 y E1, superaron 3000 NMP/100 mL para coliformes totales, señalando contaminación con restricción de uso y de contactoprimario. De acuerdo con la prospección para el 2032, aún con demanda restringida (6,8 %), se proyecta escasez del recurso, afectando el funcionamiento de la institución. Es urgente una política para reducir consumo, monitorear el acuífero y fortalecer la gestión integral del recurso en la Universidad.

Palabras clave: agua subterránea; prospección de escenarios; uso eficiente y sostenible del recurso hídrico

Abstract

Santa Marta has a drinking water deficit of 1,600 L/day, which is why, since 2014, an underground water well has been located at the University of Magdalena. Understanding that water management must be integrated into the territory as an axis that supports the ecosystem functioning, the infrastructure development, and the social environment on the institution's campus, it was proposed to diagnose the state of water resources and Prospect scenarios of water consumption in the University. Using mixed methodologies, how Weaknesses-Opportunities-Strengths-Threats, prospective analysis, expert workshops, work groups, and WEAP model, current, trend, and optimistic scenarios were compared over 15 years (2018 to 2032). The results showed failures in the hydraulic system, lack of monitoring to obtain real-time data on consumption and the aquifer's state, unrestricted water use, and quality problems. (E1) and (E4) showed the highest pH with 7.85 and 8.38. The reported hardness values are above the maximum permissible and were classified as very hard water in E3, with 336.1, and E8 347.6 mg/L. Sodium chloride and potassium chloride reported an average of 75.6 to 90.8 mg/L, concentrations that, despite meeting the criteria of Resolution 2115 of 2007, are high, so it is a limitation for irrigation. The microbiological counts in E4 and E1 exceeded 3000 MPN/100 mL for total coliforms, indicating contamination with restricted use and primary contact. According to the forecast for the year 2032, even with limited demand (6.8%), there will be a resource shortage, affecting the institution's functioning. From this perspective, it is necessary to establish a policy to reduce consumption, monitor the aquifer, and strengthen the comprehensive management of the resource on the campus.

Key words: groundwater; scenario prospecting; efficient and sustainable use

*Autor de correspondencia: saguirre@unimagdalena.edu.co

Editor: Cesar Tamaris-Turizo

Recibido: 21 de abril de 2022

Aceptado: 30 de junio de 2022

Publicación en línea: 30 de junio de 2022

Citación: Aguirre, S., Carrillo, M., Romero, I. y Piraneque, N. 2022. Estado del recurso hídrico en el campus de la Universidad del Magdalena, Colombia. Intropica 17(1): 72-87
Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.4457>.

Introducción

Los fenómenos climáticos extremos alteran el ciclo hidrológico, dificultan el acceso al agua y al saneamiento básico (Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2019). El informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos WWAP (2019), estimó que 3 600 millones de personas viven en áreas de escasez de agua por lo menos un mes al año; cifra que podría alcanzar 5 700 millones para 2 050. Déficit que reduce el nivel de vida e induce a la sobreexplotación de acuíferos, en los que se extrae agua más rápido de lo que se recarga, provocando daños irreversibles en algunos territorios cercanos al mar al acentuarse la intrusión de la cuña marina, fenómeno que incrementa desertización del territorio (Riechmann, 2003).

En Latinoamérica se encuentra 33 % de los recursos hídricos del planeta, oferta conveniente respecto a la densidad de población; sin embargo, hay déficit e insuficiencia de servicios sanitarios, carencia de tratamiento de agua residual, uso inadecuado, contaminación, desigualdad en el régimen de tarifas, limitantes financieras y fallas en el modelo de gestión, entre otras lo que dificulta la adecuada gestión del recurso (Pinos y Malo-Larrea, 2018).

A pesar de que Colombia, tiene adecuada oferta hídrica (rendimiento hídrico de 56 L/S.km²) que supera el promedio mundial (10 L/S.km²), el recurso no es accesible a toda la población (OMS, 2014); es un territorio de contrastes respecto a la oferta y acceso al recurso hídrico, exhibe regiones como el Pacífico (Chocó) con precipitaciones mensuales de 7 000 mm; sin embargo, sus habitantes carecen del servicio y en lugares como La Guajira ubicada en la región Caribe, las precipitaciones no superan los 500 mm/año (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2015) cifras que exponen no solo las diferencias ecosistémicas del territorio si no la brecha entre los centros urbanos y las áreas rurales respecto a agua potable y saneamiento básico.

El aumento de temperatura reduce la precipitación (International Plant Protection Convention (IPPC), 2007) con mayor énfasis en tierras semiáridas. El informe “Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia” (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2013), muestra incremento de temperatura en el Caribe y Llanos Orientales, situación que se acentúa en el departamento del Magdalena (por la posición geográfica, incidencia de vientos alisios, salinización y erosión de suelos entre otras), aumentando la fragilidad de flujos superficiales de agua, insuficientes para

abastecer acueductos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016). Ante esta situación, en Santa Marta se ha recurrido a la perforación de pozos, hoy el 40 % de la demanda de la ciudad se surte de agua subterránea (Mira Vega, 2019).

El agua, recurso indispensable suple las necesidades de la comunidad académica (bebederos, laboratorios, baños, cafetería, servicio de aseo, zonas verdes entre otros) en el campus de la Universidad del Magdalena. De acuerdo con Dourojeanni y Jouravlev (2001) es desde la escuela, donde se debe propiciar la gestión eficiente del recurso, no solo se debe cumplir la norma, sino permear diferentes enfoques epistemológicos del conocimiento e incorporar responsabilidad social en torno al tema. Desafortunadamente desde la visión antropogénica cuando se tiene disponibilidad del recurso hídrico, se descuida la gestión integral. Simultáneamente, Hernández *et al.* (2019) discuten la necesidad de proteger fuentes de agua, (la subterránea), reserva de agua dulce y que su aprovechamiento debe ser según la velocidad de retorno y movimiento señalado que, en las zonas costeras, un bombeo intensivo puede producir intrusión de la cuña salina, acelerar procesos de contaminación de acuíferos y degradación del territorio.

En el campus de la Universidad del Magdalena, en el año 2014 se instaló un equipo de bombeo de 40 L/s ajustado para las necesidades de la institución (Resolución No. 785 de abril-2014 de la Corporación Autónoma Regional Magdalena), no obstante, la administración municipal, dispuso suplir del recurso a la ciudad, situación que se generalizó y evidenció inconvenientes. Por lo anterior, en el presente estudio se realizó un diagnóstico del estado del recurso hídrico, se analizó la demanda, usos, características fisicoquímicas y microbiológicas y el sistema de distribución para establecer escenarios futuros y algunas alternativas de manejo del recurso en la institución.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el campus de la Universidad del Magdalena, Santa Marta (figura 1). En la zona se presenta un régimen de precipitación bimodal, con precipitación promedio anual de 578 mm, temperatura promedio anual de 27 °C, temperatura promedio máxima anual 32,6 °C y el promedio mínimo de 23,3 °C. El clima semiárido con marcado déficit hídrico en la época seca (Rangel y Carvajal, 2012). La población de estudio para el año 2018, fue cerca de 19 000 personas.

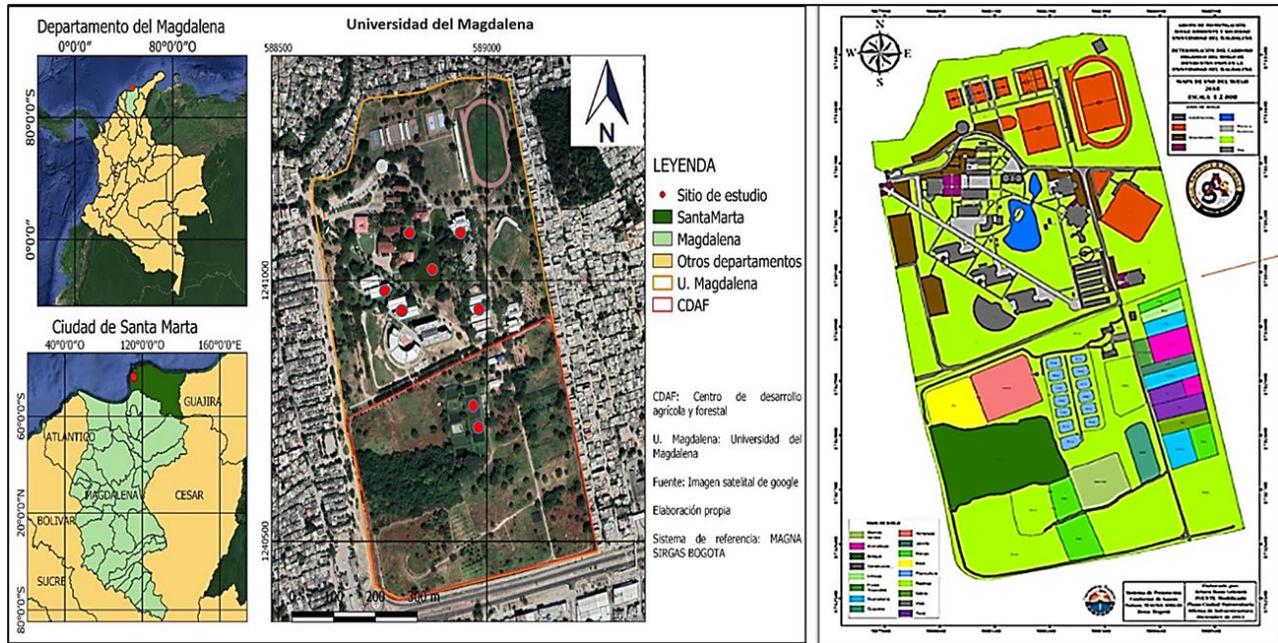


Figura 1. Área de estudio: Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.

La Universidad del Magdalena posee 30 ha, con diferente función y tipo de uso del suelo, 10 están ocupadas por edificaciones, zonas verdes y un lago artificial; 20 ha pertenecen a la granja con cultivos transitorios y perennes, uno por ciento del área es ocupada por estanques artificiales con fines de producción de peces y un cinco por ciento es vegetación natural en recuperación (bosque seco tropical).

Metodología

El diseño del estudio empleó una metodología mixta (descriptiva) transversal, sistémica y participativa, en tres fases: diagnóstico, prospección de escenarios y selección de alternativas. De acuerdo con Ramírez (2017), las estrategias de gestión deben estar dirigidas a modificar estilos de vida, toma de decisiones y comportamiento, por lo que se consideró implementar análisis Design Thinking (DOFA), talleres S, encuestas (200), diálogos de saberes sobre sostenibilidad ambiental a fin de impactar sobre el manejo sostenible del recurso hídrico en el predio principal de la Universidad y de herramientas de decisión multicriterio, para el análisis de brechas tomando un periodo de 15 años, iniciando por el 2018, se prospectaron escenarios (actual, tendencial y optimista), utilizando modelo WEAP con supuestos de crecimiento proporcionado según la tendencia en el tiempo por semestre (del 2 % cifra concertada con la oficina de planeación).

En los talleres tipo “S, integración de equipos” para la sostenibilidad del recurso hídrico se usó el método Team

Sintegrity (Leroy *et al.*, 2012) vinculando la comunidad académica (estudiantes, administrativos, directivos, docentes, investigadores) con invitados externos (líderes indígenas, funcionarios de la corporación autónoma y ONG) por medio de diferentes actividades realizadas durante el 2019 (encuestas, diálogo de saberes y perspectivas desde diferentes disciplinas) se identificó diversas visiones sobre el agua (cultura, gobernanza, conceptos, comportamientos y problemáticas) aspectos importantes para mejorar la gestión del recurso hídrico en el campus de esta forma se promovió trabajo inter y transdisciplinario con expertos.

En la matriz DOFA se consignaron debilidades (carencias detectadas que limitaron la gestión del recurso hídrico), oportunidades (eventos en el entorno de la prestación del servicio que facilitaron su desarrollo si se aprovechan), fortalezas o actividades internas que contribuyen al objetivo, y amenazas eventos o tendencias del recurso dentro del campus, que inhiben, limitan y que potencialmente afecten su gestión integral y, mediante el cruce de variables, se identificó información para el diagrama de árbol de problemas (causas y consecuencias) y partir de éste, se establecieron las limitantes que pueden comprometer el uso del recurso (brechas) al comparar las condiciones actuales con las deseadas por medio del método jerárquico AHP de Saaty (2014) que jerarquiza las estrategias a implementar en el campus en función la gestión sostenible del recurso hídrico, metodología en la que participaron expertos disciplinares donde se analizó el tema,

teniendo en cuenta las especificaciones de la Política Nacional del Recurso Hídrico.

Se aplicó el método de Saaty para evaluar estrategias (Ramírez, 2004; Saaty, 2014), que compara juicios informales con pesos prioridades ([anexo 1](#)). Con el análisis estructural y la herramienta de modelación WEAP se determinó el comportamiento de la demanda asociada a usos y factores en diferentes escenarios (tasa de crecimiento poblacional, demanda y manejo del recurso aprovechamiento de aguas lluvias y aires acondicionados, dispositivos ahorradores, optimización de riego) el año de inicio fue 2018 y el horizonte de periodo de 15 años (2032). Se plantearon escenarios en función de demanda (consumo de agua y tasas de usos anuales asociadas a las características del recurso) identificando tres: actual, tendencial y optimista.

Tabla 1. Puntos de muestreo para el análisis de la calidad del agua en el Campus (Romero *et al.*, 2019).

Estación	Puntos de Muestreo	Código	Coordenadas	
			Latitud	Longitud
1	Laguna piscícola	E1	11°13'36,9"N	074° 11' 18,8" O
2	Bloque V	E2	11°13'43,2"N	074° 11' 25,4" O
3	Hangares*	E3	11°13'36,9"N	074° 11' 7,1" O
4	Lago	E4	11°13'41,7"N	074° 11' 22,8" O
5	Edificio Docente	E5	11°13'44,6"N	074° 11' 20,5" O
6	Bloque III	E6	11°13'45,4"N	074° 11' 25,1" O
7	Edificio Sierra Nevada	E7	11°13'40,7"N	074° 11' 27,9" O
8	Edificio Ciénaga Grande	E8	11°13'39,2"N	074° 11' 24,7" O

Recolección de muestras de recurso hídrico

Una vez fueron identificados los puntos de muestreo y recolectadas las muestras de acuerdo con los lineamientos técnicos del IDEAM (2007), se trasladaron para su análisis al laboratorio de calidad de agua de la Universidad del Magdalena y al laboratorio microbiológico Ortiz Martínez S.A.S-LABORMAR, donde se procedió de acuerdo con las metodologías descritas en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2012) ([anexo 2](#)).

Con el ánimo de verificar si el uso que ya tiene el recurso cumple la norma en Colombia, se consultó Decreto 1575 de 2007, Resolución 2115 de 2007 y el Decreto 1076 de 2015, y los establecidos por la OMS (2006) que contemplan valores permisibles para: consumo, uso doméstico y riego, por lo que se analizó, conductividad eléctrica (CE), pH, cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+}), aniones (HCO_3^- , SO_4^- , CO_3^-) y Cl^- y Na^+ , Salinidad potencial (SP), Relación de Adsorción de Sodio (RAS), Carbonato de Sodio Residual (CSR), Índice de Kelly o Relación de Calcio e Índice de Scott.

A través de inspección detallada en campo de la red de distribución de agua, se identificaron ocho puntos de muestreo (tabla 1), por caudal y capacidad de distribución de donde se recolectaron cuatro submuestras por punto para análisis fisicoquímicas y microbiológicas del agua en dos épocas de muestreo (seca y con precipitación) características para determinar calidad del recurso. Es importante aclarar que los tanques de almacenamiento de los puntos (E2), (E5) y (E6) corresponden a suministros de agua subterránea y de una fuente administrada por la empresa prestadora de servicios públicos que no es continua, mientras que los tanques de almacenamiento de los puntos (E3), (E7) y (E8) son de suministro directo del pozo subterráneo de la Universidad del Magdalena. E1 y E4 corresponden a dos lagunas artificiales una dedicada a la cría de peces y la otra, como ornato de la Universidad.

Para estimar las necesidades de suministro de agua del campus de la Universidad del Magdalena, se trabajó con la información del año 2018 y los primeros 10 meses de 2019, así como el porcentaje de distribución por uso a la fecha (piscícola 45 %; riego 35 % y doméstico con el 20%).

Para calcular la demanda de agua, se monitorearon cuatro puntos que cuentan con medidores de volumen: P1: Pozo principal, P2: Edificios Ciénaga Grande, P3: Sierra Nevada, P4: Zona de Hangares, muestras tomadas de manera manual de lunes a domingo a las 8:00 am, 12:00 m y 6:00 pm, horario seleccionado según la dinámica de máxima concentración de la poblacional del campus Universitario.

Con la Oficina de Planeación de la Universidad del Magdalena, se proyectó la población universitaria para un periodo de 15 años (tabla 2), teniendo en cuenta: criterios de infraestructura, crecimiento de programas (pregrado, técnicos, tecnológicos y postgrados), cupos máximos por programa e índice de deserción y graduación. Los tamaños de cohorte utilizados fueron variables según el nivel de formación y metodología de estudio, tendencia histórica de la oferta y demanda.

Tabla 2. Proyección de población Universitaria a 15 años. Fuente Oficina de Planeación Universidad del Magdalena.

Periodo	2018-2	2022-2	2027-2	2032-2
Población	19156	24560	40157	43639
Variación de población		2022	2027	2032
Tasa de crecimiento poblacional (Cada 5 años)			6,40 %	8,10 %

La Universidad del Magdalena finalizando 2019, contaba con 86 programas en modalidades presencial y distancia, pero posee una proyección de nuevos programas de pregrado y postgrado, crecimiento consignado en el Plan de Desarrollo 2030. De acuerdo con la información de la oficina de planeación y la política institucional, se planteó un análisis en periodos de 5 años (2022, 2027 y 2032) proyección para calcular los posibles escenarios de consumos en un periodo de 15 años (2018 – 2033) tomando tres quinquenios para el estudio.

El cálculo de la demanda (hidrosanitaria) se realizó según el Método de Hunter, que se fundamenta en las unidades de abastecimiento, descarga o consumo, dichas unidades son los caudales demandados por aparatos sanitarios multiplicado por la constante definida. Las unidades de consumo de los aparatos definen el caudal demandado y luego se multiplica por el número de unidades, con el objetivo de encontrar la máxima demanda simultánea o gasto probable (Zamora, 2013).

La Universidad del Magdalena finalizando 2019, contaba con 86 programas en modalidades presencial y distancia, pero posee una proyección de nuevos programas de pregrado y postgrado, crecimiento consignado en el Plan de Desarrollo 2030. De acuerdo con la información de la oficina de planeación y la política institucional, se planteó un análisis en periodos de 5 años (2022, 2027 y 2032) proyección para calcular los posibles escenarios de consumos en un periodo de 15 años (2018 – 2033) tomando tres quinquenios para el estudio.

Análisis estadístico

Para la información cualitativa (encuestas) se usó estadística descriptiva a través del programa Excel 2013. Para el análisis de la información de características del agua (físicoquímicas y microbiológicas) se aplicó prueba de *Shapiro-Wilk* para verificar el supuesto de normalidad de los parámetros estudiados; la prueba de *Levene* para verificar homocedasticidad, posteriormente, se estableció la significancia estadística entre las variables analizadas en los distintos sitios de estudio,

mediante una prueba de t-Student para muestras independientes con un nivel de confianza del 95 %. Se empleó estadística descriptiva (media, desviación, valores máximos y mínimos) para las variables analizadas y agrupadas por época de muestreo. Los análisis estadísticos se realizaron con el software IBM SPSS Statistics 23.0. Para obtener la relación entre los distintos parámetros físicos y químicos del suelo se usó la prueba de correlación de Pearson.

Resultados

Recurso hídrico en el campus

La encuesta reveló la diversidad de conocimientos y tradiciones sobre uso y manejo del agua, mostró que 71 % de la población desconoce la fuente de abastecimiento del predio universitario, al tiempo que 93% dice no tener información relacionada con buen uso en él y no conocen ningún plan o programa al respecto; este mismo porcentaje, indica que estarían dispuestos a implementar alternativas de buen uso y aprovechamiento del agua en la Universidad.

Respecto al consumo en el año 2018, el promedio fue de 31 L/persona. día⁻¹ para un consumo interno de 298 809 m³. En 2019 aumentó el consumo promedio (34 L/persona. día⁻¹) y se evidenció consumos máximos hasta de 50 L/persona. día⁻¹, con una población total aproximada de 19 156 personas que generan gasto de 493 500 m³. Asimismo, por ser un año con verano intenso se suplió con agua del pozo a la comunidad de Santa Marta realizando extracciones de abril a agosto de 2019, con un subregistro de 89 768m³ de agua entregados a la ciudad en camiones cisterna, sobrepasando los niveles máximos de explotación (105 408 m³ anual) que corresponde a 40L/s.

En los edificios monitoreados en 2019 se obtuvieron consumos máximos mensuales, siendo el de Sierra Nevada el que presentó el mayor promedio con 891,33 m³ y el de menor consumo el edificio Ciénaga Grande con 97,67 m³, en el que se realizó una inspección del estado de las unidades hidrosanitarias.

Identificación de instalaciones hídricas en la Universidad

Se actualizó el plano de sistema de distribución y recolección de aguas servidas, se monitoreo e identificaron fugas y se corrigió con cambio a sistemas ahorradores, se priorizó la red de recolección de agua proveniente de aires acondicionados y de la precipitación para reúso como lo recomendaron Aguirre *et al.* (2018), red que fue implementada en los edificios de aulas Mar Caribe y Río Magdalena y que permite aprovechamiento de agua para labores de aseo.

Análisis de calidad del agua

Los resultados de los análisis fisicoquímicos (tabla 3), mostraron diferencias significativas entre los sitios de muestreo ($p < 0,05$) en la CE y el pH. La concentración de metales pesados fue baja. No se detectó plomo, los niveles de cromo fueron $< 0,05$ mg/L, níquel ($< 0,02$ mg/L) y aluminio ($< 0,02$ mg/L), concentraciones sin riesgos para uso, encontrándose dentro de los límites establecidos de la normatividad vigente (Resolución 2115 de 2007 y Decreto 1076 de 2015).

La alcalinidad, nitritos, nitratos, sólidos totales y sólidos disueltos disminuyeron en época seca, al no presentarse procesos de infiltración. El parámetro de salinidad $< 0,4$ se considera agua dulce, pero se recomienda monitoreo al incidir en otras propiedades.

La concentración para sólidos totales (ST) osciló entre 405,63 y 527,92 mg/L. Los sitios E5 y E8, mostraron mayores contenidos (513,93 y 527,92 mg/L, respectivamente). En cuanto a los puntos E1 y E4 (lagos artificiales), la tendencia de concentraciones de los sólidos totales fue diferente en la laguna piscícola de (515,42) respecto al lago (405,63 mg/L). La turbiedad y sólidos suspendidos totales (SST) fue < 1 UNT.

Respecto a los rangos promedios de alcalinidad se encontraron

entre 260,50 mg/L en E2 y 307,04 mg/L en E6, concentraciones que exceden los límites permitidos por Resolución 2115 de 2007 (200 mg/L). El valor de pH más alto se alcanzó en (E1) y (E4) con 7,85 y 8,38, respectivamente. Los valores de dureza más altos corresponden a E3 y E8 con 336,1 y 347,6 mg/L, respectivamente.

Los valores promedios de nitratos aumentaron en el periodo lluvioso y oscilaron entre 0,06 y 0,33 mg/l coincidiendo con lo explicado por Pauta *et al.* (2019). Los nitratos obtenidos en los tanques de almacenamiento evaluados se encontraron entre 0,071 y 0,249 mg/L; mientras que, para nitritos, se reportó 0,02 y 0,10 mg/L, donde los niveles promedios fueron inferiores a 0,10 mg/L (concentración baja).

Las sales solubles como cloruros de sodio (NaCl) y de potasio (KCl) en aguas subterráneas, estuvieron en el orden de 1 a 100 mg/L. Se encontró promedio de 75,6 a 90,8 mg/L, concentraciones que a pesar de cumplir los criterios de la Resolución 2115 de 2007, es alta.

Respecto al contenido de fosfatos, la concentración más alta fue exhibida por E3 (Hangares) y el más bajo, E4 (Lago), con valores de 0,46 y 0,23 mg/L respectivamente.

Las concentraciones promedio del ion sulfato variaron entre 71,96 mg/L y 115,8 mg/L; niveles que se encuentran por debajo de los límites permisibles. Las concentraciones de hierro estuvieron entre 0,07 y 0,11 mg/L, sin que se superen los límites permitidos; los puntos de estudio E3 (Lago) y E1 (Laguna piscícola), expusieron concentraciones superiores a 0,34 mg/L.

La temperatura promedio fue de 27 °C. En E4 (Lago), se presentó un promedio mayor de 30 °C, por exposición al sol y coincide con el proceso de evapotranspiración.

Tabla 3. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos Indicar el significado de las abreviaturas y las unidades. *(mg/L); Fuente: Romero *et al.*, 2019.

Variable	Época	Punto de muestreo							
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Alcalinidad*	Lluviosa Seca	329,4	355,0	336,0	330,0	293,4	293,2	297,8	294,6
		269,6	259,8	238,8	211,0	313,4	227,8	262,2	240,4
Cloruro*	Lluviosa Seca	86,23	75,60	81,80	91,44	83,13	80,65	98,64	94,30
		71,90	75,60	88,70	77,50	89,90	89,30	83,10	76,3
Dureza*	Lluviosa Seca	329,1	320,0	338,0	327,6	307,1	336,3	335,2	383,6
		344,0	348,7	333,9	297,9	305,7	308,25	324,0	311,62
Fosfato*	Lluviosa Seca	0,331	0,400	0,460	0,211	0,306	0,410	0,428	0,435
		0,300	0,400	0,400	0,230	0,290	0,420	0,440	0,470
Sulfatos*	Lluviosa Seca	122,4	96,56	86,45	103,6	71,80	92,48	97,00	92,75
		110,5	94,95	84,75	61,25	72,13	95,20	95,40	93,95
Nitritos*	Lluviosa Seca	0,055	0,100	0,060	0,047	0,029	0,087	0,081	0,045
		0,030	0,028	0,029	0,026	0,029	0,120	0,026	0,026
Nitrito *	Lluviosa Seca	0,337	0,090	0,100	0,142	0,062	0,164	0,117	0,455
		0,019	0,057	0,030	0,008	0,380	0,210	0,044	0,044
ST*	Lluviosa Seca	552,8	552,0	502,0	440,4	532,3	514,4	518,6	614,2
		478,0	365,7	415,3	370,8	495,5	411,8	398,5	441,6
SDT	Lluviosa Seca	540,0	551,0	501,0	423,0	532,0	514,0	518,0	614,0
		465,8	365,0	414,1	347,5	494,6	410,0	397,5	440,0
SST	Lluviosa Seca	12,77	1,530	1,290	17,44	0,307	0,412	0,600	0,186
		12,23	0,750	1,160	23,33	1,390	1,860	1,040	1,660
Turbiedad (UNT)	Lluviosa Seca	9,845	0,401	0,410	15,24	0,46	0,33	0,275	0,395
		8,410	0,250	0,631	14,05	0,15	0,59	0,215	0,321
pH	Lluviosa Seca	8,28	7,64	7,60	8,54	7,75	7,62	7,80	7,76
		7,72	7,43	7,34	7,99	7,90	7,51	7,64	7,67
Temperatura (°C)	Lluviosa Seca	29,00	27,13	27,02	30,41	27,90	27,45	26,75	27,25
		27,53	27,84	28,81	29,83	27,25	27,15	27,56	27,35
Conductividad (µS/cm)	Lluviosa Seca	769,0	789,5	767,5	729,5	838,5	783,0	775,1	771,5
		757,5	783,0	764,2	645,5	859,2	779,3	748,6	750,5
Color (UPT-Co)	Lluviosa Seca	20	<5	<5	40	<5	<5	<5	<5
		20	<5	<5	40	<5	<5	<5	<5
Salinidad ‰	Lluviosa Seca	0,30	0,30	0,30	0,25	0,40	0,30	0,30	0,30
		0,30	0,30	0,30	0,30	0,35	0,30	0,30	0,30
Calcio*	Lluviosa Seca	23,90	24,06	32,05	22,50	25,25	29,95	26,60	23,30
		19,85	23,80	26,40	26,05	24,90	25,35	28,75	24,55
Magnesio*	Lluviosa Seca	18,00	14,00	16,05	15,50	16,75	20,45	16,45	14,85
		11,20	15,40	16,10	16,45	13,25	14,60	13,10	13,20
Aluminio*	Lluviosa Seca	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,08	<0,02
		0,03	<0,02	0,03	0,03	<0,02	0,03	0,06	<0,02
Níquel*	Lluviosa Seca	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
		0,07	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	<0,05	<0,05	<0,05
Hierro*	Lluviosa Seca	0,84	0,13	0,14	0,41	0,14	0,06	0,09	0,04
		0,60	0,07	0,07	0,27	0,08	0,19	0,07	0,30
Cromo*	Lluviosa Seca	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,05	0,04	0,09	0,05
		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,05

Indicadores microbiológicos

En E4 y E1, los recuentos microbiológicos superaron 3000 NMP/100mL para coliformes totales, e inferiores a 2000 NMP/100 mL para coliformes fecales en tubos de fermentación, señalando contaminación bacteriana, que representa restricción de uso y de contacto primario, toda vez que los valores son superiores a las concentraciones de 1000 y 200 NMP/100mL para coliformes totales y coliformes fecales, respectivamente, establecidas en el Decreto 1076 del 2015. El 90 % de las muestras presentaron recuentos de coliformes totales mayores

a 40 UFC/100 ml. E2, E5, E6 y E7 fue alto (> 80 UFC/100mL); E3 y E8 mostraron los valores más bajos con 3 y 11 UFC/100 mL,

Calidad de agua para riego

De acuerdo con los resultados (tabla 4) y a la relación adsorción de sodio, se determinó que el recurso no es adecuado para riego en la Universidad del Magdalena. La concentración de Carbonato de Sodio Residual (CSR) osciló entre un rango 14,04 y 20,16 mEq/L, valor elevado no recomendable para uso agrícola.

Tabla 4. Parámetros, índices y calidad de agua subterránea para riego.

Puntos de muestreo		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
CE	µS/cm	763,25	786,25	765,75	687,50	848,75	781,00	761,50	760,75
	pH	8,00	7,54	7,47	8,27	7,83	7,57	7,72	7,72
	Kc	25,75	26,95	23,41	24,14	23,57	24,00	22,44	23,91
	IK	%	31,50	28,60	36,00	30,00	24,90	33,00	36,00
	CSR	mEq/L	16,7468	20,1650	18,4102	15,4405	19,2015	18,5900	15,9481
	RAS		1,097	1,621	1,015	1,239	2,285	1,128	1,058
	SP		5,8445	5,1225	5,0762	4,9551	4,6853	5,3248	5,3182

El pH del agua osciló entre 7,3 y 8,3 valores con tendencia a la basicidad, sin embargo, este parámetro no es un criterio para evaluar calidad de aguas de riego, pero sin duda tiene un efecto sobre la disponibilidad de los nutrientes y el intercambio de iones en el suelo.

La concentración de carbonatos normal oscila entre 0 a 0,1 mEq/L. El análisis mostró 0,189 mEq/L; mientras que los bicarbonatos presentaron rango de 16,20 y 22,37 mEq/L (muy elevado) según el estándar (0 a 10).

La calidad del agua para uso en la agricultura está determinada por la concentración de iones, como calcio (Ca^{2+}), sodio (Na^+), potasio (K^+), magnesio (Mg^{2+}), dióxido de carbono, bicarbonatos, Cloruros y sulfatos (Nishanthiny *et al.*, 2010). Para caracterizar el agua de riego bajo la influencia de los cloruros, sodio y bicarbonatos, se empleó los criterios descritos por Castellanos *et al.* (2000) los resultados evidenciaron la vulnerabilidad del suelo.

Demanda y condiciones de usos

En el análisis de la demanda de agua en 2019, reportó valores de consumo máximo de 50L estudiante-día. Para 2020 la tasa de crecimiento proyectada fue del 2,0 %; sin embargo, en marzo, por la pandemia (COVID 19) la institución fue a modalidad

virtual, situación que alivió la alta demanda del acuífero del año anterior. Para 2022, con retorno a la normalidad académica, la tasa de crecimiento de la población proyectada fue de 28,20 % para el periodo 2023-2027 la tasa de crecimiento fue de 63,4 %, con una población de 40 157 personas y para el periodo 2027 – 2032 la tasa de crecimiento poblacional alcanzaría un 8,10 %, con una población de 43 639 personas.

A partir del diagnóstico, se detectó que el año 2019 (abril) tuvo un incremento del consumo por succión de agua para llenar los carro - tanques de distribución de la ciudad sin un sistema de monitoreo, hay un subregistro. El caudal máximo probable necesario para el buen funcionamiento de la universidad asociado a la infraestructura sanitaria es de 88,92 L/s, teniendo en cuenta el factor de simultaneidad, pero no todos los aparatos funcionan a la vez.

Discusión

A partir del análisis se evidenció que el agua subterránea, constituye una oportunidad de abastecimiento para la Universidad del Magdalena, siendo necesario incrementar la apropiación social del consumo, uso sostenible del recurso, conocer sus características de calidad y cantidad que genere una visión integral en la institución y fortalecer el plan de manejo integral del recurso.

En la tabla 5 (matriz DOFA) y en los [anexos 2](#) y [3](#), se observan los criterios del análisis y de los juicios de clasificación. Escenario actual (diagnostico), recopiló la situación del campus respecto al recurso hídrico y su uso. Para acuicultura y riego con 239 047

m³ y 59 761,6 m³ para uso doméstico (tabla 6) y asume la no recarga del acuífero por la época de sequía que afronta Santa Marta y que su principal río es estacionario, en verano desapareció.

Tabla 5. Matriz DOFA para detectar limitantes y potencialidades en la gestión integral del recurso hídrico en la Universidad del Magdalena.

DEBILIDAD	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No se encontró registro del suministro de demanda o monitoreo, no existen dispositivos para la medir volumen de agua en el campus. ✓ Las redes de distribución de agua se encuentran en mal estado así como algunos aparatos hidrosanitarios. ✓ Los planos de las redes del sistema de abastecimiento de agua están desactualizados. ✓ El uso del agua en las actividades de riego de zonas verdes y de cultivos no tiene registro. ✓ Carencia de manejo de aguas grises, (clínica odontológica y laboratorios). ✓ No se evidencio estudios del estado actual del acuífero y del pozo presente en el campus de la Universidad del Magdalena. ✓ Se identifico escasas fuentes cercanas para la recarga del acuífero 	OPORTUNIDADES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El campus se encuentra rodeado de un acuífero y gracias al pozo que existe, el 90% de las actividades de la institución se atienden con agua extraída de este. ✓ Hay interés de la comunidad universitaria en la gestión del recurso hídrico e iniciativas que se puedan articular institucionalmente con la administración municipal. ✓ El campus permite implementar sistemas naturales para la recarga del acuífero. ✓ Las características del agua extraída del pozo permiten implementar estrategias de bajo costo para su purificación. ✓ La institución académica puede ser un laboratorio de experimentación para la gestión del recurso hídrico.
FORTALEZA	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La diversidad de población estudiantil (con indígenas), enriquece el análisis académico y la visión ambiental de la comunidad universitaria. ✓ Hay consenso en un enfoque ecosistémicos en la planificación y gestión del recurso hídrico. ✓ La universidad cuenta con programas como ing. Ambiental y sanitaria, civil y agronomía que pueden favorecer un manejo técnico y sostenible del recurso, así como vincular estudiantes de antropología, biología, derecho en procesos estratégicos de gobernanza en torno al tema. ✓ Se evidencia estudios de caracterización y uso de agua de aires acondicionados y se avanza en la instalación civil para la implementación reusó de este recurso, así como la recolección de aguas lluvias. ✓ Voluntad política de la institución respecto al tema. 	AMENAZAS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Crisis de abastecimiento de agua en la ciudad. ✓ Crecimiento de la población estudiantil ✓ Incremento en los gastos de inversión en cambio de aparatos hidrosanitarios, válvulas e infraestructura. ✓ Carencia de un plan de acción y monitoreo del pozo profundo. ✓ Posibilidad de Intrusión de cuña salina por el uso desmedido del acuífero y la cercanía al mar. ✓ Territorio con alta vulnerabilidad a cambio climático (alta temperatura y bajo precipitación). ✓ Carencia de recursos para inversión.

Tabla 6. Datos base de consumo de agua para el año 2018. V,m*= variación mensual consumo.

Meses	Tasa de uso anual por usos 2018					
	Acuícola m ³	m ³	Riego Total:	Doméstico m ³	V,m*, (riego) %	V,mo doméstico %
Enero	253,3	196,98	450	112,6	0,19	0
Marzo	34,1	26,53	60,63	15,2	0,03	0
Abril	8138,4	6329,86	14468	3617,1	6,05	6
Mayo	45752,4	35585,24	81337	20334,4	34,03	34
Junio	22938,3	17840,87	40779	10194,8	17,06	17
Julio	24784,2	19276,57	44060	11015,2	18,43	18
Agosto	14845,3	11546,36	26391	6597,9	11,04	11
Septiembre	4254,3	3308	7562	1890	3,16	3
Octubre	4732,8	3681,06	8413	2103,5	3,52	4
Noviembre	3322,2	2583,97	5906	1476,6	2,47	2
Diciembre	3298,6	2565,6	5864	1466,1	2,45	2
Total	2110,9	1641,77	3752	938,2	1,57	2
			239048	59761,6	100	100

Para el escenario tendencial con una tasa anual de crecimiento del 2 % entre los años 2018 y 2032 (tabla 7), las variaciones interanuales de precipitación del Caribe colombiano con predisposición a sequía (fenómeno de Oscilación del Sur “El Niño”, que provoca calentamiento, aumento de temperaturas con alta evapotranspiración, que disminuye flujos de agua

superficial y la recarga de acuíferos (Vuille, 2013; Revueltas *et al.*, 2020). Por otro lado, está la tendencia global de gestión de recursos hídricos, para mejor ordenación y uso del agua (Calderón, 2020), aun así, hay escases de agua y la situación es incierta, debido al fenómeno de cambio climático y carencia de una política de inversión continua en el sector.

Tabla 7. Datos ingresados en función de los escenarios (modelo WEAP).

Actual tendencial	Optimista
Tasa de crecimiento 2 % año 2018.	Medidas para el manejo de la demanda
Tasa de crecimiento con escenario de crecimiento de (4 %), para un total del 6 % que coincide en 2020.	Implementación de algunas estrategias para la disminuir demanda y a su vez aporten al uso sostenible en la institución, entre estas; uso de dispositivos ahorradores, aprovechamiento de aguas lluvias, optimización de las zonas de riego, aprovechamiento de aguas provenientes de los aires acondicionados,
Si se mantiene la tasa de crecimiento los escenarios para 2032, estarían entre 6 % a 10 %.	
Tasa anual de uso de agua para usos pecuarios y de riego 239,047 m ³ y 59,761,6 m ³ para uso doméstico. La recarga del acuífero (2018) fue casi nula por época de sequía y se consideró que el principal río que recarga el acuífero en la zona de estudio es estacionario.	

Tabla 8. Análisis multicriterio del experto 3 para la evaluación de estrategias

Estrategias	Prioridades (%)	Orden de Priorización
Educación ambiental	13,40%	1
Aprovechamiento de las aguas lluvias	11,68%	2
Usos de dispositivos ahorradores	11,16%	3
aprovechamiento de las aguas de los aires acondicionados	10,31%	4
Dispositivo para el control y mediciones de caudales,	10,05%	5
Optimización del riego en las zonas verdes,	10,00%	6
Identificación y diseño de puntos de recarga del acuífero,	9,46%	7
Diseño de plantas de tratamiento,	9,30%	8
Adecuación de filtros purificadores de agua	9,07%	9
Diseño de planta de tratamiento de agua residuales,	5,57%	10

El escenario “Optimista” da respuesta a una condición ideal, se implementarán estrategias de mitigación y se asume un mejor uso del recurso, así como condiciones climáticas normales (bimodal) que recarguen el acuífero. Además, que la ciudad adopte por una solución definitiva (diseño de un sistema de acueducto para solucionar el déficit de agua potable en la ciudad de Santa Marta. En este escenario optimo hay factores que no depende de la comunidad universitaria.

los escenarios prospectados iniciando con crecimiento mesurado del 2 % de la población de la universidad del Magdalena.

Una vez los datos son ingresados al modelo WEAP (demanda, recursos y suministros, elementos del esquema del área de estudio, usos; doméstico (baños, cocina, laboratorios y aseo), riego y piscicultura (zonas verdes, granja, y el surtir las piscinas acuícolas), se proyectan los escenarios a 15 años y se evidenciaron cambios en los sistemas evaluados en función de

El modelo mostró que entre los años 2018 al 2022 conservando la tasa uso actual de agua para usos piscícola, riego y uso doméstico, se presentará dificultad para suplir el gasto, más si se consideran que la tendencia climática del territorio que limitará la recarga del acuífero por merma en la precipitación (Revueltas *et al.*, 2020). Lo anterior coincide con Chavarría y Vargas (2018), quienes argumentan que la variación en el régimen y cantidad de la precipitación, junto con aumentos en la temperatura y evapotranspiración, pueden afectar la recarga, descarga y calidad de las aguas subterráneas y que las características de cobertura vegetal de la zona llevan a mayor

dominancia de la evapotranspiración, e influye en las condiciones del suelo aumentando los límites de almacenamiento y reduce el agua disponible para la recarga.

El escenario optimista planteó reducir demanda, almacenar y reusar agua, así como la recarga del acuífero a través de obras de infraestructura (pozos de inyección, extensión de aguas superficiales y embalses de recarga, barbecho de los campos agrícolas, cavidades cársticas en acuíferos de piedra caliza y otros elementos naturales o hechos por el hombre que permiten el aumento del suministro de aguas subterráneas subyacentes) tal como lo argumenta Daus (2019). Otras actividades priorizadas (tabla 8) fueron tanques de almacenamiento, dispositivos ahorradores en aparatos hidrosanitarios, priorizar uso doméstico sobre piscicultura y

automatizar el riego. En este escenario, se proyectó precipitación normal, con una época de lluvias que corresponde a la recarga del acuífero.

En el modelo la figura 2, muestra diferentes escenarios (al variar tasas de crecimiento de la población), con aumento exponencial, que significa mayor demanda. Bajo este panorama y de acuerdo con las proyecciones del modelo, se aprecia que a partir del 2025 el recurso hídrico del pozo subterráneo no será suficiente para suplir el gasto de la institución. Información que sirvió para que la oficina de planeación de la universidad propusiera el programa "Campus Biocultural" para consolidar la gestión del recurso desde el marco de la institución y permitir tener presupuesto con rubro específico que garantice iniciar adecuaciones que permitan mitigar la situación.

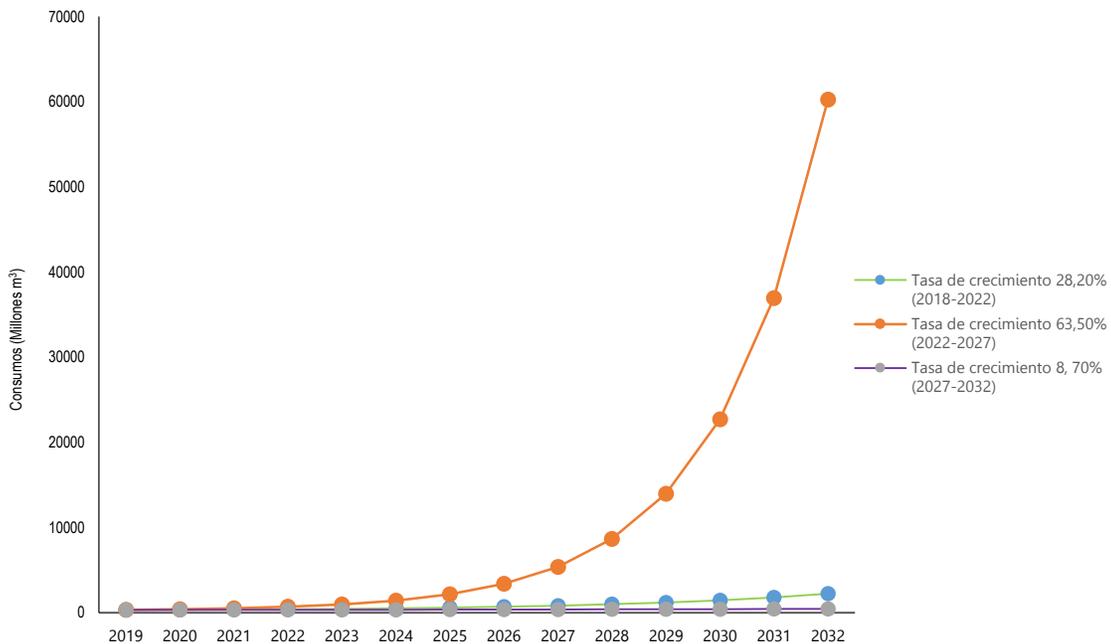


Figura 2. Tendencia año 2018 al 2032, demanda de recurso hídrico con una proyección de 15 años.

Si bien, los ecosistemas naturales propician infiltración, que beneficia la recarga de acuíferos, el cambio de uso del suelo y la variabilidad climática afecta la precipitación y el ciclo hidrológico, lo que reduce la disponibilidad del recurso y la recarga del acuífero Chavarría y Vargas (2018). Por lo descrito, es necesario priorizar canales que permitan mejorar la captación e infiltración de la precipitación en puntos estratégicos, proteger áreas verdes y la parcela permanente (bosque seco) que fomenta servicios ecosistémicos del campus (Strewe *et al.*, 2009; Rengifo, 2015; Daus, 2019).

Asimismo, es significativo desarrollar mayor número de

medidas para regular uso, establecer un sistema que permita contabilizar el agua con precisión (ingresos, egresos y almacenamiento), fundamental para la sostenibilidad del acuífero de acuerdo con Vargas *et al.* (2020) quienes afirman que el monitoreo constante de los dispositivos de extracción y consumo, la participación y responsabilidad pública de acuerdo con el marco legal, permiten mejor manejo del recurso, genera conocimiento y minimizan la contaminación y desperdicio del agua.

Por otro lado, caracterizar el recurso, esencialmente pH, concentración de sales y carbonatos, en agua usada para riego

en un régimen climático como el de Santa Marta (altas temperatura y evapotranspiración con baja precipitación), es fundamental, toda vez que el inadecuado manejo del riego puede inducir salinización de suelos, condiciones por las que se exige diagnósticos claros, monitoreo y posiblemente un pretratamiento del recurso antes de ser usado (Betancourt *et al.*, 2019). Igualmente, es primordial entender que los suelos del campus de la universidad corresponden a Typic ustipsaments conocidos como arenosoles, con régimen de humedad ústico, xérico o limitado por humedad que en condiciones del trópico con temperaturas superiores a 20° C son propensos a procesos de salinización por lo anterior, es conveniente su monitoreo.

La alcalinidad, nitritos, nitratos, sólidos totales y sólidos disueltos disminuyeron en época seca, al no presentarse procesos de infiltración. Los contenidos de nitratos obedecen a sistemas oligotróficos donde los niveles de concentración de compuestos nitrogenados dependen de la productividad biológica. Según Jarsun *et al.* (2008) las aguas con valores de salinidad < 0,5 g/L son consideradas dulces, de acuerdo con lo obtenido en este parámetro (salinidad < 0,4) estarían en este rango, pero es recomendable monitoreo porque de acumularse en el perfil del suelo, puede incidir en otras propiedades.

La alcalinidad, nitritos, nitratos, sólidos totales y sólidos disueltos disminuyeron en época seca, al no presentarse procesos de infiltración. Los contenidos de nitratos obedecen a sistemas oligotróficos donde los niveles de concentración de compuestos nitrogenados dependen de la productividad biológica. Según Jarsun, Bustos y Carnero (2008) las aguas con valores de salinidad < 0,5 g/L son consideradas dulces, de acuerdo con lo obtenido en este parámetro (salinidad < 0,4) estarían en este rango, pero es recomendable monitoreo porque de acumularse en el perfil del suelo, puede incidir en otras propiedades.

Respecto a los rangos promedios de alcalinidad se encontró entre 260,50 en E2 y 307,04 mg/L en E6, concentraciones que exceden los límites permitidos por Resolución 2115 de 2007 (200 mg/L), sin embargo, hay que tener presente que el pH del agua subterránea depende de los equilibrios de dióxido de carbono, carbonato y bicarbonato. Valores extremos básicos pueden propiciar cálculos en riñón. No obstante, el pH fluctúa rangos alcalinos (Pérez, 2016; Barik y Pattanayak, 2019). El valor de pH más alto lo reportó (E1) y (E4) y puede atribuirse a la evapotranspiración del agua en el lago y al anhídrido carbónico disuelto, procedente de la atmósfera y por la respiración y fotosíntesis de los organismos acuáticos (Zamora 2009,

Monterroso *et al.*, 2021).

La concentración para sólidos totales (ST) de los puntos E5 y E8, se da por contenidos de materiales suspendidos y disueltos en agua y la falta de mantenimiento de tanques situación que se evidencio en la inspección en campo, mientras que en los puntos E1 y E4 (con mayor turbidez), obedece a la dificultad del líquido para transmitir la luz por sólidos en suspensión (arcilla, arena, limos, compuestos orgánicos o plancton y otros organismos microscópicos).

Los valores de dureza reportados están por encima del máximo permisible (300 mg/L para consumo) se clasifican como aguas muy duras (OMS, 2014). Las concentraciones más altas encontradas en E3 y E8 ratifica el daño de los destiladores de los laboratorios, debido principalmente a la descomposición térmica de los bicarbonatos de Ca y Mg solubles en el agua por calentamiento, en donde se elimina el dióxido de carbono y se precipitan los carbonatos (CaCO₃) insolubles quedando en superficie induciendo a costra en las paredes de los equipos, y cuando se utiliza jabón, se forman precipitados en forma de grumos, por la presencia de sales solubles de Ca y Mg generando corrosión e incrustación en tuberías, fenómeno explicado por Soto (2010) Salto y Donald (2018) y Aguirre *et al.* (2018).

Por su parte, García (2012) informa que la concentración alta, repercute en la acumulación de carbonatos sobre capas superficiales del suelo y es causa de alcalinización (Moreno e Ibáñez, 2019), la reacción de carbonatos con dióxido de carbono y agua, produce disolución y transferencia de iones de bicarbonato de un punto a otro del perfil del suelo mediante hidrólisis, al disolverse y desplazarse por el espacio poroso formando un horizonte de acumulación de carbonato de calcio, fenómeno que se acelera a temperaturas mayores de 20°C originando degradación en zonas semiáridas, como las del área de estudio.

Lo anteriormente descrito indica riesgo de carbonatación que se presenta cuando el sodio desplaza al Ca²⁺ y Mg²⁺, y forma carbonatos, lo cual conlleva a sodicidad del suelo, aumentando la degradación del territorio (Medina *et al.*, 2016), por lo que es urgente pre tratamiento del agua antes de ser utilizada, su uso prolongado puede desertificar el campus universitario.

Las sales solubles como cloruros de sodio (NaCl) y de potasio (KCl) reportan 1 a 100 mg/L. Concentraciones que a pesar de cumplir los criterios de la Resolución 2115 de 2007, son elevadas. La mayor parte del cloruro de las aguas subterráneas proceden del mar o de sedimentación de minerales afines concentrados por evaporación y disolución de las partículas de

material sólido existentes en la atmósfera (Olías *et al.*, 2005), por las altas temperaturas y la cercanía al mar de la zona, es común encontrarlos, por lo que la explotación del acuífero debe ser cuidadosa para descartar la influencia de la cuña marina en el futuro Daus (2019).

Debido al crecimiento de las poblaciones en las zonas costeras se han alterado los estuarinos, situación que influyen en el desarrollo y dinámica del ciclo del agua, así como el grado de incertidumbre de los factores relacionados con el clima, como los patrones de precipitación y cantidades y frecuencia de sequías, que aumentan significativamente con el tiempo (Martínez *et al.*, 2018). Scherger *et al.* (2019) discuten la salinidad de los suelos asociados a la transferencia de solutos desde el acuífero somero e hipersalino a partir del ascenso capilar, a través del proceso de evapotranspiración favorecido por la textura fina de los sedimentos que componen la zona no saturada y la alta temperatura (temperaturas superiores a 15 °C favorecen la proliferación de microorganismos, de igual forma, a la cantidad de oxígeno que puede transportar el agua, a menor temperatura transporta más oxígeno, así mismo, altas temperatura acelera sedimentación de sales por evaporación), condiciones semejantes a las del área de estudio que pueden inducir el proceso Aguirre *et al.* (2022).

El comportamiento de los fosfatos puede deberse a un proceso de precipitación o disolución del fósforo inorgánico, como lo argumenta Jiménez (2008) al demostrar que este elemento depende de las condiciones redox del sedimento, sin embargo, los niveles reportados están dentro de los límites permisibles. Por su parte, las concentraciones de sulfatos encontrados en E1 y E3 evidencian una variación entre los tanques y los cuerpos de agua artificiales, esto puede ser resultado del tipo de almacenamiento, por consiguiente, se pueden atribuir las altas concentraciones de Fe en los cuerpos de agua artificiales a la formación de complejos de hierro con la fracción húmica de materia orgánica (Martínez *et al.*, 2006) y al tipo de sedimentos en la zona.

Las concentraciones de coliformes fecales encontrados en E2, E5, E6 y E7 se pueden atribuir al deterioro de tanques con posibles fallas del sistema de distribución y probabilidad de contaminación por materia fecal. De acuerdo con Ríos *et al.* (2003), la presencia o ausencia de bacterias pertenecientes a la flora saprófita intestinal, entre las que se encuentran *Bacteroides fragilis*, bacterias mesófilas, coliformes totales y fecales *Escherichia coli* y estreptococos fecales, muestran inadecuadas condiciones higiénicas.

En síntesis, el estudio expuso la vulnerabilidad de la institución a desabastecimiento de agua y la importancia del acceso al recurso (agua subterránea) para su funcionamiento, por lo que es indispensable una gestión integrada. Así mismo, reveló la diversidad de conocimientos y tradiciones sobre uso y manejo del agua y mostró que 71 % de la población desconoce la fuente de abastecimiento del campus universitario, al tiempo que el 93% dice no tener información relacionada con buen uso en el campus y no conocen ningún plan o programa al respecto; este mismo porcentaje, indica que estarían dispuestos a implementar alternativas de buen uso y aprovechamiento del agua en el campus.

Los escenarios de cambio climático para Colombia (IPCC, 2007; IDEAM, 2011) exponen para el año 2040 un aumento de la temperatura media-superior al 2 % de manera homogénea en el país, lo cual, a la fecha, fue superado (Revueltas *et al.*, 2020). Para regiones como la costa caribe se pronosticó reducción de la precipitación entre el 10 % y el 30 % respecto al promedio, afectando de manera directa los recursos hídricos. No obstante, los resultados y de acuerdo con lo planteado por García *et al.* (2012) generar políticas de planificación del recurso hídrico, además de orientar uso del agua y la ocupación del territorio con una visión sostenible, es una de las formas de iniciar a mitigar el problema.

Conclusiones

Para mejorar la seguridad del abastecimiento y la sostenibilidad del agua en el campus de la Universidad del Magdalena se requiere un plan de gestión integral instaurado desde la alta gerencia que garantice recursos y el entorno físico adecuado para la implementar acciones de mitigación ante la falta de agua. No obstante, el modelo (WEAP) trabajó con proyecciones circunstanciales, pero dadas las tendencias climáticas y condiciones del área de estudio, es relevante para estimar cambios que afectarían la institución, por lo cual se sugiere considerar su ejecución.

Agradecimientos

A la Universidad del Magdalena por su apoyo logístico, a Jhon Taborda por el apoyo administrativo, a Eleanar Pulido Martínez, Andrés Felipe Vallejo, Andrés Alvarado por el apoyo en la adquisición de datos.

Referencias

- Aguirre, S.E., Piraneque, N.V. y Rozo, A. 2018. Potencial de uso del agua proveniente de los sistemas de aire acondicionado en el Caribe seco colombiano. *Información tecnológica* 29(6): 33-42. Doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000600033>.
- Aguirre Forero, S.E., Piraneque Gambasica, N.V. y Mercado Fernández, T. 2022. Suelo y cambio climático: Incluye estudio de casos. Editorial Unimagdalena, Santa Marta.
- Barik, R. y Pattanayak, S. 2019. Evaluación de la calidad del agua subterránea para el riego de espacios verdes en la ciudad de Rourkela, Odisha, India. *Groundwater for Sustainable Development* 8: 428 - 438. Doi: <https://doi.org/10.1016/J.GSD.2019.01.005>.
- Betancourt, C., Tartabull, T., Labaut, Y. y Ferradaz, R. 2019. Principales procesos que impactan la calidad del agua para el riego en pozos costeros del centro sur cubano. *Revista internacional de contaminación ambiental* 35(3): 541-552. Doi: <http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2019.35.03.02>.
- Calderón, C. 2020. La gestión integrada de recursos hídricos en la regulación de aguas, Identificación y propuesta de avances, a partir de instrumentos vigentes. *Revista de Derecho Administrativo Económico* 30: 141-171. Doi: <https://doi.org/10.7764/redae.30.6>.
- Castellanos, J.Z., Uvalle-Bueno, J. X. y Aguilar-Santelises, A. 2000. *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas agrícolas, plantas y ECP*. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola, México D.F.
- Chavarría, S.B. y Vargas, T.B. 2018. Estado del arte sobre el cambio climático y las aguas subterráneas. Ejemplos en Colombia. *Revista Politécnica* 14(26):52-64. Doi: <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v14n26a5>.
- Daus, A. 2019. Almacenamiento y recuperación de agua en acuíferos: Mejoramiento de la seguridad en el abastecimiento de agua en el Caribe. Oportunidades y desafíos. Informe. Banco Interamericano de desarrollo, Bogotá D.C.
- Dourojeanni, A. y Jouravlev, A. 2001. Crisis de gobernabilidad en la gestión del agua: desafíos que enfrenta la implementación de las recomendaciones contenidas en el capítulo 18 del Programa 21. Comisión Económica para América Latina –CEPAL Serie Recursos Naturales e Infraestructura, Santiago de Chile.
- García, A. 2012. Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 6: 27-36.
- García, M.C., Piñeros Botero, A., Bernal Quiroga, F.A. y Ardila Robles, E. 2012. Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia. *Revista de Ingeniería* (36): 60-64.
- Hernández Juárez, R.A., Martínez Rivera, L.M., Peñuela-Arévalo, L. A. y Rivera-Reyes, S. 2019. Gestión del agua subterránea en los acuíferos de la cuenca del río Ayuquila-Armería en Jalisco y Colima, México. *Región y Sociedad* 31: e1093. Doi: <https://doi.org/10.22198/rys2019/31/1093>.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) 2007. Toma de muestras de aguas residuales: instructivo para la toma de muestras de aguas residuales. Informe. IDEAM, Bogotá D.C.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2011. Cuarto Estudio Nacional del Agua. Presentado en: Los Estudios Nacionales de agua. Informe. IDEAM, Bogotá D.C.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2013. Aguas subterráneas en Colombia: una Visión General. Informe. IDEAM, Bogotá D.C.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2015. Estudio Nacional del Agua: Información para la toma de decisiones, Sala de Prensa Virtual. Informe. IDEAM, Bogotá D.C.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. EN: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. Editores. *IPCC, Documento síntesis*. El Cambio Climático y el Agua, Secretaría del IPCC, Geneva.
- Jarsun, R., Bustos, V. y Carnero, M. 2008. Manual de uso e interpretación de aguas. Informe. Secretaría de ambiente, INTA, Córdoba.
- Jiménez, M. 2008. Transferencia de nutrientes entre la columna de agua y el sedimento bajo condiciones anaerobias en el embalse de Beniarrés. Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Leroy, H., Palanski, M. y Simmons, T. 2012. Authentic leadership and behavioral integrity as drivers of follower commitment and performance. *Journal of business ethics* 107 (3): 255-264. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10551-011-1036-1>.

- Martínez, G., Senior, W. y Márquez, A. 2006. Especiación de metales pesados en la fracción disuelta de las aguas superficiales de la cuenca baja y la pluma del río Manzanares, Estado Sucre, Venezuela. *Ciencias marinas* 32(2): 239-257.
- Martínez Valdés, Y. y Villalejo García, V. M. 2018. La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. *Ingeniería hidráulica y ambiental* 39 (1): 58-72.
- Medina, E. K., Mancilla, O.R., Larios, M.M., Guevara, R.D., Olgún, J.L. y Barreto, O.A. 2016. Calidad del agua para riego y suelos agrícolas en Tuxcacuesco, Jalisco. *Idesia (Arica)* 34(6): 51-59.
- Mira Vega, L.I. 2019. Sistema de monitoreo en tiempo real de los niveles freático y de calidad del acuífero de la ciudad de santa marta: revisión del estado actual del acuífero Universidad Cooperativa Santa Marta. Informe de Pasantía de investigación, Universidad Cooperativa. Santa Marta, Colombia.
- Ministerio De Ambiente Vivienda y Desarrollo Sostenible. 2016 Estado del recurso hídrico, Gestión integral del Recurso Hídrico, política nacional del recurso hídrico. MADS –Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico, Bogotá D.C.
- Monterroso-Rivas, A.I. y Gómez-Díaz, J.D. 2021. Impacto del cambio climático en la evapotranspiración potencial y periodo de crecimiento en México. *Terra Latinoamericana* 39: e774. Doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.774>.
- Moreno, H. e Ibáñez, S. 2019. Procesos formadores: La Carbonatación, Informe. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Nishanthiny, S.C., Thushyanthy, M., Barathinathan, T., Saravanan, S. 2010. Irrigation Water Quality Based on Hydro Chemical Analysis, Jaffna, Sri Lanka. American-Eurasian. *Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 7(1): 100-102.
- Olías, M., Cerón, J.C. y Fernández, I. 2005. Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del US Laboratory Salinity (USLS). *Geogaceta* 37: 111-113.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2019. Informe de políticas de la ONU-AGUA sobre el Cambio Climático y el Agua. UN wáter: Organización de las Naciones Unidas (ONU), París.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2006. Guía para calidad de agua potable. Organización Mundial de la Salud, Ginebra.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2014. Progress on Drinking Water and Sanitation. Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos. Organización Mundial de la Salud (OMS), Ginebra.
- Pauta, G., Velazco, M., Gutiérrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, Ó. y Abril, A. 2019. Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana* 10(2): 76-88. Doi: <https://doi.org/10.18537/mskn.10.02.08>.
- Pérez, E. 2016. Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Tecnología en Marcha* 29(3): 3-14. Doi: <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>.
- Pinos, J. y Malo-Larrea, A. 2018. El derecho humano de acceso al agua: una revisión desde el Foro Mundial del Agua y la gestión de los recursos hídricos en Latinoamérica. *Invurnus* 13(1): 12-20.
- Ramírez, M. 2004. El método de jerarquías analíticas de Saaty en la ponderación de variables, Aplicación al nivel de mortalidad y morbilidad en la provincia del Chaco. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas* 1-4.
- Rangel J.O. y Carvajal, J. E. 2012. Clima de la región Caribe colombiana. En: *Colombia Diversidad Biótica XII: La región Caribe de Colombia*. Bogotá: Instituto de Ciencia Naturales, Universidad Nacional de Colombia.
- Rengifo, J. M. 2015. Herpetofauna del campus de la Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. *Revista Biodiversidad Neotropical* 5(1): 54-63.
- Revueltas, J.E., Zabaleta, A., Mercado, T., y Aguirre, S. 2020. Cambios en el clima local y su efecto en la regulación hídrica en microcuencas del departamento del Magdalena, Norte de Colombia. *Información tecnológica* 31(6): 193-206.
- Riechmann, J. 2003. Tres principios básicos de justicia ambiental. *Revista internacional de filosofía política* 21: 103-120.
- Ríos, S., Agudelo, R., y Gutiérrez, L. 2003. Patógenos microbianos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública* 35: 236-247. Doi: <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>.
- Romero, I., Pulido, E., Vallejo, O. y Aguirre, S. 2019. Condiciones de uso y diagnóstico de la calidad del agua subterránea en el campus de la Universidad del Magdalena. Tesis de maestría. Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.
- Saltos, V. y Donald, R. 2018. Evaluación de tres tipos de tuberías usadas en tratamientos magnéticos para reducción de

concentraciones de calcio y magnesio en aguas duras. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta. Saaty, T. 2014. *Toma de decisiones para líderes*. RWS Publications, University of Pittsburgh, Pittsburgh.

Scherger, L.E., Lexow, C., Zanello, V. y Carbajo, M.B. 2019. Salinización de suelos de textura fina por ascenso capilar a partir del acuífero freático hipersalino somero (Bahía Blanca, Argentina). *Revista aguas subterráneas*. Doi: <https://doi.org/10.14295/ras.v33i2.29265>.

Soto, J. 2010. La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias. *Ingeniería, investigación y tecnología* 11(2): 167-177.

Strewe, R., Villa-De León, C., Alzate, J., Beltrán, J., Moya, J., Navarro, C. y Utria, G. 2009. Las aves del campus de la Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. *Intropica* 4(1): 79-91.

Vargas, C. R., Samaniego, L., y Medina, M. R. 2020. Estado actual del Monitoreo de agua subterránea en América Latina

e Introducción al programa GGMN. *Aqua-LAC* 12(1): 118-126.

Vuille, M. 2013. El cambio climático y los recursos hídricos en los Andes tropicales, Banco Interamericano de Desarrollo 21. http://groundwater.sdsu.edu/GlaciAr_CRRR.pdf. "WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO). 2019. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: París, UNESCO. <https://es.unesco.org/watersecurity/wwap/wwdr/2019#download>; consultada el 11 de noviembre de 2019.

Zamora, J. R. 2009. Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela. *Pensamiento Actual* 9(12): 125-134. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5897932.pdf>.

Zamora, R. A. 2013. Evaluación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificaciones. Tesis de grado, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.

Evaluación del rendimiento de híbridos provenientes de líneas endocriadas de maíz criollo (*Zea mays*) del departamento del Magdalena

Evaluation of the yield of hybrids of endogamous lines of local maize (*Zea mays*) from the Magdalena department

Andrés Clemente-Fuentes, Manuel Humberto Meneses-Hernández y Catherine Pardey-Rodríguez* 

Programa de Ingeniería Agronómica, Universidad del Magdalena, Magdalena, Colombia

Resumen

Se evaluó germoplasma de maíz criollo procedente del departamento del Magdalena preservado en los laboratorios del Programa de Ingeniería agronómica de la Universidad del Magdalena que permitiera conocer el potencial agronómico y conveniencia de su reintroducción a comunidades agrícolas. Para ello, se estimó la aptitud combinatoria general y específica para identificar las poblaciones sobresalientes. Se emplearon cinco genotipos de maíz criollo aumentados por autofecundación, que luego fueron cruzados entre sí a través de un cruzamiento dialélico 5x5. Las poblaciones híbridas F1 fueron evaluadas por rendimiento bajo las condiciones agroecológicas de la Granja Experimental de la Universidad del Magdalena ubicada en la ciudad de Santa Marta, Colombia en el segundo semestre del año 2017. El diseño estadístico empleado fue el Modelo Fijo con el Método 2 de Griffing para determinar los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) que permite identificar los mejores progenitores con habilidad para transmitir sus caracteres deseables a la descendencia, y la aptitud combinatoria específica (ACE) para la identificación de aquellas combinaciones híbridas F1 sobresalientes para la característica de rendimiento. Se pudo observar que en los progenitores el efecto genético aditivo fue similar para la expresión del rendimiento en las combinaciones híbridas. En la comparación de los híbridos se presentó el efecto de dominancia en los híbridos que comparten los parentales: 11,3202 y 3203. Y entre cruzamientos que no compartieron ningún parental: (87 x 3202) & (88 x 3203) \wedge (88 x 3202) & (11 x 3203).

Palabras clave: modelo de Griffing; dialélico; aptitud combinatoria general; aptitud combinatoria específica

Abstract

Local maize germplasm from the department of Magdalena preserved in the laboratories of the Agronomic Engineering Program of the University of Magdalena was evaluated, which would allow knowing the agronomic potential and convincing its reintroduction to agricultural communities. The general and specific combinatorial capacity was estimated to identify the outstanding populations. Five genotypes of local maize requested by self-pollination were used, then crossed with each other through a 5x5 diallel cross. The populations of F1 hybrids were evaluated in yield under the agro-ecological conditions of the Experimental Farm of the Universidad del Magdalena located in the city of Santa Marta, Colombia, in the second semester of 2017. The statistical design used was the Fixed Model with Griffing 2 Method to determine the effects of the general combinatorial capacity (ACG) that allows identifying the best parents with the capacity to transmit their desired characters to the offspring and the specific combinatorial capacity (ACE) for the identification of those outstanding F1 hybrid combinations for the performance characteristic. It was observed that the additive genetic effect in the parents was similar to the yield expression in the hybrid combinations. In the comparison of the hybrids, the dominance effect was present in the hybrids that share a parent: 11.3202, and 3203. And among crosses that did not share any parent: (87 x 3202) & (88 x 3203) \wedge (88 x 3202) and (11x3203).

Key words: Griffing model; diallelic; general combining ability; specific combinatorial aptitude

***Autor de correspondencia:**

catherinepardey@unimagdalena.edu.co

Editor: Gabriel Navas Suárez

Recibido: 28 de abril de 2022

Aceptado: 27 de junio de 2022

Publicación en línea: 30 de junio de 2022

Citación: Clemente-Fuentes, A., Meneses-Hernández, M.H. y Pardey-Rodríguez, K. 2022. Evaluación del rendimiento de híbridos provenientes de líneas endocriadas de maíz criollo (*Zea mays*) del departamento del Magdalena, Caribe colombiano.

Intropica 17(1): 88-96. Doi:

<https://doi.org/10.21676/23897864.4039>

Introducción

En el año 2019 Colombia fue el séptimo país en el mundo en importar maíz y el primero en Sudamérica (Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), 2019). Este grano es la dieta de los colombianos al ser componente fundamental de alimentos como arepas, mazamorra y sopas, entre muchos otros (Gómez *et al.*, 2009). Así mismo, se utiliza en la fabricación de alimentos empleados en granjas avícolas, porcinas, acuicultura y mascotas (Federación nacional de cultivadores de cereales, leguminosas y soya (FENALCE, 2021). En Colombia se manejan dos sistemas de producción de maíz: tecnificado y tradicional; el primero con rendimientos alrededor de 5,4 t/ha y el tradicional con 2 t/ha (Fenalce.co/estadística, 2021). La productividad del maíz en Colombia es alta porque se consume a un ritmo mayor al que se produce, que depende de las importaciones principalmente del maíz de Estados Unidos (FENALCE, 2021). En el departamento del Magdalena, debido a las altas temperaturas y escasas del agua, se proyectan reducciones del rendimiento del maíz, de ahí, el desarrollo de variedades adaptadas a los climas futuros (Paliwal, 2001a; Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2019; Lozano *et al.*, 2021). El acceso a semillas de buena calidad es indispensable porque mejora la calidad de la mazorca y la producción, por tanto, la rentabilidad (Paliwal, 2001a). El mejoramiento del maíz se puede dar mediante el aumento de la frecuencia de genes favorables en comparación con la población original y el desarrollo de híbridos es una población F1 con vigor; sin embargo, también se reconoce el desarrollo de híbridos como alternativa al mejoramiento de poblaciones de maíz en donde el tipo de semilla que se produce presenta un rendimiento de grano superior a sus padres como consecuencia de la heterosis, la cual ofrece un potencial heterótico en los germoplasmas que permitirán establecer el desarrollo de trabajos, sea para las variedades (poblaciones mejoradas) o en híbridos (Comstock *et al.*, 1949; Paliwal, 2001b).

La variabilidad genética define como las variaciones heredables que ocurren en la planta, entre los individuos de una población y entre poblaciones de una especie, estableciéndose como el componente básico de la diversidad de las especies (Vega, 1988). La variabilidad genética permite integrar poblaciones de amplia base genética, las cuales sirven como material base en los programas de mejoramiento genético con el fin de incrementar el rendimiento y otros caracteres; sin embargo, el uso real de la variabilidad genética es limitado (Rimieri, 2017).

En el carácter de rendimiento se realizan esfuerzos por diversificar el acervo del germoplasma cruzando entre diferentes poblaciones y creando grupos heteróticos (Paliwal, 2001b). Vega (1988) registró la variable rendimiento como una característica controlada por muchos genes, se caracteriza por exhibir una distribución continua de fenotipos y está influenciada por el ambiente; la expresión del genotipo es debida a efectos aditivos, de dominancia y epistasia. El rendimiento es una característica cuantitativa donde hay que tener en cuenta la cantidad y calidad de la variabilidad genética existente en la población para desarrollar el método de selección adecuado para este carácter (Vega, 1988).

Existen diversas metodologías para el estudio de la variabilidad genética entre ellas los cruzamientos dialélicos, esta metodología trata de proveer información temprana sobre el comportamiento genético de los atributos de interés en la primera generación filial (F1) que permite obtener información de la aptitud combinatoria que se puede obtener entre los progenitores y la progenie y así, direccionar el método de mejoramiento (Griffing, 1956; Vega, 1988; Lagos *et al.*, 2003). Los conceptos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) son conceptos desarrollados por los fitomejoradores en maíz para explorar la heterosis en el desarrollo de híbridos comerciales, seleccionando líneas endogámicas, y evaluando la variabilidad genética de la población, así como también para identificar patrones heteróticos (Vega, 1988; Lagos *et al.*, 2003). Los conceptos de ACG y ACE fueron definidos por Sprague y Tatum (1942) quienes señalaron el ACG como el comportamiento promedio de una línea en combinaciones híbridas; para esto toma un grupo de parentales, cada parental se cruza con el resto de los parentales que integran un grupo, y el comportamiento promedio de la primera generación filial resultante (F1) es la base para valorar la capacidad combinatoria entre ellos (Vega, 1988; Lagos *et al.*, 2003). El término ACE es usado para designar aquellos casos en los cuales ciertas combinaciones F1's resultantes se comportan relativamente mejor o peor que el comportamiento promedio de los parentales involucrados, esto es una desviación de la aptitud combinatoria general de ambos parentales que intervinieron en el cruzamiento.

El CIAT y el CIMMYT (2019) registraron para Colombia 23 razas y 5600 accesiones para salvaguardar la biodiversidad de la especie. En el cultivo de maíz en la zona rural del Magdalena se presentan poblaciones criollas, conocidas como materiales locales; estas poblaciones se caracterizan porque son de bajo rendimiento adaptadas por selección natural y artificial

mantenida por los sistemas de producción agrícola familiar (Roberts et al., 1957). El germoplasma criollo posee adaptación local; siendo así un recurso genético valioso que se debe de conservar; estos materiales criollos tienen estabilidad y sostenibilidad económica (Paliwal, 2001c; Grupo Semillas, 2005). El recurso fitogenético con el que cuenta el Programa de Ingeniería Agronómica de la Universidad del Magdalena está conformado por genotipos criollos de este departamento (Pardey et al., 2016). Estudiar la diversidad genética presente en estos materiales criollos y explorar sus bondades permitirá valorar nuevos arreglos genéticos que expresen un mayor rendimiento del grano. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue estimar los efectos de la ACG de cinco líneas de maíz criollo y la ACE de sus cruza directas para el rendimiento.

Materiales y métodos

El estudio se realizó a partir de agosto de 2017 en la granja de la Universidad del Magdalena, Colombia, ubicada en la ciudad de Santa Marta entre las coordenadas 74° 12' 06" LO y 11° 14' 50" LN. Esta se caracteriza por presentar un clima cálido con temperatura mínima de 25°C y máxima de 32°C. La precipitación de 453 mm, velocidad del viento de 1 a 6 m/s, radiación solar acumulada por día de 18,5 MJm²/d, humedad relativa media de

75 %, suelo arenoso seco típico (Vásquez et al., 2010), vegetación xerofítica; y un ecosistema de bosque seco tropical (Bs-T) (IDEAM, 2018).

El germoplasma fue donado inicialmente por la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira (tabla 1). Con base en el material donado se realizó la producción en la granja experimental de la Universidad del Magdalena realizando cruzamientos fraternales (Pardey Rodríguez, 2014) en donde se caracterizó el germoplasma (Pardey, García y Moreno, 2016); la siguiente generación se autofecundó (S1), parte de la semilla S1 se utilizó para crear semilla híbridos F1. La evaluación de la semilla F1 (tabla 2) y sus parentales (tabla 1) se evaluaron bajo un diseño dialélico 5x5; el diseño de siembra en campo fue de bloques completos al azar con 15 tratamientos (cinco parentales y diez híbridos), tres repeticiones/bloque; cada tratamiento se sembró en parcelas formadas por cuatro surcos, espaciados a 80 cm entre surco y 20 cm entre planta, para un total de 52 plantas/tratamiento. El comportamiento de la semilla híbrida y los parentales se evaluó en función del rendimiento en toneladas por hectárea con base en la producción de la parcela; se calculó el peso de todas las mazorcas, se hizo un cálculo por parcela y se extrapoló a toneladas por hectárea (CIMMYT, 2012).

Tabla 1. Pasaporte de genotipos de maíz criollo procedentes del departamento del Magdalena utilizados en un cruzamiento dialélico 5x5 evaluado en el Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal de la universidad del Magdalena, Colombia 2017. NN= sin identificación.

Entrada	DPTO	Municipio	Longitud	Latitud	msnm	Color grano
87	Magdalena	Pivijay	74,23008	10,27455	24	Amarillo rojizo
88	Magdalena	Fundación	74,11195	10,31231	49	Amarillo
11	Magdalena	Fundación	74,11	10,31	53	Amarillo
3202	Magdalena	NN	NN	NN	NN	Amarillo
3203	Magdalena	NN	NN	NN	NN	Amarillo y blanco

Tabla 2. Diseño de un cruzamiento dialélico 5x5 entre líneas endocriadas (S1) de maíz criollo procedentes del departamento del Magdalena crecido en la Granja Experimental de la universidad del Magdalena, Colombia 2017.

	87	88	11	3202	3203
87	87 x 87 (S1)	87 x 88	87 x 11	87 x 3202	87 x 3203
88		88 x 88 (S1)	88 x 11	88 x 3202	88 x 3203
11			11 x 11 (S1)	11 x 3202	11 x 3203
3202				3202 x 3202 (S1)	3202 x 3203
3203					3203 x 3203 (S1)

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza para comparar los valores de la media del rendimiento de los tratamientos en un ambiente con error alfa de 5 %. El modelo genético para el análisis de los datos fue el método 2 de Griffing 1956, el cual se describe como un cuadro de cinco filas y cinco columnas donde los padres (X_{ii}) están ubicados en la diagonal que son el producto de autofecundaciones (S_1) y las cruzas directas (X_{ij}) están sobre la diagonal, la cuales son cruzas que tienen en común el padre i (tabla 2). Un modelo fijo fue calculado, en el cual los progenitores han sido deliberadamente seleccionados. Los efectos genéticos ACG para las cinco líneas endocriadas y la Aptitud Combinatoria Específica (ACE) para los diez híbridos fueron estimados. Se utilizó la Suma de los Cuadrados Medios para estimar los efectos de ACG a los parentales (g_i) y ACE a los híbridos (s_{ij}). El Coeficiente de Variación (CV) se calculó con base en el cuadrado medio del error que representó la varianza del experimento y la media general (Lagos y Criollo, 2018).

El valor del ij -ésimo genotipo (X_{ij}) fue una función lineal del valor promedio de cada uno de los gametos (g_i, g_j) que se combinaron para formar el genotipo, más la interacción entre dichos gametos (s_{ij}):

$$X_{ij} = g_i + g_j + s_{ij}$$

La varianza genética (σ^2_G) para los individuos $A_iA_jB_kB_l$ en la población, se descompuso de la siguiente manera:

$$\sigma^2_G = \sigma^2_A + \sigma^2_D + \sigma^2_{AA} + \sigma^2_{AD} + \sigma^2_{DD}$$

El efecto efectos de aptitud combinatoria general se relacionó con el gameto A_iB_k fue:

$$g_{ik} = \alpha_i + \alpha_k + (\alpha \alpha)_{ik}$$

Donde: α_i y α_j = efectos genéticos aditivos

$(\alpha \alpha)_{ik}$ = efectos epistáticos aditivos por aditivos

La varianza genotípica total se fraccionó en varianza para ACG y varianza para ACE:

$$\sigma^2_G = \sigma^2_{ACG} + \sigma^2_{ACE}$$

El modelo matemático para la ijk -ésima observado fue:

$$x_{ijk} = u + v_{ij} + b_k + e_{ijk}$$

u = efecto promedio de la población

v_{ij} = efecto del ij -ésimo genotipo

b_k = efecto del k -ésimo bloque

e_{ijk} = efecto residual

$v = 1, 2, \dots, n$

$b = 1, 2, \dots, r$

Para el método 2 la sumatoria usada fue:

$$X_i = \sum X_{ij} = X_{i1} + X_{i2} + X_{i3}$$

Donde $X_{ij} = X_{ji}$; X_{jj} no se consideró

$$X_{..} = \sum \sum X_{ij} = X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{22} + X_{23} + X_{33}$$

La prueba de F es: $F[(\alpha-1), m] = Mv/Me$

El modelo correspondiente al método 2 de Griffing fue:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + G_j + S_{ij} + B_k + (GB)_{ijk} + (1/rn) \sum e_{ijk}$$

La suma de cuadrados de genotipo se fraccionó en:

$$Sc_{acg} = \{[\sum \sum T_{i.} + T_{.i}]^2 / r - 4*(T_{...})^2 / (pr)\} / (p+2)$$

$$Sc_{ace} = [\sum \sum X_{ij}^2 / r] -$$

$$\{[\sum (T_{i.} + T_{.i})^2 / (r(p+2))] + [2*(T_{...})^2 / (r*(p+1)*(p+2))]\}$$

Los cálculos de los efectos de ACG para cada padre:

$$g_i = [(T_{i.} + T_{.i}) / r - (p+2)] - 2T_{...} / (r(p+2))$$

Las varianzas de estos mismos parámetros para probar si son iguales a cero:

$$\delta^2(g_i) = (p-1) \delta^2_e / r(p+2)$$

$$\delta^2(g_i - g_j) = 2\delta^2_e / r(p+2)$$

$$\text{Test (Ho: } g_i = 0) \rightarrow t = g_i - 0 / \sigma(g_i)$$

Los cálculos de los efectos ACE para cada cruce

$$S_{ij} = [(C_{ij}) / r] - \{[(T_{i.} + T_{.i}) + (T_{j.} + T_{.j})] / r(p+2)\} + [(2T_{...} / r(p+1)(p+2))]$$

Estimación de los efectos de actitud combinatoria específica de cada cruce

$$\delta^2(s_{ij}) = (p-1) \delta^2_{error} / r(p+1)(p+2)$$

$$\delta^2(s_{ij}) = (p^2 + p + 2) \delta^2_{error} / r(p+1)(p+2)$$

$$\delta^2(s_{ij} - s_{ik}) = 2(p+1) \delta^2_{error} / r(p+2)$$

$$\delta^2(s_{ij} - s_{kl}) = 2(p) \delta^2_{error} / r(p+2)$$

Resultados

El rendimiento expresado en tonelada por hectárea (t/ha) de los cinco parentales evaluados en cada bloque fue diferente ($P < 0,05$), en la tabla 3 se describen los rendimientos promedio de los cinco progenitores y de los diez híbridos en cada bloque. El rendimiento promedio del ensayo fue de 2,324 t/ha. El promedio más bajo se registró para el parental 87 originario de Pivijay (0,53 t/ha) seguido de 11 proveniente de Fundación (1,2 t/ha), 3203 sin municipio reconocido del Magdalena (1,53 t/ha). Los parentales que tuvieron un rendimiento por encima de la media fueron 3202 sin municipio reconocido en el Magdalena (2,37 t/ha) y 88 proveniente de Fundación (2,5 t/ha). Cuatro parentales son de la raza Clavo, solo el parental 11 es Cariaco;

ambas razas pertenecientes a germoplasma introducido a Colombia. Tres híbridos estuvieron por debajo de la media 87x11 (2,286 t/ha), 88x3203 (2,285 t/ha) y 3202x3203 (1,413 t/ha); los otros siete estuvieron por encima; el de mayor promedio fue el 11 x 3203 (3,77 t/ha).

El análisis de varianza para rendimiento mostró que hubo diferencias entre los bloques y entre tratamientos ($P < 0,05$)

(tabla 4) a causa de la ubicación diferente entre las repeticiones y los tratamientos son líneas y poblaciones filiales F1. El efecto de tratamiento se descompuso entre parentales e híbridos, el efecto de los parentales se expresó en aptitud combinatoria general ACG y el de los híbridos en aptitud combinatoria específica ACE; las diferencias fueron a nivel de híbridos (tabla 4). El coeficiente de variación (CV) fue de 37,40 %.

Tabla 3. Rendimiento t/h de cinco progenitores y 10 híbridos de maíces criollos procedentes del departamento del Magdalena evaluados bajo las condiciones agroclimáticas de la Granja Experimental de la universidad del Magdalena, Colombia 2017.

Genotipo	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Promedio
Padres (S1)				
87	0,000	1,599	0,000	0,533
88	2,917	1,787	2,824	2,509
11	1,809	1,796	0,000	1,202
3202	2,663	2,378	2,096	2,379
3203	1,794	1,568	1,394	1,586
Híbridos F1				
87 x 88	2,470	3,246	2,598	2,771
87 x 11	2,286	3,247	0,000	1,844
87 x 3202	4,463	3,222	2,315	3,333
87 x 3203	1,611	2,778	3,583	2,657
88 x 11	2,698	3,294	2,389	2,794
88 x 3202	3,378	3,415	2,654	3,149
88 x 3203	2,285	2,782	0,000	1,689
11 x 3202	2,700	3,031	2,257	2,663
11 x 3203	3,841	3,841	3,648	3,777
3202 x 3203	1,413	2,870	1,625	1,970
Ȳ.. = 2,324 t/h				

Tabla 4. Análisis de varianza genética del dialélico 5x5 empleando líneas endocriadas (S1) de maíz criollo procedentes del departamento del Magdalena, Colombia 2017. *: diferencias significativas al 5%; FV = fuente de variación; GI = grados de libertad; CM = cuadrado medio; Fc = F calculado.

FV	GI	SC	CM	Fc	Ft
Repeticiones	2	6,265	3,132*	4,14	3,34
Genotipos	14	30,79	2,199*	2,91	2,024
ACG	4	5,03	1,257	1,64	1,664
ACE	10	25,759	2,575	3,410*	3,408
Error	28	21,158	0,755		
Total	44	58,214			
CV = 37,40 %					

La estimación de los efectos de ACG mostró valores positivos y negativos, demostrando que hay parentales que pueden incrementar y reducir el rendimiento; asimismo, la prueba de F comprobó la hipótesis nula, en donde los valores obtenidos fueron iguales a cero, confirmando que sí lo son; esto permite

inferir que el aporte genético que hizo cada progenitor al rendimiento fue similar (tabla 5). La falta de significancia estadística entre los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y si estar presente los efectos de aptitud combinatoria específica (ACE), indica que la varianza aditiva de los valores

heredables para el rendimiento es igual entre los progenitores, conllevando a que se clasifiquen como un mismo grupo heterótico.

El cálculo de los efectos de ACE manifestó vigor híbrido en los cruzamientos (tabla 6). La prueba de hipótesis Test-t Ho: $S_{ij} = 0$; mostró que, de 10 cruces, solo dos presentaron diferencias

significativas en los efectos de dominancia y fueron (87 x 3202=3,3 t/ha) y (11 x 3203= 3,7 t/ha). La prueba de hipótesis que valida si hay diferencias entre los rendimientos de los híbridos compartiendo un padre en común mostró cinco comparaciones significativas donde participaron los parentales 11, 3202 y 3203 y dos comparaciones donde no comparten ningún parental (tabla 6).

Tabla 5. Efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) para la variable rendimiento de líneas endocriadas de maíces criollos provenientes del departamento del Magdalena y test para validar si las diferencias entre los efectos aditivos son iguales o no a cero: Test-t Ho: $g_i = 0$.

Parental	ACG
87	-0,324 ns
88	0,211 ns
11	-0,065 ns
3202	0,275 ns
3203	-0,096 ns

Tabla 6 Efectos de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) para la variable rendimiento de 10 cruces directas entre cinco líneas endocriadas de maíces criollos provenientes del departamento del Magdalena, Test para validar si las diferencias entre los efectos de dominancia son iguales o no a cero: Test-t Ho: $S_{ij} = 0$ y significancia entre cruzamientos.

Cruces	ACE
87 x 88	0,560 ns
87 x 11	-0,089 ns
87 x 3202	1,058 *
87 x 3203	0,754 ns
88 x 11	0,324 ns
88 x 3202	0,338 ns
88 x 3203	-0,749 ns
11 x 3202	0,129 ns
11 x 3203	1,615 *
3202 x 3203	-0,532 ns
Comparación entre cruces	
(87 x 11) x (11 x 3203)	*
(87 x 3202) x (3202 x 3203)	*
(87 x 3203) x (88 x 3203)	*
(88 x 3203) x (11 x 3203)	*
(11 x 3202) x (11 x 3203)	*
(87 x 3202) x (88 x 3203)	*
(88 x 3202) x (11 x 3203)	*

Discusión

Con base en nuestros resultados se pudo observar que los rendimientos de las líneas criollas de maíz fueron bajos, esto ha sido registrado por Paliwal (2001a) el cual relaciona las causas del bajo rendimiento del maíz con aspectos como el clima, la duración corta del día, el ciclo vegetativo corto del cultivo y el estrés abiótico propios de las regiones tropicales. Makumbi *et*

al. (2011) se refieren también a las sequías y a la baja en la fertilidad del suelo como factores limitantes en los rendimientos del maíz; no obstante, Santillano *et al.* (2021) sugieren que la aplicación de biofertilizantes como suplemento alternativo a la fertilización inorgánica en suelos deficientes en fosforo asimilable; sin embargo, no se ha encontrado una respuesta significativa en el rendimiento. Resultados obtenidos por Guamán *et al.* (2020) evaluaron cuatro híbridos en el que

consideraron que el rendimiento depende de la adaptación de la planta al ambiente y el desarrollo que la misma pueda alcanzar en la zona plantada; debido a que estas plantas bajo condiciones de estrés inciden en la productividad y la calidad del fruto.

En el caso de México, las variedades nativas han reportado valores desde 2,4 a 5,6 t/h (Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010); mientras que en países suramericanos han sido registrados bajos rendimientos, en el caso de Colombia la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas registraron rendimientos bajos en la siembra tradicional de maíz criollo, 2.1 t/h en promedio, similar a lo reportado en el departamento Magdalena 2,00 t/h (Fenalce, 2021). El rendimiento de 11,11 t/ha es 1,1 t/ha. En Bolivia los valores fueron más bajos a los registrados para Colombia de dos variedades locales (cubano y pisingallo) donde los valores del rendimiento estuvieron entre de 11,11 t/ha, y 1,92 t/ha (Mamani y Echenique 2021). Durante el presente estudio los rendimientos del parental 88 (2,509 t/h) y 3202 (2,379 t/h) superaron los registros nacionales (2 t/ha); los parentales son líneas endocriadas (S1), que proceden de una primera autofecundación (tabla 3); esto se debe a que las siembras de líneas endogámicas suelen ser sensibles a las deficiencias nutricionales, pero pueden llegar a corregirse con fertilización foliar (MacRobert *et al.*, 2015). El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Centro internacional de Mejoramiento de maíz y trigo (CIMMYT) (2019) registraron proyecciones de siembra de maíz adaptado para el Caribe seco colombiano, teniendo en cuenta el pronóstico de aumento en la temperatura y disminución en la precipitación; esto se debe a que la temperatura se ha considerado como un factor importante en la formación del maíz debido a puede llegar a controlar la respuesta del desarrollo en los cereales, especialmente en las variedades que requieren vernalización para pasar del período vegetativo al reproductivo (Romero y Ortega, 2002). No obstante, Alvarado *et al.* (2019) encontraron que las diferencias en el rendimiento de maíces nativos de Puebla y Tlaxcala, México no se asociaron con ningún factor físico, sino a la raza del maíz.

Los progenitores del presente estudio provienen de diferentes municipios del Magdalena (Fundación (11, 88), Pivijay (87) y desconocido, simbolizado como NN (3202 y 3203) (tabla 2) en el que existen descriptores que son contrastantes entre los progenitores como lo registró Pardey y Moreno (2015) en la caracterización donde incluía estos materiales; los autores expresaron que el germoplasma evaluado no recogió toda la

diversidad existente para el departamento del Magdalena; desde esta perspectiva, se hace necesario contar con herramientas moleculares que permitan validar la base genética de este germoplasma, y de esta manera avanzar en mecanismos que conlleven al enriquecimiento de su variabilidad genética. Según lo anterior, el rendimiento que cada progenitor expresó fue una mezcla de genotipos homocigotos, existiendo una variabilidad intra poblacional. Romero y Ortega (2002) lo explicaron diferente al evaluar 49 poblaciones nativas, la divergencia genética se expresa como respuesta al proceso de selección bajo diferentes condiciones naturales, agronómicas y de usos, así como también por infiltración genética. A medida que se incrementa la diversidad genética de los progenitores también se incrementan las diferencias entre los cruzamientos, tanto en características morfológicas como fisiológicas, en el que la expresión de la heterosis es un indicador de la existencia de divergencia genética. La importancia de los efectos de dominancia al estar involucrados en el rendimiento para este grupo de parentales, sí se presentó vigor híbrido en ciertos híbridos que compartían un parental y entre cruzamientos que no compartían parental. Los parentales 11,3202 y 3 203 ha sido sugeridos para avanzar con la formación de líneas endocriadas para la creación de híbridos porque los parentales fueron quienes marcaron la diferencia entre los cruzamientos. Asimismo, se destaca que en este estudio los cruzamientos más rendidores 88 x 3202 (3,149 t/ha) y 11 x 3203 (3,777 t/ha) mostraron diferencias significativas al 0,05 % al valorar los efectos de dominancia diferentes de cero (tabla 6).

Muñoz *et al.* (2017) trabajaron con germoplasma criollo y evaluaron 24 cruzamientos producto de ocho parentales, encontrando que los efectos ACE fueron más importantes que los ACG para el rendimiento, debido a que se pudo identificar que con poblaciones criollas se pueden derivar líneas para desarrollar híbridos con buen nivel de heterosis. Reyes *et al.* (2004) evaluaron líneas obtenidas de las razas Tuxpeño y encontraron que ambos efectos: ACG y ACE fueron significativos para el rendimiento, encontrando diversidad genética en las poblaciones; la varianza genética aditiva resultó cinco veces mayor que la varianza genética de dominancia y las cruces en que intervinieron fueron las de mayor rendimiento. Estos mismos autores (Reyes *et al.*, 2004) dicen que "el mejoramiento genético por hibridación tendrá éxito si las dos líneas de un híbrido son de alta ACG, condición que por sí misma asegura un alto rendimiento. Si adicionalmente el híbrido presenta un efecto positivo alto de ACE, su capacidad de rendimiento aumentará.

Conclusiones

Las cinco poblaciones procedentes del departamento del Magdalena de los municipios de Pivijay (87), Fundación (89 y 11) y desconocido para el mismo departamento del Magdalena (3202 y 3203) muestran que son un mismo grupo heterótico con potencial para desarrollar combinaciones híbridas superiores. Se presentó el Efecto de Dominancia entre híbridos que comparten un parental: 11, 3202 y 3203; y entre híbridos que no comparten ningún parental: (87 x 3202) & (88 x 3203) \wedge (88 x 3202) & (11 x 3203).

Agradecimientos

A la Universidad del Magdalena, a través de la Vicerrectoría de Investigación por su apoyo económico en la financiación del proyecto titulado: Evaluación de híbridos F1 provenientes de líneas endocriadas de maíces criollos del Magdalena para obtener el título de Ingeniero Agrónomo.

Referencias

Alvarado-Beltrán, G., López-Sánchez, H., Santacruz-Varela, A., Muñoz-Orozco, A., Valadez-Moctezuma, E., Gutiérrez-Espinosa, M.A., López, P. A., Gil-Muñoz, A., Guerrero-Rodríguez, J. de D. y Taboada-Gaytán, O.R. 2019. Morphological variability of native maize (*Zea mays* L.) of the west highland of Puebla and east highland of Tlaxcala, Mexico. *Revista De la Facultad de Ciencias Agrarias* 51(2): 217-234. Doi: <https://doi.org/1853-8665>.

Ángeles-Gaspar, E., Ortiz-Torres, E., López, P.A. y López-Romero, G. 2010. Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Revista fitotecnia mexicana* 33(4): 287-296.

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 2019. Maíz para Colombia. Visión 2030. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Bogotá D.C.

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 2012. *Manual de determinación del rendimiento*. CIMMYT. México, D.F.

Comstock, R.E., Robinson, H.F. y Harvey, P.H. 1949. A breeding procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. *Journal of the American Society of Agronomy* 41: 360-367. Doi: <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1949.00021962004100080006>

x.

Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya (FENALCE). (2021) Gremio de productores denuncian importaciones de maíz "SG": Riesgo para la salud pública, el bienestar de especies en la producción pecuaria y para la producción nacional de maíz. FENALCE. Bogotá D.C.

Gómez, L.K., Restrepo, J. y Pachón, H. 2009. Caracterización del consumo de maíz y frijol en familias del departamento del Cauca, Colombia. *Perspectivas en nutrición humana* 11(2):165-76.

Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences* 9(4): 463. Doi: <https://doi.org/10.1071/bi9560463>.

Grupo Semillas. 2005. La diversidad de maíces criollos en Colombia. *Revista Semillas* 1-84.

Guamán, R.N., Desiderio Vera, T.X., Villavicencio Abril, A.F.; Ulloa Cortázar, S.M. y Romero Salguero, E.J. 2020. Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L) utilizando cuatro híbridos. *Siembra* 7(2): 47-56.

Lagos, T.C., Checa, O.E. y Criollo, H.A. 2003. Divergencia Genética y Heterosis. *Revista de Ciencias Agrícolas* 20(1): 9-26.

Lagos, T.C. y Criollo, H.A. 2018. Herramientas estadísticas para la investigación en ciencias agrarias. Universidad de Nariño, editorial universitaria, Pasto.

Lozano, A., Álvarez, C. y Moggiano, N. 2021. El cambio climático en los andes y su impacto en la agricultura: Una revisión sistemática. *Scientia Agropecuaria* 12 (1): 101-108.

MacRobert, J., Setimela, P., Gethi, J. y Worku Regasa M. 2015. Manual de producción de semilla de maíz híbrido. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo CIMMYT, México D.F.

Makumbi, D., Betrán, J.F., Bänziger, M. y Ribaut. J.M. 2011. Combining ability, heterosis and genetic diversity in tropical maize (*Zea mays* L.) under stress and non-stress conditions. *Euphytica* 180 (2):143-162. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10681-010-0334-5>.

Mamani, J. y Echenique, M.A. 2021. Rendimiento de cuatro variedades de maíz (*Zea mays* L.) establecidas en la estación experimental Sapecho, Alto Beni-Bolivia. *Revista de investigación e innovación agropecuaria y de recursos naturales* 8(2):38-45.

- Muñoz Romero, L.A., Navarro, E., De la Rosa Ibarra, M., Romero, L.P. y Ángel Enrique Caamal Dzul. 2017. Estimación de varianzas genéticas en ocho variedades criollas de maíz para el Bajío mexicano. *Agronomía Mesoamericana* 28(2): 455-464. Doi: <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.21801>.
- Paliwal, R.L. 2001a. Consideraciones generales sobre el mejoramiento del maíz en los trópicos. En: Marathée, J.P. Editor. *El Maíz en los Trópicos: Mejoramiento y Producción*. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). Roma.
- Paliwal, R.L. 2001b. Mejoramiento del maíz híbrido. En: Pierre, M.J. Editor. *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*. Primera. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). Roma.
- Paliwal, R.L. 2001c. Recursos genéticos. En: Marathée, J.P. Editor. *El Maíz en los Trópicos: Mejoramiento y Producción*. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. (FAO), Roma.
- Pardey, C. 2014. Producción de semilla y cruzamientos entre accesiones de maíz del departamento del Magdalena, Colombia. *Acta Agronómica* 64(1): 83-92. Doi: <https://doi.org/10.15446/acag.v64n1.44551>.
- Pardey, C. y Moreno, N. 2015. *Descripción morfológica de 13 introducciones de maíz procedente del departamento del Magdalena*. Editorial Unimagdalena, Santa Marta.
- Pardey, C., García, M.A. y Moreno, N. 2016. Caracterización de maíz procedente del departamento del Magdalena, Colombia. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 17(2): 167-190. Doi: https://doi.org/10.21930/rcta.vol17_num2_art:487.
- Reyes López, D., Molina Galán, J.D., Oropeza Rosas, M.A. y Pérez, E.d.C. del Carmen Moreno. 2004. Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza tuxpeño diallel crosses among maize inbred lines derived from the tuxpeño race, *Revista Fitotecnia Mexicana* Doi: <https://doi.org/ISSN:0187-7380>.
- Rimieri, P. 2017. Genetic diversity and genetic variability: two different concepts associated to plant germplasm and breeding. *Journal of Basic and Applied Genetics* 28 (2): 7-13.
- Roberts, L.M., Grant, U.J., Ramírez, R.E., Hatheway, W.H., Smith, D.L. y Mangelsdorf, P.C. 1957. *Razas de maíz en Colombia*. Editorial Máxima. Bogotá D.C.
- Romero, J., Castillo, F. y Ortega, R. 2002. Cruzas de poblaciones nativas de maíz de la raza Chalqueño: II. Grupos genéticos, divergencia genética y heterosis. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25(1): 107-115. Doi: <https://doi.org/0187-7380>.
- Santillano-Cázares, J., Turmel, M.S., Cárdenas-Castañeda M.E., Mendoza-Pérez, S., Limón-Ortega, A., Paredes-Melesio, R., Guerra-Zitlalapa, L. y Ortiz-Monasterio. 2021. I. Can Biofertilizers Reduce Synthetic Fertilizer Application Rates in Cereal Production in Mexico? *Agronomy* 12(1):80. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy12010080>.
- Sprague, G.F. y Tatum, L.A. 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *Journal American Society Agronomy* 34(10): 923-932. Doi: <https://doi.org/10.2134/agronj1942.00021962003400100008x>
- Vásquez Polo, J.R., Baena García, D., y Menjivar Flores, J.C. 2010. Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en suelos de la granja experimental de la Universidad del Magdalena (Santa Marta, Colombia). *Acta Agronómica* 59(4): 449-456. Doi: https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/20129.
- Vega O.P.C. 1988. *Introducción a la teoría de genética cuantitativa: con especial referencia al mejoramiento de las plantas*. Primera. Ediciones de la Biblioteca, Caracas.

Uso del selenio en organismo acuáticos. Una revisión

Selenium use in aquatic organisms. A review

Jenny Hoya-Flórez¹ , Ana Estrada-Posada²  y Jonny Yepes-Blandón*¹ 

1. Grupo de Investigación en Peces Nativos - GIPEN, Piscícola San Silvestre, Barrancabermeja, Colombia

2. ISAGEN S.A. E.S.P, Medellín, Colombia

Resumen

Los nutrientes presentes en el alimento, son de vital importancia para los procesos biológicos en los animales, de esta manera la selección de los ingredientes que conforman la dieta, son esenciales para determinar la inclusión apropiada. Estos nutrientes se dividen en dos grupos macronutrientes que se requieren en grandes cantidades, y proporcionan la mayor parte de energía que necesita un organismo, entre los cuales se encuentran proteínas, lípidos y carbohidratos y los micronutrientes requeridos en menor cantidad, utilizados para regeneración de tejidos y la regulación de procesos corporales, como las vitaminas y los minerales. Estos últimos, garantizan un buen desarrollo de las funciones fisiológicas de los organismos y son necesarios para el metabolismo, generando un fortalecimiento del sistema inmunitario y prevención de enfermedades. Entre los minerales con marcado interés en la acuicultura se encuentra el selenio (Se), mineral traza, que se encuentra en forma de compuestos inorgánicos como selenito y selenato, o compuestos orgánicos en forma de seleno-aminoácidos tales como seleno-cisteína y seleno-metionina. La importancia biológica del selenio radica en su incorporación a moléculas llamadas selenoproteínas, las cuales tienen diferentes funciones tales como; homeostasis de los organismos, (tiorredoxina y del glutatión), en el metabolismo de hormonas tiroideas, (tironina deiodinasa), maduración de espermatozoides y antioxidantes (glutatión peroxidasa), funciones musculares (selenoproteína N), entre otras. De las diferentes selenoproteínas que existen, la mayor parte de ellas se conservan en peces. En los sistemas de acuicultura se ha venido implementando su incorporación en la dieta, con resultados óptimos en los parámetros zootécnicos, en el fortalecimiento inmunológico, y en la expresión de genes. Esta revisión muestra la importancia de Se en peces, destacándose estudios que evalúan los efectos de suplementar dietas con Se para la alimentación de animales acuáticos en cautiverio y la necesidad de determinar requerimientos especie-específicos.

Palabras clave: minerales; selenoproteínas; genes; antioxidantes; peces; nutrición

Abstract

The nutrients present in the feed are of vital importance for the biological processes in animals, in this way, the selection of the ingredients that make up the diet are essential to determine the appropriate inclusion. These nutrients are divided into two groups: macronutrients that are required in high quantities and provide most of the energy needed by an organism, among which are proteins, lipids and carbohydrates, and micronutrients required in smaller quantities, used for tissue regeneration and regulation of body processes, such as vitamins and minerals. The latter guarantee a good development of the physiological functions of the organisms and are necessary for the metabolism, generating a strengthening of the immune system and prevention of diseases. Among the minerals of particular interest in aquaculture is selenium (Se), a trace mineral found in the form of inorganic compounds such as selenite and selenate, or organic compounds in the form of seleno-amino acids such as seleno-cysteine and seleno-methionine. The biological importance of selenium lies in its incorporation into molecules called selenoproteins, which have different functions such as homeostasis of organisms (thioredoxin and glutathione), in the metabolism of thyroid hormones (thyronine deiodinase), sperm maturation and antioxidants (glutathione peroxidase), muscle functions (selenoprotein N), among others. Of the different selenoproteins that exist, most of them are conserved in fish. In aquaculture systems, their incorporation in the diet has been implemented, with optimal results in zootechnical parameters, immunological strengthening, and gene expression. This review shows the importance of Se in fish, highlighting studies that evaluate the effects of supplementing diets with Se for feeding aquatic animals in captivity and the need to determine species-specific requirements.

Key words: minerals; selenoproteins; genes; antioxidants; fish; nutrition

*Autor de correspondencia: jonny.yepes@udea.edu.co

Editor: Víctor Macías

Recibido: 18 de abril de 2022

Aceptado: 15 de junio de 2022

Publicación en línea: 30 de junio de 2022

Citar como: Hoya-Flórez, J., Estrada-Posada, A. y Yepes-Blandón, J. 2022. Uso del selenio en organismo acuáticos. Una revisión.

Intropica 17(1): 97 -113 Doi:

<https://doi.org/10.21676/23897864.4546>



Introducción

Los peces son considerados una fuente importante de proteína, lípidos, vitaminas y minerales en la alimentación humana. En las últimas décadas, se ha presentado un aumento en la demanda de productos piscícolas para la nutrición y seguridad alimentaria de una población mundial en crecimiento (The Food and Agriculture Organization (FAO), 2020). Actualmente, el 58 % de la producción mundial de peces está representada por tres grupos de peces dulceacuícolas, *Ctenopharyngodon idellus* (carpa herbívora), *Hypophthalmichthys molitrix* (carpa plateada), *Oreochromis niloticus* (tilapia nilótica), según The Food and Agriculture Organization (FAO), se espera que para el 2030 se introduzcan especies como el *Pangasius pangasius* (panga), perteneciente a la familia de los bagres, alcanzando un 62 % en la producción mundial (The Food and Agriculture Organization (FAO), 2020). Latinoamérica presenta una gran diversidad de organismos acuáticos, y en los últimos 50 años se han cultivado aproximadamente 70 especies (Bondad 2007); representadas principalmente por el género *Oreochromis*.

En Colombia, el número de especies registradas es alrededor de 1 572, entre especies de cultivo y de ambiente natural, de estas, las especies exóticas *Oreochromis niloticus* y *Oncorhynchus mykiss* (trucha) representan el 61 % y el 17 % respectivamente, de las especies nativas *Piaractus brachipomu* ahora *Piaractus orinoquensis* (cachama) el 19 % y solo el 3 % restante representa las demás especies nativas, (DoNascimento *et al.*, 2016; Escobar *et al.*, 2019).

La cuenca del Magdalena-Cauca posee el mayor número de especies endémicas, con aproximadamente el 68 %, de las cuales la mayoría presentan algún grado de vulnerabilidad (Valdelamar-Villegas, 2018; Maldonado, 2020). Por esta razón, en las dos últimas décadas se ha generado gran interés en la implementación de paquetes tecnológicos que permitan el uso sostenible del recurso ictiológico y la conservación de las especies.

Las especies nativas como *Prochilodus magdalenae* (bocachico), *Pseudoplatystoma magdaleniatum* (bagre rayado) y *Scrubim cuspicaudus* (blanquillo) entre otras especies, podrían incorporarse a programas de diversificación de la piscicultura continental colombiana (Prieto *et al.*, 2015). Sin embargo, sus tecnologías de producción se encuentran en etapas tempranas y la información disponible asociada a aspectos nutricionales y reproductivos aún es escasa (Flores-Nava y Brown, 2010; Prieto *et al.*, 2015; Fontalvo *et al.*, 2018). Esta es una de las causas que ha motivado a los productores a preferir las especies exóticas

como alternativa para el desarrollo piscícola (Prieto *et al.*, 2015). Por tanto, es necesario avanzar en el desarrollo de tecnologías de producción de peces nativos seguras y eficiente que permitan un desempeño productivo y reproductivo mediante el manejo, particularmente de estrategias alimenticias, que puedan suplir los requerimientos nutricionales (Chatzifotis *et al.*, 2010; Jabeen y Chaudhry, 2011).

Los trabajos de Pohlenz y Gatlin (2014) y Yepes-Blandón y Botero-Aguirre (2018), destacan que el campo de la nutrición en peces se ha centrado principalmente en el establecimiento de los requerimientos nutricionales mínimos de las especies de interés comercial; sin embargo, en peces nativos es poco lo que se conoce (National Research Council (NCR), 2011; Prieto *et al.*, 2015). Diferentes estudios exponen la importancia de la nutrición y la alimentación en el crecimiento y la reproducción de varias especies de peces en cautiverio. Por otro lado, se ha documentado que la composición nutricional y la ración suministrada en peces adultos influye en el eje hipotálamo-hipófisis-gónada, afectando la respuesta a tratamientos hormonales, la cantidad, la calidad de los huevos, el éxito del desove, el desarrollo embrionario, el crecimiento y la sobrevivencia larval (Norambuena *et al.*, 2012; Pohlenz y Gatlin, 2014; Prieto *et al.*, 2015).

Los nutrientes del alimento son clave para todos los procesos biológicos en el animal, por ende, la selección de los ingredientes que conforman la dieta es un aspecto de gran importancia para determinar los niveles de inclusión apropiados (National Research Council (NCR), 2011). Existen nutrientes (proteína, lípidos y carbohidratos) que se requieren en grandes cantidades, estos proporcionan la mayor parte de la energía que necesita un organismo, son conocidos como macronutrientes; mientras que otros como las vitaminas y los minerales, se requieren en pequeñas cantidades y se utilizan para la regeneración de tejidos y la regulación de procesos corporales, estos son los micronutrientes (Velasco-Garzón y Gutiérrez-Espinosa, 2019).

Los minerales en la dieta de los peces garantizan un buen desarrollo de las funciones fisiológicas de los organismos, siendo necesarios en el metabolismo, en el que contribuyen al fortalecimiento del sistema inmunitario y a su vez favorecen la prevención de enfermedades (Zhou, 2017). En los últimos años, autores como Hernawy y Pérez (2008), han profundizado en la necesidad de incorporar los minerales en la nutrición animal, debido a las evidencias de los efectos que produce la deficiencia o el exceso, lo que ha despertado interés en estudiar la bioquímica, biotransformación, disponibilidad, fuentes y

métodos de suplementación (Velasco y Corredor, 2011; Gutiérrez-Espinosa *et al.*, 2019).

Según la función reguladora de los minerales en el organismo y la cantidad que se requiere en la dieta de los animales, se clasifican en macro, los que se requieren en cantidad altas (Ca, P, Na, K, Cl, Mg y S) y micro que se necesitan en menor cantidad (Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, I, F, Co y Se) (Hedao *et al.*, 2008; Xiong *et al.*, 2017; Velasco-Garzón y Gutiérrez-Espinosa, 2019). Estos últimos han sido bien documentados, participan como cofactores de diversos procesos fisiológicos y metabólicos como el mantenimiento de la presión osmótica, constituyentes de tejidos, transmisión de impulsos nerviosos, contracciones musculares entre otros (Schrauzer y Surai, 2009; Kieliszek y Błażej, 2013).

En peces, el Selenio es un mineral que ha despertado interés, debido a que se ha demostrado que el suministro en dosis adecuadas genera efectos positivos en el metabolismo e influye en el desempeño animal tanto productivo como reproductivo (Rider *et al.*, 2009); mientras que el exceso puede causar distrofias musculares, retraso en el crecimiento, entre otros (Janz *et al.*, 2010). El objetivo de esta revisión es analizar el uso del selenio en sistemas acuícolas, cómo es su participación e interacción en el metabolismo de los organismos acuáticos, particularmente en peces; cuáles son las fuentes y formas de suministro; así como la toxicidad y algunos aspectos moleculares del requerimiento nutricional específico.

Los minerales en la dieta de los animales

Los minerales son elementos químicos inorgánicos importantes en el organismo de los animales acuáticos, necesarios para el metabolismo y crecimiento, sin embargo, es difícil establecer los requerimientos de minerales en peces (Hernawy, 2008; Velasco, 2011; Zhou, 2017; Gutiérrez-Espinosa *et al.*, 2019). A diferencia de lo que ocurre en el caso de los animales terrestres que dependen por completo de un aporte de minerales en el alimento, los organismos acuáticos son capaces de absorber los minerales requeridos directamente del agua a través de las branquias y superficie corporal (Gutiérrez-Espinosa *et al.*, 2019). El grado de absorción varía entre las especies de peces y puede obedecer a alteraciones de ciertos factores ambientales, como la concentración y biodisponibilidad, la temperatura y el pH del agua, entre otros (Gilannejad, 2018; Ramírez *et al.*, 2020). Así mismo, los peces marinos y de agua dulce también presentan diferencias en cuanto a la disponibilidad de los minerales en su organismo. Los peces de agua dulce, por ejemplo, viven en un ambiente hipotónico, en los cuales hay un proceso de

hidratación por ingreso de agua a través de las branquias, causando una constante pérdida de sal y con ello de minerales, por ende, demandan un mayor suministro de estos en la dieta, que los peces marinos en su ambiente hipertónico (Ruales 2010; National Research Council (NCR), 2011).

En las últimas décadas, se han desarrollado investigaciones para determinar requerimientos de minerales en organismos acuáticos (Wang *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2016; Gutiérrez-Espinosa *et al.*, 2019), considerándose como óptimo el nivel que refleje un efecto positivo sobre parámetros zootécnicos de interés como el crecimiento (longitud y peso) y la conversión alimenticia (National Research Council (NCR), 2011). Los estudios de los minerales, relacionados con aspectos fisiológicos y moleculares, aún son escasos; pero en el caso del Se, se ha avanzado en entender su papel en los procesos antioxidantes y en la formación de selenoproteínas (Vinchira y Muñoz, 2010; Duntas y Benvenega, 2015; Zhu *et al.*, 2016).

En nutrición animal, el Se está de forma inorgánica como selenito (SeO^{-2}_3) y selenato (SeO^{-2}_4) y orgánica como selenio-metionina y selenio-cisteína. Todas estas formas son absorbidas sin regulación y todas tienen una alta biodisponibilidad (Burk y Hill, 2015). Se ha mostrado que ambas formas de Se varían en la retención tisular y que la forma orgánica resulta ser superior a la inorgánica. Esta última, se deposita en menor concentración en muchos tejidos comparada con la forma orgánica (Mahan *et al.*, 2004; Surai, 2020). En estudios de mamíferos se ha observado una mayor acumulación de Se orgánica en tejidos fetales (Mahan *et al.*, 2004) y mayor transferencia del mineral en el calostro y la leche (Chen *et al.*, 2016; Falk *et al.*, 2018).

El Se es un micro mineral de importancia biológica para diferentes organismos (Kasaikina *et al.*, 2012; Kieliszek y Błażej, 2013), participa en varios procesos metabólicos e interactúa en cierto grado como sustituto de la vitamina E (Schwarz y Foltz, 1957; Ma *et al.*, 2014). El interés por este mineral inició al ser considerado un elemento tóxico, sin embargo, Schwarz y Foltz (1957) evidenciaron un papel esencial en mamíferos al señalar que su deficiencia producía la enfermedad del "músculo blanco", inmunodeficiencia y distrofias musculares, entre otros. Existen reportes que indican que niveles adecuados de Se influyen en la respuesta inmunitaria (Flohé, 2000; Ryan-Harshman y Aldoori, 2005; Markley *et al.*, 2021; Dalgaard *et al.*, 2018), en la función antioxidante y antiinflamatoria (Liu *et al.*, 2016a), en la disminución del riesgo de tumores (Mahan *et al.*, 2004; Burk y Hill *et al.*, 2015), en la prevención de enfermedades cardiovasculares y en la toxicidad producida por micotoxinas o por contaminantes como el cadmio (Ren, 2020).

En organismos acuáticos el Se es considerado un nutriente esencial, que interviene en el adecuado desarrollo, a nivel inmunológico, en el crecimiento y en el mantenimiento de

funciones metabólicas normales; adicionalmente, en estudios realizados en los últimos años en diferentes especies animales incluidos organismos acuáticos se le ha atribuido participación en la reproducción (Wischhusen *et al.*, 2020).

La utilización, retención y acumulación de Se en peces está condicionada, entre otros factores, por la forma química del mineral (orgánica e inorgánica), así se demostró en juveniles de *Oreochromis niloticus*, donde se suministraron diferentes niveles de inclusión de Se orgánico, los autores concluyeron que a una concentración de 0,1- 0,89 mg/kg hay mejor acumulación en relación con el inorgánico (Vinchira *et al.*, 2014). Resultados similares fueron arrojados por Lin (2009), donde mostró que la retención de Se muscular de juveniles de *Epinephelus malabaricus*, fue mayor cuando se suministró Se orgánico respecto a los animales tratados con Se inorgánico, mejorando con ello la calidad de la carne.

Por otro lado, Wang *et al.* (2019) determinó los requerimientos de Se en juveniles de *Acanthopagrus schlegelii* encontrando que a mayor nivel de inclusión mayor era la ganancia en peso de los animales tratados, adicionalmente, los resultados presentaron una correlación con las concentraciones de Se en hígado y músculo, que aumentaron gradualmente con la adición del mineral, concluyendo que el nivel óptimo para la especie era de 0,86 mg/kg. Liu *et al.* (2016b), relacionaron una disminución en el crecimiento y la eficiencia alimentaria de *Oncorhynchus mykiss* al suministrar una dieta que contenía exceso de Se (10 mg de Se/kg en la dieta). Los datos expuestos, permiten concluir que el nivel de inclusión y el requerimiento de Se es específico para cada especie.

El selenio como parte estructural de las selenoproteínas

Las funciones biológicas del Se es atribuido en gran medida a que hacen parte estructural de moléculas llamadas selenoproteínas. Los miembros de esta familia ejercen diversas funciones y su síntesis depende de cofactores específicos y del Se dietético que en conjunto forman parte integral y esencial en procesos fisiológicos de los animales (Kryukov, 2003; Lobanov *et al.*, 2009; Zoidis *et al.*, 2018). Según Lobanov *et al.* (2008), el conjunto de selenoproteínas y sus variantes o isoformas moleculares en un organismo se conoce como selenoproteoma. Se han detectado aproximadamente 45 sub familias de selenoproteínas, 28 en mamíferos y 41 en peces óseos; en estos últimos, se ha expuesto que conservan un mayor tamaño con aproximadamente 32 a 37 genes que codifican para selenoproteínas, mientras que, en mamíferos se han

identificado alrededor de 23 a 25 genes, lo que sugiere que en los organismos acuáticos existe una mayor dependencia por este tipo de proteínas (Lobanov *et al.*, 2008; Mariotti 2012), como resultado de un proceso evolutivo que parte de la bioacumulación de Se a través de la cadena alimenticia y factores ambientales (Álvarez *et al.*, 2010, Lobanov *et al.*, 2009, Stewart *et al.*, 2010; Mariotti 2012).

Mariotti *et al.* (2012) registra genes con linajes específicos de selenoproteínas en peces óseos, ejemplo de ello es el pez cebra (*Danio rerio*), con copias adicionales de selenoproteínas como SelO₂, SelT1b y SelW2b. En medaka (*Oryzias latipes*) y espinoso (*Gasterosteus aculeatus*), se identificó selenoproteína generada por una duplicación de SelJ, la cual se ha reportado sólo en peces, la Fep15 (selenoproteína de pescado de 15 kDa) se identificó previamente sólo en peces óseos (Novoselov *et al.*, 2006), recientemente en el tiburón elefante (*Cetorhinus maximus*) y como un homólogo de Cys en la rana (Anura). Estos hechos sugieren que algunas de estas selenoproteínas han hecho parte del selenoproteoma vertebrado ancestral que se perdió antes de la división de los reptiles conservándose a través de la evolución solo en peces y ranas (Taylor *et al.*, 2003; Lobanov *et al.*, 2008).

La tabla 1 registra las selenoproteínas que se han identificado en peces, allí se encuentra la familia del glutatión peroxidasa 1 (GPx1), la primera en ser descubierta en mamíferos, así mismo, se han identificado ocho grupos, seis de ellos con residuos de selenocisteína (Novoselov *et al.*, 2006; Mariotti *et al.*, 2012). En los peces se han identificado glutatión peroxidasa dependientes de Se (GSH-Px), tales como, GSH-Px x1 (citósólica), GSH-Px x2 (gastrointestinal), GSH-x3 (extracelular) y GSH-x4 (peróxidos de fosfolípidos - PHGPx) (Hefnawy y Pérez, 2008; Flohé y Brigelius-Flohé, 2012). Entre otras selenoproteínas se han reportado las deiodinasas importantes en el metabolismo de las hormonas tiroideas y tioreductasas (TrxR), con función óxido-reducción (redox) (Álvarez *et al.*, 2010).

La incorporación de Se, en las selenoproteínas se da por mecanismos específicos, se inserta selenocisteína en las cadenas polipeptídicas, por medio de codificación de un codón con doble papel en el código genético, el codón UGA, que sirve como codón de terminación en el proceso de transducción; sin embargo, con la presencia de SECIS (secuencia de inserción de selenocisteína) este codón se convierte en un codón de iniciación, con el cual se da inicio a la formación de selenoproteínas. (Chambers *et al.*, 1986).

Tabla 1. Selenoproteínas identificadas en peces.

Selenoproteína	Función	Referencia
Selenoproteínas 15 (15 kDa o Sep15)	Mediación del efecto químico receptivo de algunas patologías de tipo cancerígeno en órganos como el hígado y el riñón.	Kumaraswamy <i>et al.</i> (2000) Mariotti <i>et al.</i> (2012) Kasaikina <i>et al.</i> (2012) Burk <i>et al.</i> (2015)
Fish 15 kDa selenoprotein-like (Fep15)	Localizada en el retículo endoplasmático y el aparato de Golgi, con función relacionada al plegamiento de proteínas.	Kasaikina <i>et al.</i> (2012) Novoselov <i>et al.</i> (2006)
Glutathione peroxidase (GSH-Px), 7 isoformas	Neutralización de especies reactivas – antioxidantes, ampliamente distribuido en todos los compartimentos celulares.	Hawkes <i>et al.</i> (1983) Boschan <i>et al.</i> (2002) Pacitti <i>et al.</i> (2015)
Odothyronine Deiodinase (Dio1), 4 isoformas	Regulación de hormonas tiroideas.	Bianco <i>et al.</i> (2002) Nettore <i>et al.</i> (2017)
Methionine-R-Sulfoxide Reductase (MsrB1)	Neutralización de especies reactivas – antioxidantes	Castellano <i>et al.</i> (2005) Fomenko <i>et al.</i> (2009)
Selenophosphate Synthetase (SPS2a)	Metabolismo del selenio	Kasaikina <i>et al.</i> (2001) Lobanov <i>et al.</i> (2009)
Selenoprotein (Sel), 23 isoformas	Vinculadas con el sistema inmune, el plegamiento de proteínas, en funciones musculares y reductoras	Álvares <i>et al.</i> (2010) Kryukov (2003) Papp <i>et al.</i> (2007) Schomburg y Schweizer (2009)
Tiorredoxina reductasa (TR), 2 isoformas	Función de oxidación - reducción	Vázquez <i>et al.</i> (2018) Novoselov <i>et al.</i> (2006) Lothrop <i>et al.</i> (2009)

Para la formación de selenoproteínas, el Se debe ingresar al pez (figura 1), ya sea a través de la dieta como Set-Met o a través del agua como selenito (SeO^{-2}_3) y selenato (SeO^{-2}_4), una vez allí, se da la absorción intestinal, que en el caso de los peces es más eficiente a nivel gástrico. Para el caso del Se incorporado a través de la dieta, este comparte la misma ruta de transporte activo junto a los demás aminoácidos mientras que, para el Se presente en el agua se da un proceso de transporte activo por cootransporte para selenato y difusión pasiva para el caso del selenito (Bakke et al., 2010). Una vez en el intestino, diferentes moléculas como proteínas plasmáticas o albúminas séricas transportan la Se-Met o los selenatos y selenitos a la circulación

sanguínea donde por diferentes enzimas liasas son transformados a selenuro el cual, será precursor de la síntesis de SelProt.

Parte del Se que ingresa al animal, ya sea en su forma orgánica o inorgánica, y que no es sintetizado para la formación de selenoproteínas, se acumula en el organismo del pez, y son absorbidas sin regulación y con una alta biodisponibilidad (Burk y Hill, 2015). Sin embargo, se ha demostrado, que ambas formas de Se varían en la retención tisular (Surai, 2020). observándose una mayor acumulación de Se orgánico en tejidos y en diferentes órganos como hígado y riñón, y mayor transferencia a la progenie (Falk *et al.*, 2018).

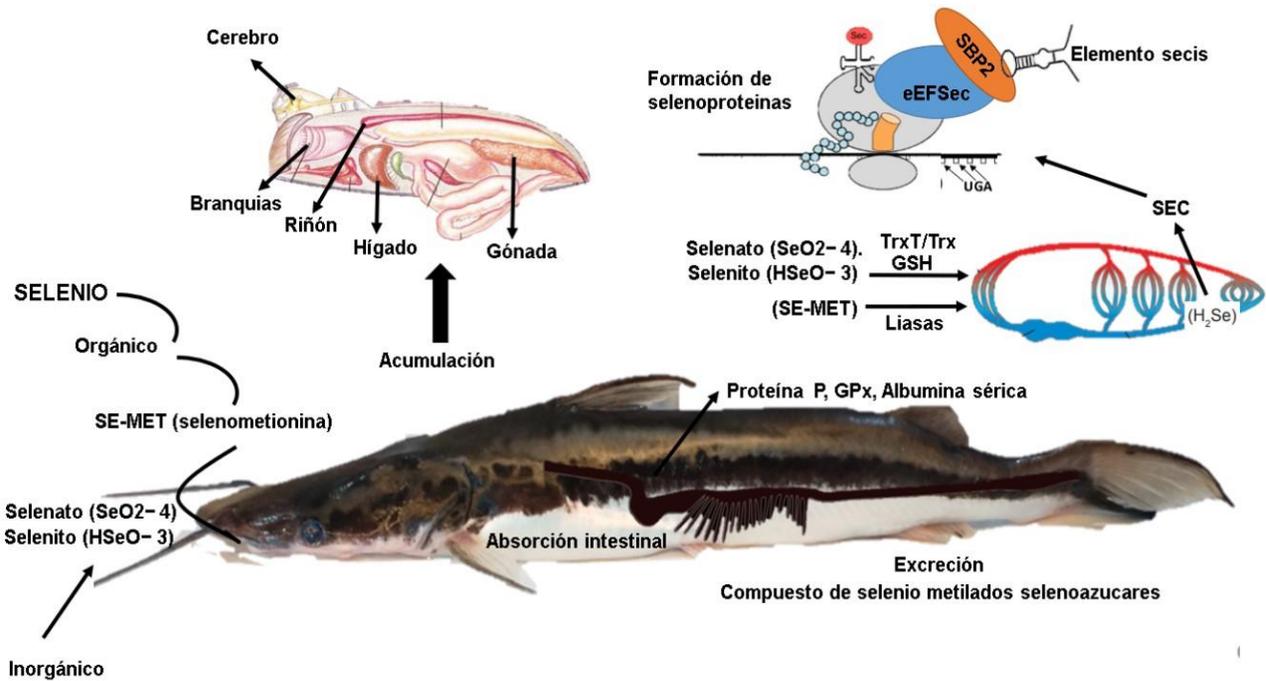


Figura 1. Ruta metabólica del selenio (Se) en peces.

Incorporación de selenio en la dieta de los peces

Un factor importante para la suplementación con Se, es la disponibilidad en el medio y su incorporación en la alimentación de peces (Khan 2017; Chen *et al.*, 2019). El Se orgánico, como SeMet y selenio-levadura, se absorbe fácilmente y con mayor eficiencia y disponibilidad que las formas inorgánicas (Chen *et al.*, 2019).

Los peces pueden ingerir el Se disuelto en el agua y el suministrado en la dieta; sin embargo, este último, se absorbe y acumula con mayor facilidad (Chen 2016). Por lo anterior, existen múltiples canales o vehículos para ofrecer la fuente mineral de Se en los peces, por ejemplo, el enriquecimiento de microorganismos (rotíferos). Penglase *et al.* (2011), enriquecieron el rotífero *Brachionus plicatilis* con Se orgánico para alimentar larvas de *Gadus morhua*, observándose la maximización de la actividad del GSH-Px en las larvas. Ribeiro *et al.* (2012) alimentaron larvas de lenguado con alimento vivo enriquecido con Se, obteniendo un aumento significativo de Se corporal y una mayor actividad en las peroxidases. Así mismo Liu *et al.* (2016a), encontraron que la biodisponibilidad de Se orgánico como levadura a un nivel de 0,43 mg/kg es mayor que las fuentes inorgánicas, observándose un mejor crecimiento en *Megalobroma amblycephala* (dorada roma) mayor concentración en el músculo, una mejor respuesta antioxidante

y calidad de la carne.

Otra manera de suministrar Se es a través de fuentes vegetales, Schram *et al.* (2008), reportan que la adición de ajo (*Allium sativum*), el cual tiene altas concentraciones de este mineral, en la dieta de *Clarias gariepinus* arrojó un efecto positivo sin afectar el rendimiento productivo de los animales. Otro vehículo de Se es mediante el uso de nano-partículas las cuales exhiben una baja toxicidad en comparación con el selenito y selenato (Medina Cruz *et al.*, 2018). Estos mismos autores, sintetizaron nano-Selenio a partir de bacteriogénicos usando *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* y *S. aureus* resistente a la metilicina, mostrando actividad antimicrobiana y sin efectos citotóxicos, lo que permite su utilización en el campo de la nutrición sin efectos negativos sobre los animales. Otro estudio en *Carassius auratus* demostró que las nano partículas de Se son más eficientes para aumentar el contenido de Se muscular en comparación con el Se orgánico (Zhou *et al.*, 2017; Jahanbakhshi *et al.*, 2021).

Una vez el Se es suministrado en la dieta ingresa al organismo para producir efectos benéficos en el pez. En la tabla 2, se exponen efectos del Se en diferentes especies de peces, reportes en crecimiento, actividad enzimática, transferencia materna y, expresión de genes relacionados con aspectos inmunológicos, reproductivos y nutricionales.

Tabla 2. Efecto del selenio en peces.

Especie	Se (mg/kg)	Respuesta metabólica	Referencia
<i>Salmo trutta</i> (Trucha común)	4,70	Bajas tasas de eclosión y baja sobrevivencia en larvas.	Covington <i>et al.</i> (2018)
<i>Macrobrachium nipponense</i>	1,07	Este requerimiento se determinó al medir la actividad de enzimas antioxidantes, crecimiento y la sobrevivencia.	Youqin <i>et al.</i> (2018)
<i>Ictalurus punctatus</i> (Bagre de canal)	0,28	Mayor aprovechamiento del Se suministrado orgánico que el inorgánico.	Gatlin <i>et al.</i> 1986
<i>Rachycentron canadum</i> L (Cobia)	0,78	Aumento de la actividad de glutatión peroxidasa, mayores porcentajes en crecimiento y sobrevivencia.	Liu <i>et al.</i> (2010)
<i>Gadus morhua</i> L. (Bacalao común)	0,70	Se vehiculizó el Se en rotíferos enriquecidos (0.7 Se/mg/kg) para satisfacer los requisitos de las larvas de bacalao. Mejor desempeño larval.	Penglase <i>et al.</i> (2011)
<i>Carassius auratus</i> gibelo (Carpas)	1,18	Se evidenció una relación lineal entre las actividades de GSH-Px dependientes de Se y las concentraciones de Se hepático. Mejor desempeño de los animales.	Han <i>et al.</i> (2011) Jahanbakhshi (2021).
	0,25	Acumulación de Se en riñón, hígado y músculo, sin embargo, el crecimiento no se afectó. Indicadores bioquímicos de antioxidantes en el hígado y el riñón evidenciaron una condición de estrés oxidativo en los juveniles.	Elia <i>et al.</i> (2011)
	0,73	Este requerimiento se determinó al medir la actividad de enzimas antioxidantes como el superóxido Dismutasa (SOD), el crecimiento y la sobrevivencia.	Zhu <i>et al.</i> (2016)
<i>Epinephelus malabaricus</i> (Mero)	0,70	Crecimiento y sobrevivencia en juveniles.	Yu-Hung <i>et al.</i> (2014)
<i>Tinca tinca</i> (Tenca)	1,00	Efecto positivo en la respuesta antioxidante y aumento del glutatión S-transferasa.	Pacini <i>et al.</i> (2012)
<i>Acipenser medirostris</i> (Esturión blanco)	19,70	Efectos adversos en ambas especies, con mayores hallazgos histopatológicos en el hepatopáncreas del esturión verde.	De Riu <i>et al.</i> (2014)
<i>A. transmontanus</i> (Esturión verde)			
<i>Seriola lalandi</i> (Jurel)			
<i>Danio rerio</i> (Pez zebra)	2,00	Adición de Se y vitamina E. Mejoras en el crecimiento, aumento de la conversión alimenticia, aumento de glóbulos rojos y mejora del filete.	Le <i>et al.</i> (2014)
<i>Cyprinus carpio</i> (Carpas común)	30	Disminución del éxito reproductivo, e influyó en el desarrollo de la descendencia.	Penglase <i>et al.</i> (2014)
	1,00	La actividad de la alanina transaminasa (ALT) fue significativamente mayor en los peces alimentados con 2mg de nano-Se/kg en comparación con otros grupos tratados.	Ashouri <i>et al.</i> (2015)

Especie	Se (mg/kg)	Respuesta metabólica	Referencia
	0,70	Las actividades de la GPx y la SOD en plasma sanguíneo fue significativa en los grupos con adición de Se en relación al grupo control. Mayor recuento de glóbulos rojos, hematocrito y hemoglobina.	Saffari <i>et al.</i> (2018)
<i>Piaractus mesopotamicus</i> (Cachama blanca)	1,56	Mejor respuesta inmune y antioxidante.	Takahashi <i>et al.</i> (2017)
<i>Megalogramma amblycephala</i> (Dorada roma)	0,20	Crecimiento, aumento en la capacidad antioxidante y mejora de la carne.	Liu <i>et al.</i> (2016a)
<i>Argyrosomus regius</i> (Perca regia)	3,98	Mejor crecimiento, equilibrio antioxidante y estado inmunológico innato de los juveniles.	Mansour <i>et al.</i> (2017)
	3,98	Mejora en la estructura hepática, con ausencia de signos histopatológicos a concentraciones elevadas de selenio, aumento en el área de absorción en los grupos suplementados con selenio	Khalil <i>et al.</i> (2019)
<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Trucha arcoiris)	2,40	Mayores concentraciones tisulares en hígado y riñón, lo que indicaría que estos órganos se involucran en su excreción, la vida media biológica del selenio disminuyó a medida que se aumentaba su concentración en la dieta.	Hilton <i>et al.</i> (1982)
	0,38	Regulación positiva de la expresión de genes de selenoproteínas en el hígado y expresión de 11 genes diferenciados en el músculo.	Wang <i>et al.</i> (2013)
<i>Acanthopagrus schlegelii</i> (Dorada cabeza negra)	0,86	Rendimiento sobre el crecimiento, estrés oxidativo, acumulación significativa de selenio en los tejidos.	Wang <i>et al.</i> (2019)
<i>Oreochromis niloticus</i> L. (Tilapia del Nilo)	0,86	Mejora del sistema antioxidante, no afectación de los parámetros bioquímicos, hematológicos y crecimiento de los juveniles.	Durigon <i>et al.</i> (2019)
	0,21	La suplementación con selenio orgánico (seleno-levadura) e inorgánico (selenito de sodio) entre 0.10 y 1.60 mg/kg no afectó el desempeño productivo, indicando que, para esta especie, la forma de selenio no influye sobre los resultados óptimos de rendimiento productivo.	Vinchira <i>et al.</i> (2014)
	0,50	Reducción significativa de los residuos de cadmio en el cuerpo del pez.	Abdel <i>et al.</i> (2007)
	2,06	Efecto positivo en la actividad de mieloperoxidasa (MPO) y superóxido dismutasa (SOD), enzimas antioxidantes que mejoran la respuesta inmune.	Lee <i>et al.</i> (2016)

El selenio en la reproducción animal

La reproducción en peces se puede ver afectada por diferentes factores: genéticos, de manejo, ambientales y nutricionales (Rodríguez, 2014). Este mineral (Se) puede afectar el desempeño reproductivo ya sea por su excesos o deficiencia en la dieta, debido a la relación de este mineral con procesos antioxidantes

que se correlacionan con la fertilidad y la reproducción de los animales (Cabrera *et al.*, 2019).

Estudios realizados en reproducción animal, relacionan el efecto de algunas peroxidases con la espermatogénesis y la generación de energía para el movimiento flagelar a través de la fosforilación oxidativa de los espermatozoides (Carrillo *et al.*, 2018). En mamíferos, se ha relacionado la función antioxidante

del Se con la biosíntesis de testosterona, la producción y la movilidad de los espermatozoides (Ahsan *et al.*, 2019; Hamza y Diab, 2020) y la deficiencia del mineral, con reducción de la motilidad (Petrujkić, 2014; Adedara *et al.*, 2019). En ratones, con suministro de nano partículas de Se, se inhibe la lesión testicular y mejora la respuesta antioxidante (Hamza y Diab, 2020).

Se ha indicado que en mamíferos la suplementación con Se además de mejorar la actividad antioxidante y estimular la producción de estradiol, progesterona y hormonas tiroideas como las T4, también, mejora el metabolismo general de los principales nutrientes como proteínas, carbohidratos y lípidos (Cerny, 2016; Qazi *et al.*, 2018). Por otro lado, autores como Xiong *et al.* (2017), demostraron que la adición de 2 o 4 µg/mL de selenito de sodio durante la maduración in vitro de óvulos de *Bos grunniens* (Yak), aumentó el número de ovocitos con división celular; así mismo, la baja concentración de Se en el líquido folicular de mamíferos, puede causar infertilidad, sugiriendo que la actividad antioxidante de GSH-Px en el microambiente folicular puede desempeñar un papel en la gametogénesis y la fertilización.

En peces, aún es escasa la información sobre la relación de la función del Se con la reproducción; sin embargo, existen algunos estudios disponibles como el de Medina-Cruz *et al.* (2018), quienes evaluaron la motilidad y viabilidad espermática de semen criopreservado de esturiones (*Acipenser*); carpas (*Cyprinus*) y truchas (*Salmo trutta*). Los autores demostraron que en procesos de criopreservación; el uso de enzimas proporciona mayor sobrevivencia espermática postdescongelación, debido a la disminución en los daños en la membrana celular.

Los reportes en *Salmo trutta* hechos por Covington *et al.* (2018) mostraron una correlación positiva entre el Se presente en las hembras y la deposición del mineral en las ovas, lo que se reflejó en mayor sobrevivencia en la larvicultura. Penglase (2011), en *Danio rerio* evaluó el metabolismo y la utilización del Se, incluida la actividad de la GSH-Px, el ARNm, expresión de proteínas y el desempeño reproductivo así mismo encontró que con una suplementación de Se en la dieta (30 mg/kg) disminuyó el éxito reproductivo; mientras que, la descendencia alimentada por encima de 0,3 mg Se/kg de dieta tuvo menor actividad locomotora que los otros grupos, lo que indica un efecto negativo cuando se suministra por encima de los requerimientos.

Wischhusen (2020) suplementó truchas (*Salmo gairdneri*) con Se seis meses antes de la reproducción, registrando una mayor

proporción de desoves con relación al grupo control; además evidenció transferencia materna del mineral en los ovocitos. Esta suplementación con Se orgánico condujo a una mayor expresión génica de SelPa, GSH-Px1a, GSH-Px1b2, CAT y MsrB2, deduciendo con esto un efecto positivo en la suplementación de Se en reproductores y su impacto.

El selenio y su efecto en la sanidad, la inmunidad y parámetros hematológicos

Constantemente, los peces se exponen a diferentes factores medioambientales que promueven respuestas fisiológicas que mantienen su homeostasis, un ejemplo de ello es la generación de formas reactivas de oxígeno (ROS), que aunque es un proceso normal del organismo, en exceso produce estrés oxidativo (Rodríguez *et al.*, 2014); este estrés oxidativo se puede dar en peces, cuando se someten a altas densidades de manejo, exposición a contaminantes, entre otros, generando con ello daños en la célula y efectos negativos en el animal. (Mudron y Rehage, 2018). Existen mecanismos antioxidantes endógenos para mitigar estos efectos nocivos, entre ellos la GSH-Px, SOD, lisozima, la fosfatasa alcalina, la fosfatasa acida entre otras, que se utilizan como biomarcadores de estrés oxidativo en el organismo (Li *et al.*, 2011).

Dentro de las funciones del Se, la más conocida es su propiedad antioxidante; existen diferentes reportes orientados a mostrar los efectos positivos de este mineral en relación con la inmunidad de los peces. Kong *et al.* (2017), en un estudio en abulón (*Haliotis discus*) evidenciaron que la adición de Se orgánico en la dieta aumentó la actividad de lisozimas en la hepatopáncreas, así mismo, se han encontrado hallazgos similares para la *Oreochromis niloticus*, en la cual, se reporta aumento en la actividad de fosfatasa alcalina y fosfatasa ácida (Lee *et al.*, 2016).

Takahashi *et al.* (2017), indicó que el Se es un nutriente esencial para las defensas antioxidantes en los peces debido a su papel en la prevención de la inmunosupresión causada por estrés oxidativo, después de estudiar la relación entre el estrés oxidativo y el estado inmune con Se. Este autor encontró que la suplementación de Se a 1,15 mg de levadura Se/kg en *Piaractus mesopotamicus* restableció la producción de enzimas antioxidantes (GSH-Px y GST), permitiendo el aumento de algunos parámetros inmunológicos y hematológicos como el estallido respiratorio, número de leucocitos y actividad de lisozima, recuento de glóbulos rojos, hematocrito, volumen corpuscular medio y recuento de glóbulos blancos.

Khan (2017), evaluaron el efecto sinérgico que produce la suplementación con selenio y vitamina C, en el pez *T. putitora*, indicando que esta combinación potencializa los efectos del selenio, aumentando significativamente el crecimiento, la concentración sérica de hormona del crecimiento (GH), recuento de glóbulos rojos (RBC), el nivel de hemoglobina (Hb), el valor del hematocrito (Hct) y la actividad de la lisozima sérica.

En otro estudio realizado por Ashouri *et al.* (2015), en *Carassius auratus* encontraron una disminución significativa en la actividad plasmática de la SOD, con tendencia decreciente de la actividad plasmática y la capacidad antioxidante (T-AOC) cuando se suplementó con valores por encima de lo reportado para la especie, por otro lado, se encontró que niveles elevados de Se disminuyen la actividad de enzimas antioxidantes; lo cual sugiere la necesidad de suministrar el mineral en las concentraciones adecuadas.

Zhou *et al.* (2017) sugieren que, el Se promueve la ingesta de alimento y, por lo tanto, el crecimiento en la carpa Gibel, adicionalmente, se encontró una correlación positiva entre los altos niveles de actividades hepáticas de CAT, SOD y GSH-Px y T-AOC y una defensa efectiva contra el daño oxidativo. Así mismo, Monteiro *et al.* (2009), evaluaron los efectos del Se sobre biomarcadores de estrés oxidativo en *Brycon cephalus*, encontrando una mayor actividad de GSH-Px en el hígado, debido a un aumento en las concentraciones hepáticas de esta enzima, lo que indica que GSH-Px hepático se afecta significativamente por los niveles de Se en la dieta.

Los parámetros hematológicos en peces, también tienen importancia como indicadores del estado nutricional y sanitario (Pádua, 2013). Safari (2018), en *Cyprinus carpio* obtuvo un mayor recuento de glóbulos rojos, hematocrito, hemoglobina y glóbulos blancos, porcentaje de neutrófilos y actividad de la lisozima sérica en aquellos animales a los que se les suministró Se en la dieta, sugiriendo una correlación positiva cuando se interrelacionan procesos inmunológicos, antioxidantes y hematológicos.

Mansour (2017), evaluó el efecto de la adición de levaduras de Se en la dieta sobre el estado antioxidante, cambios hematológicos y parámetros inmunes celulares y humorales en *Argyrosomus regius*, los resultados indicaron que la actividad catalasa, SOD y estado antioxidante fue aumentando significativamente, mientras que las sustancias reactivas tiobarbitúricas, que funcionan como marcadores de estrés oxidativo, disminuyeron con el aumento de la suplementación

de Se. Para los parámetros hematológicos e inmunitarios (inmunoglobulina, lisozima, mieloperoxidasa, actividad de estallido respiratorio), se encontraron resultados significativamente mayores, demostrando que la suplementación de Se a 3,98 mg de levadura Se/kg mejora el crecimiento, el equilibrio antioxidante y la inmunidad innata.

Factores relacionados con la sanidad también se ven influenciados por adición de Se, estudios han sugerido que nano partículas de Se actúan en la eliminación de bacterias que son resistentes a determinados antibióticos. Medina *et al.* (2018), registraron una disminución del crecimiento bacteriano en *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, con resistencia a la meticilina, cuando utilizó nano partículas de Se de 90-150 nm de diámetro.

De otro lado, De Riu *et al.* (2014), evaluaron el efecto de la SeMet en la dieta sobre el crecimiento, la carga tisular y la histopatología en *Acipenser medirostris* y *Acipenser transmontanus*, los peces fueron alimentados durante ocho semanas con dietas que contenían concentraciones de L-SeMet en la dieta por encima de 19,7 mg/kg; los resultados mostraron una mayor mortalidad en el *A. medirostris* respecto al *A. transmontanus*, la tasa de crecimiento disminuyó significativamente, siendo mayor en *A. medirostris* y a partir de la semana cuatro se presentaron anomalías en riñón e hígado de ambas especies; además, a mayor concentración de L-SeMet hubo mayor efecto histopatológico en *A. medirostris* respecto *A. transmontanus*, indicando que aún en la misma familia de peces pueden variar las dosis de Se a suministrar.

Khalil *et al.* (2019), en un análisis histopatológico de hígados de *A. regius*, sin suministro de Se encontraron una congestión moderada de acinos pancreáticos y sinusoides hepáticas, además de, vacuolas grasas en algunos hepatocitos, mientras tanto, los animales suplementados con Se mantuvieron la arquitectura hepática normal, aumentaron las células calciformes y la actividad de aminotransferasas en hígado reflejando el buen estado de salud e integridad de los hepatocitos. Jingyuan *et al.* (2020), quienes encontraron en *Megalobrama amblycephala*, que la incorporación de Se-levadura en la dieta reduce las alteraciones de la histoestructura del hígado después de la exposición a nitritos o lo reportado por Abdel (2010), el cual concluyó que la suplementación con este mineral, provocó reducción de la toxicidad de cadmio en el agua, y reducción de los residuos de este en el cuerpo del pez, mejorando a su vez el crecimiento, la supervivencia, y la utilización de alimento.

Efecto de la suplementación de selenio en peces sobre la expresión génica

La concentración de Se en la dieta se relaciona positivamente con los niveles de ARNm de genes de selenoproteína en animales Wang *et al.* (2019). Identificar los genes que participan en los diferentes sistemas fisiológicos de los peces, permite conocer marcadores genéticos que se relacionan con el funcionamiento a nivel reproductivo, inmunitario y nutricional de las especies de peces (Skugor *et al.*, 2009).

Wang *et al.* (2018), suministraron una fuente de Se a *Oncorhynchus mykiss* durante 10 semanas para evaluar la expresión génica de selenoproteínas, los resultados arrojaron una diferencia de expresión en genes de hígado y músculo, mostrando que, para el hígado, SelP exhibió una abundancia mayor que los otros genes de selenoproteína lo que se relaciona con su función de transporte y suministro de selenio a los tejidos, para el músculo se evidenciaron varios genes incluidos FEP 15, GPX1b2, GPX4a1, GPX4b, SelH, SelJa, SelK, SelMI, SelP, SelT2l SelU, SelWI y TrxR3b los cuales mostraron alta expresión, indicando que tanto en hígado como para músculo se deben mantener altas concentraciones para conservar la homeostasis en el organismo de los peces (Huang *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2019).

Kong *et al.* (2018), evaluó el efecto del Se en factores como el crecimiento, la oxidación, la inmunidad y la expresión génica de selenoproteínas en una especie acuática como *Haliothis tuberculata*, los resultados mostraron que las actividades enzimáticas relacionadas con la oxidación aumentaron inicialmente con bajos niveles de Se en la dieta y disminuyeron con niveles más altos, la actividad enzimática relacionada a la inmunidad aumentó y la expresión génica fue aumentando progresivamente con las dosis más bajas de Se 0,30 mg; sugiriendo que una tasa de inclusión entre 0,15 - 0,30 ppm de Se promueve el crecimiento, la inmunidad y la expresión de selenoproteínas en esta especie.

Pacitti *et al.* (2015), en un estudio en trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) evidenció en la expresión de transcripciones de las selenoproteínas, un efecto inverso a la adición de selenio, indicando un aumento de expresión de genes en la mayoría de los tejidos, en los tratamientos con las menores dosis, especialmente para la transcripción de gpx1b1 y las isoformas de TrxR3 y SelP, también, que solo en músculo hubo una mayor expresión de gpx1a y gpx1b2, en el tratamiento que contenía elevadas dosis de selenio, sin embargo esto podría estar asociado a la aparición de estrés oxidativo, debido a un exceso de este mineral.

Los estudios, no solo sugieren la importancia del selenio en la expresión de genes, sino también la necesidad de ahondar en más investigaciones con enfoques moleculares, que permitan conocer más a fondo el selenoproteoma de los peces, considerando que es el más conservado a través del tiempo con relación a los mamíferos.

Conclusión

La información bibliográfica disponible destaca que el Se, tanto orgánico como inorgánico, presenta efectos positivos en la salud de los peces cuando se suministra en las dosis adecuadas para la especie en particular. Deficiencia o exceso de cualquier nutriente pueden tener efectos sobre la resistencia a enfermedades, supervivencia, mecanismos de defensa, sistema antioxidante, reproducción entre otros. Así mismo, existen otros factores como la disponibilidad del nutriente, parámetros medio ambientales, especies, tamaño y expresión de genes que influyen también en el desempeño del organismo animal.

Agradecimientos

Esta revisión fue apoyada por ISAGEN S.A. y Piscícola San Silvestre S.A. dentro del convenio marco 33/121 del Programa de Manejo para la protección de los recursos pesqueros y piscícolas del río Sogamoso y su plano de inundación

La inclusión de pequeñas cantidades de Se beneficia parámetros zootécnicos, reproductivos y mejora el sistema inmune de las especies y es una estrategia para el desarrollo de tecnología de cultivo de especies de peces nativos, las cuales son una alternativa para la diversificación de la piscicultura continental colombiana y el fomento a nivel mundial de especies de interés comercial y de cultivo.

Referencias

- Abdel-Tawwab, M. y Wafeek, M. 2010. Response of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) to Environmental Cadmium Toxicity During Organic Selenium Supplementation. *Journal of the World Aquaculture Society* 41(1): 106-114. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2009.00317.x>.
- Abdel-Tawwab, M., Mousa, M. A.A. y Abbass, F.E. 2007. Growth performance and physiological response of African catfish, *Clarias gariepinus* (B.) organic selenium prior to the exposure to environmental copper toxicity. *Aquaculture* 72(1-4): 335-345. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.09.004>.
- Ahsan, U., Kamran, Z., Raza, I., Ahmad, S., Babar, W., Riaz, M. H. y Iqbal, Z. (2014). Role of selenium in male reproduction -A review. *Animal Reproduction Science* 146(1-2): 55-62. Doi:

<https://doi:10.1016/j.anireprosci.2014.01.009>.

Álvarez Fernández, G., Bustos Jaimes, I., Castañeda Patlán, C., Guevara Fonseca, J., Romero Álvarez, I. y Vázquez Meza, H. 2010. *Mensaje Bioquímico*. Departamento de Bioquímica, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Ashouri, S., Keyvanshokoh, S., Salati, A. P., Johari, S. A. y Pasha-Zanoosi, H. 2015. Effects of different levels of dietary selenium nanoparticles on growth performance, muscle composition, blood biochemical profiles and antioxidant status of common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture* 446: 25-29. <https://doi:10.1016/j.aquaculture.2015.04.021>.

Bianco, A. C., Salvatore, D., Gereben, B., Berry, M.J., y Larsen, P. R. 2002. Biochemistry, Cellular and Molecular Biology, and Physiological Roles of the Iodothyronine Selenodeiodinases. *Endocrine Reviews* 23(1): 38-89. <https://doi.org/10.1210/edrv.23.1.0455>.

Bondad-Reantaso, M. 2007. Assessment of freshwater fish seed resources for sustainable aquaculture. Fisheries Technical Paper. No. 501. Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO. Rome.

Burk, R. F. y Hill, K.E. 2015. Regulation of Selenium Metabolism and Transport. *Annual Review of Nutrition* 35(1): 109-134. Doi: <https://doi:10.1146/annurev-nutr-071714-034250>.

Carrillo-Nieto, O., Domínguez-Vara, I.A., Huerta-Bravo, M., Jaramillo-Escutia, G., Díaz-Zarco, S., Vázquez-Armijo, J.F., Pescador-Salas, N. y Revilla-Vázquez, A. 2018. Actividad de GSX-Px, concentración de selenio y calidad del eyaculado en sementales ovinos suplementados con selenio durante la época reproductiva. *Agrociencia* 52(6): 827-839.

Cerny, K.L., Anderson, L., Burris, W.R., Rhoads, M., Matthews, J. C. y Bridges, P.J. 2016. Form of supplemental selenium fed to cycling cows affects systemic concentrations of progesterone but not those of estradiol. *Theriogenology* 85(5): 800-806. <https://doi:10.1016/j.theriogenology.2015.10.022>.

Cerny, K.L., Anderson, L., Burris, W.R., Rhoads, M., Matthews, J.C. y Bridges, P.J. 2016. Form of supplemental selenium fed to cycling cows affects systemic concentrations of progesterone but not those of estradiol. *Theriogenology* 85(5): 800-806. Doi: <https://10.1016/j.theriogenology.2015.10.022>.

Chambers, I., Frampton, J., Goldfarb, P., Affara, N., McBain, W. y Harrison, P.R. 1986. The structure of the mouse glutathione peroxidase gene: the selenocysteine in the active site is encoded by the "termination" codon, TGA. *The EMBO Journal* 5(6): 1221-

1227. <https://doi:10.1002/j.1460-2075.1986.tb04350.x>

Chatzifotis, S., Panagiotidou, M., Papaioannou, N., Pavlidis, M., Nengas, I. y Mylonas, C.C. 2010. Effect of dietary lipid levels on growth, feed utilization, body composition and serum metabolites of meagre (*Argyrosomus regius*) juveniles. *Aquaculture* 307(1-2): 65-70. Doi: <https://doi:10.1016/j.aquaculture.2010.07.002>.

Chen, J., Han, J. H., Guan, W. T., Chen, F., Wang, C. X., Zhang, Y. Z. y Lin, G. 2016. Selenium and vitamin E in sow diets: II. Effect on selenium status and antioxidant status of the progeny. *Animal Feed Science and Technology* 221: 101-110. Doi: <https://10.1016/j.anifeedsci.2016.08.021>.

Chen, J., Zhang, F., Guan, W., Song, H., Tian, M., Cheng, L., Zhang, Y. (2019). Increasing selenium supply for heat-stressed or actively cooled sows improves piglet preweaning survival, colostrum and milk composition, as well as maternal selenium, antioxidant status and immunoglobulin transfer. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 52: 89-99. <https://doi:10.1016/j.jtemb.2018.11.010>

Covington, S.M., Naddy, R.B., Prouty, A.L., Werner, S.A. y Lewis, M.D. 2018. Effects of in situ selenium exposure and maternal transfer on survival and deformities of brown trout (*Salmo trutta*) fry. *Environmental Toxicology and Chemistry* 37(5): 1396-1408. Doi: <https://doi:10.1002/etc.4086>.

De Riu, N., Lee, J.W., Huang, S.S.Y., Moniello, G. y Hung, S.S.O. 2014. Effect of dietary selenomethionine on growth performance, tissue burden, and histopathology in green and white sturgeon. *Aquatic Toxicology* 148: 65-73. Doi: <https://doi:10.1016/j.aquatox.2013.12>.

Donascimiento, C., Cárdenas-Bautista, J.S., Acosta, K.G.B., González-Alvarado, A. y Medina, C.A. 2016. Illustrated and online catalog of type specimens of freshwater fishes in the colección de peces dulceacuícolas of Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (IAVH-P), Colombia. *Zootaxa* 4171(3): 401. Doi: <https://doi:10.11646/zootaxa.4171.3.1>.

Duntas, L.H. y Benvenega, S. 2015. Selenium: an element for life. *Endocrine* 48(3): 756-775. Doi: <https://10.1007/s12020-014-0477-6>.

Durigon, E.G., Kunz, D.F., Peixoto, N.C., Uczay, J. y Lazzari, R. 2018. Diet selenium improves the antioxidant defense system of juveniles Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Brazilian Journal of Biology*. Doi: <https://10.1590/1519-6984.187760>.

- Elia, A.C., Prearo, M., Pacini, N., Dörr, A.J. M. y Abete, M.C. 2011. Effects of selenium diets on growth, accumulation and antioxidant response in juvenile carp. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 74(2): 166-173. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.04.006>.
- Escobar, M.D., R.P., Machado-Allison, A., Farias, I.P. y Hrbek, T. 2019. A new species of *Piaractus* (Characiformes: Serrasalminae) from the Orinoco Basin with a redescription of *Piaractus brachyomus*. *Journal of Fish Biology* jfb.13990. Doi: <https://doi.org/10.1111/jfb.13990>.
- Falk, M., Bernhoft, A., Framstad, T., Salbu, B., Wisløff, H., Kortner, T.M. y Oropeza-Moe, M. 2018. Effects of dietary sodium selenite and organic selenium sources on immune and inflammatory responses and selenium deposition in growing pigs. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 50: 527-536 Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.03.00>.
- Flohé, J.R. y Andreesen, R.L. 2000. Selenium, the Element of the Moon, in Life on Earth. *IUBMB Life (International Union of Biochemistry and Molecular Biology: Life)* 49(5): 411-420. Doi: <https://doi.org/10.1080/152165400410263>.
- Flores-Nava, A. y Brown, A. 2010. Peces nativos de agua dulce de América del Sur de interés para la acuicultura: una síntesis del estado de desarrollo tecnológico de su cultivo. Food and Agriculture Organization (FAO), Roma.
- Fomenko, D.E., Novoselov, S.V., Natarajan, S.K., Lee, B.C., Koc, A., Carlson, B.A. y Gladyshev, V.N. 2008. MsrB1 (Methionine-R-sulfoxide Reductase 1) Knock-out Mice. *Journal of Biological Chemistry* 284(9): 5986-5993. Doi: <https://doi.org/10.1074/jbc.m805770200>.
- Fontalvo, P.P. Berdugo, G.O. y Narváez Barandica, J. 2018. Diversidad y estructura genética del *Prochilodus magdalenae* (Pisces: Prochilodontidae) aguas arriba y abajo de la represa Betania, Colombia. *Intropica* 13(2): 87-100. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.2505>.
- Gatlin, D.M., Poe, W.E. y Wilson, R.P. 1986. Effects of Singular and Combined Dietary Deficiencies of Selenium and Vitamin E on Fingerling Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*). *The Journal of Nutrition* 116(6): 1061-1067. Doi: <https://doi.org/10.1093/jn/116.6.1061>.
- Gilannejad, N., Martínez-Rodríguez, G., Yúfera, M. y Moyano, F.J. 2018. Modelling digestive hydrolysis of nutrients in fish using factorial designs and desirability function. *PLOS ONE* 13(11), e0206556. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206556>.
- Gutiérrez-Espinosa, M.C., Velasco-Garzón, J.S. y León-Morales, C.A. 2019. Revisión: necesidades nutricionales de peces de la familia Pimelodidae en Sudamérica (Teleostei: Siluriformes). *Revista de Biología Tropical* 67(1): 146-163. <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v67i1.33627>.
- Hamza, R.Z., y Diab, A. E.-A. A. 2020. Testicular protective and antioxidant effects of selenium nanoparticles on Monosodium glutamate-induced testicular structure alterations in male mice. *Toxicology Reports* 7: 254-260. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.01.012>.
- Han, D., Xie, S., Liu, M., Xiao, X., Liu, H., Zhu, X. y Yang, Y. 2011. The effects of dietary selenium on growth performances, oxidative stress and tissue selenium concentration of gibel carp (*Carassius auratus gibelio*). *Aquaculture Nutrition* 17(3): e741-e749. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2010.00841.x>.
- Hawkes, W.C. y Tappel, A.L. 1983. In vitro synthesis of glutathione peroxidase from selenite Translational incorporation of selenocysteine. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Gene Structure and Expression* 739(2): 225-234. [https://doi.org/10.1016/0167-4781\(83\)90033-7](https://doi.org/10.1016/0167-4781(83)90033-7).
- Hedaoo, M.K., Khllare, K.P., Meshram, M.D., Sahatpure, S.K. y Patil, M.G. 2008. Comparative studies of certain Biochemical constituents of normal cyclic and anoestrus surti buffaloes. *Veterinary World* 1(4): 105.
- Hefnawy, A.E. y Pérez, J.T., 2008. Selenio y salud animal: importancia, deficiencia, suplementación y toxicidad. *Archivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR*. 153-165.
- Hilton, J.W. y Hodson, P.V. 1983. Effect of increased dietary carbohydrate on selenium metabolism and toxicity in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *The Journal of Nutrition* 113(6): 1241-1248. Doi: <https://doi.org/10.1093/jn/113.6.1241>.
- Huang, X., Tang, J., Xu, J., Jia, G., Liu, G., Chen, X. y Zhao, H. 2016. Supranutritional dietary selenium induced hyperinsulinemia and dyslipidemia via affected expression of selenoprotein genes and insulin signal-related genes in broiler. *RSC Advances* 6(88): 84990-84998. Doi: <https://doi.org/10.1039/c6ra14932d>.
- Jabeen, F. y Chaudhry, A.S. 2011. Chemical compositions and fatty acid profiles of three freshwater fish species. *Food Chemistry* 125(3): 991-996. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.09.103>.
- Jahanbakhshi, A., Pourmozaffar, S., Adeshina, I., Mahmoudi, R., Erfanifar, E. y Ajdari, A. 2021. Selenium nanoparticle and selenomethionine as feed additives: effects on growth

performance, hepatic enzymes' activity, mucosal immune parameters, liver histology, and appetite-related gene transcript in goldfish (*Carassius auratus*). *Fish Physiology and Biochemistry* 47(2): 639-652. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10695-021-00937-6>.

Janz, D.M., D.K. DeForest, M.L. Brooks, P.M. Chapman, G. Gilron, D. Hoff, W.A. Hopkins, D.O. McIntyre, C.A. Mebane, V.P. Palace, J.P. Skorupa, and M. Wayland. 2010. Selenium toxicity to aquatic organisms. En Chapman, P.M., Adams, W.J., Brooks, M.L., Delos, C.G., Luoma S.N., Mahe W.A.r, Ohlendor, H.M.f, Presse, T.S. y D. Shaw, P. Editors. *Ecological Assessment of Selenium in the Aquatic Environment*. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), Pensacola, Florida.

Jingyuan, H., Yan, L., Wenjing, P., Wenqiang, J., Bo, L., Linghong, M. y Xianping, G. 2020. Dietary selenium enhances the growth and anti-oxidant capacity of juvenile blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*). *Fish & Shellfish Immunology* 101: 115-125. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.03.041>.

Kasaikina, M.V., Hatfield, D.L. y Gladyshev, V.N. 2012. Understanding selenoprotein function and regulation through the use of rodent models. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Cell Research* 1823(9): 1633-1642. <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2012.02.018>.

Khalil, H.S., Mansour, A.T., Goda, A.M.A. y Omar, E.A. 2018. Effect of selenium yeast supplementation on growth performance, feed utilization, lipid profile, liver and intestine histological changes, and economic benefit in meagre, *Argyrosomus regius*, fingerlings. *Aquaculture* 501: 135-143 Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.11.018>.

Khan, K.U., Zuberi, A., Fernandes, J.B.K., Ullah, I. y Sarwar, H. 2017. An overview of the ongoing insights in selenium research and its role in fish nutrition and fish health. *Fish Physiology and Biochemistry* 43(6): 1689-1705. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10695-017-0402-z>.

Khan, K.U., Zuberi, A., Fernandes, J.B.K., Ullah, I. y Sarwar, H. 2017. An overview of the ongoing insights in selenium research and its role in fish nutrition and fish health. *Fish Physiology and Biochemistry* 43(6): 1689-1705. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10695-017-0402-z>.

Kong, Y., Ding, Z., Zhang, Y., Ye, J. Y Du, Z. 2017. Dietary selenium requirement of juvenile oriental river prawn *Macrobrachium nipponense*. *Aquaculture* 476: 72-78. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.04.010>.

Kong, Y., Li, S., Liu, M., Yao, C., Yang, X., Zhao, N. y Li, M. 2018.

Effect of dietary organic selenium on survival, growth, antioxidation, immunity and gene expressions of selenoproteins in abalone *Haliotis discus hannai*. *Aquaculture Research* doi: <https://doi.org/10.1111/are.13956>.

Kryukov, G.V. 2003. Characterization of mammalian Selenoproteomes. *Science* 300 (5624): 1439-1443. Doi: <https://doi.org/10.1126/science.1083516>.

Kumaraswamy, E., Malykh, A., Korotkov, K. V., Kozyavkin, S., Hu, Y., Kwon, S.Y. y Gladyshev, V.N. 2000. Structure-Expression Relationships of the 15-kDa Selenoprotein Gene. *Journal of Biological Chemistry* 275(45): 35540-35547. <https://doi.org/10.1074/jbc.m004014200>.

Lee, S., Nambi, R.W., Won, S., Katya, K., y Bai, S.C. 2016. Dietary selenium requirement and toxicity levels in juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* 464: 153-158. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.06.027>.

Li, J.-G., Zhou, J.-C., Zhao, H., Lei, X.-G., Xia, X.-J., Gao, G., y Wang, K.-N. 2011. Enhanced water-holding capacity of meat was associated with increased Sepw1 gene expression in pigs fed selenium-enriched yeast. *Meat Science* 87(2): 95-100. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.05.019>.

Lin, Y.H., Wang, H.Y y Shiao, S.Y. 2009. Dietary nucleotide supplementation enhances growth and immune responses of grouper, *Epinephelus malabaricus*. *Aquaculture Nutrition* 15(2), 117-122. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00561.x>.

Liu, G.X., Jiang, G.Z., Lu, K.L., Li, X.F., Zhou, M., Zhang, D.D. y Liu, W.B. 2016a. Effects of dietary selenium on the growth, selenium status, antioxidant activities, muscle composition and meat quality of blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala*. *Aquaculture Nutrition* 23(4): 777-787. Doi: <https://doi.org/10.1111/anu.12444>.

Liu, Z., Qu, Y., Wang, J. Y Wu, R. 2016b. Selenium Deficiency Attenuates Chicken Duodenal Mucosal Immunity via Activation of the NF-kb Signaling Pathway. *Biological Trace Element Research*, 172(2): 465-473. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-015-0589-8>.

Liu, K., Wang, X. J., Ai, Q., Mai, K., y Zhang, W. 2010. Dietary selenium requirement for juvenile cobia, *Rachycentron canadum* L. *Aquaculture Research* no-no. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02562.x>.

Lobanov, A.V., Hatfield, D.L. y Gladyshev, V.N. 2008. Reduced reliance on the trace element selenium during evolution of

- mammals. *Genome Biology* 9(3): R62. Doi: <https://doi.org/10.1186/gb-2008-9-3-r62>.
- Lobanov, A.V., Hatfield, D.L. y Gladyshev, V.N. 2009. Eukaryotic selenoproteins and selenoproteomes. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) General Subjects* 1790(11): 1424-1428. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2009.05.014>.
- Lothrop, A.P., Ruggles, E.L y Hondal, R.J. 2009. No selenium required: reactions catalyzed by mammalian thioredoxin reductase that are independent of a selenocysteine residue. *Biochemistry* 48(26): 6213-6223. Doi: <https://doi.org/10.1021/bi802146w>.
- Ma, Y.L., Lindemann, M.D., Pierce, J L., Unrine, J.M. y Cromwell, G.L. 2014. Effect of inorganic or organic selenium supplementation on reproductive performance and tissue trace mineral concentrations in gravid first-parity gilts, fetuses, and nursing piglets. *Journal of Animal Science* 92(12): 5540-5550. Doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7590>.
- Mahan, D.C. y Peters, J.C. 2004. Long-term effects of dietary organic and inorganic selenium sources and levels on reproducing sows and their progeny. *Journal of Animal Science* 82(5): 1343-1358. Doi: <https://doi.org/10.2527/2004.8251343x>.
- Maldonado, J.A., DoNascimento, C., Usma, O., Herrera, E.E., y García Melo, J.E. 2020. *Biodiversidad de los peces de agua dulce en Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá D.C.
- Mansour, A. T.-E., Goda, A. A., Omar, E. A., Khalil, H.S. y Esteban, M.Á. 2017. Dietary supplementation of organic selenium improves growth, survival, antioxidant and immune status of meagre, *Argyrosomus regius*, juveniles. *Fish & Shellfish Immunology* 68: 516-524. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.07.060>.
- Mariotti, M., Ridge, P.G., Zhang, Y., Lobanov, A.V., Pringle, T.H., Guigo, R. y Gladyshev, V.N. 2012. Composition and Evolution of the Vertebrate and Mammalian Selenoproteomes. *PLoS ONE* 7(3): e33066. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033066>.
- Markley, R.L., Restori, K.H., Katkere, B., Sumner, S.E., Nicol, M.J., Tyryshkina, A., Nettleford, S.K., Williamson, D.R., Place, D. E., Dewan, K.K., Shay, A.E., Carlson, B. A., Girirajan, S., Prabhu, K.S. y Kirimanjeswara, G.S. 2021. Macrophage Selenoproteins Restrict intracellular replication of *Francisella tularensis* and are essential for host immunity. *Frontiers in immunology* 12:701341. Doi: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.701341>.
- Medina Cruz, D., Mi, G. y Webster, T.J. 2018. Synthesis and characterization of biogenic selenium nanoparticles with antimicrobial properties made by *Staphylococcus aureus*, methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA), *Escherichia coli*, and *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of Biomedical Materials Research Part A* 106(5): 1400-1412. Doi: <https://doi.org/10.1002/jbm.a.36347>.
- Monteiro, D.A., Rantin, F.T. y Kalinin, A.L. 2009. The effects of selenium on oxidative stress biomarkers in the freshwater characid fish matrinxã, *Brycon cephalus* exposed to organophosphate insecticide Folisuper 600 BR® (methyl parathion). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology* 149(1): 40-49. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2008.06.012>.
- Nettore, I.C., De Nisco, E., Desiderio, S., Passaro, C., Maione, L., Negri, M. y Macchia, P.E. 2017. Selenium supplementation modulates apoptotic processes in thyroid follicular cells. *BioFactors* 43(3): 415-423. Doi: <https://doi.org/10.1002/biof.1351>.
- Norambuena, F., Estevez, A., Bell, G., Carazo, I. Y Duncan, N. 2012. Proximate and fatty acid compositions in muscle, liver and gonads of wild versus cultured broodstock of Senegalese sole (*Solea senegalensis*). *Aquaculture* 356-357: 176-185. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.05.018>.
- National Research Council (NRC). 2011. *Nutrient requirements of fish and shrimp*. The National Academies Press, Washington.
- Pacini, N., Abete, M.C., Dörr, A.J.M., Prearo, M., Natali, M. y Elia, A.C. 2012. Detoxifying response in juvenile tench fed by selenium diet. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 33(1): 46-52. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2011.10.004>.
- Pacitti, D., Lawan, M.M., Sweetman, J., Martin, S.A.M., Feldmann, J. y Secombes, C.J. 2015. Selenium supplementation in fish: a combined chemical and biomolecular study to understand selenoproteome expression in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *PLoS ONE* 10(5): e0127041. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127041>.
- Pádua, S., Ranzani Paiva, M., Tavares-Dias, M. y Egami, M.I. 2013. Métodos para Análise Hematológica em Peixes. EDUEM, Lisboa.
- Papp, L.V., Lu, J., Holmgren, A., y Khanna, K.K. 2007. From selenium to selenoproteins: synthesis, identity, and their role in human health. *Antioxidants & Redox Signaling* 9(7): 775-806. Doi: <https://doi.org/10.1089/ars.2007.1528>.
- Penglase, S., Hamre, K., Rasinger, J. D. y Ellingsen, S. 2014.

- Selenium status affects selenoprotein expression, reproduction, and F1 generation locomotor activity in zebrafish (*Danio rerio*). *British Journal of Nutrition* 111(11): 1918–1931. Doi: <https://doi.org/10.1017/S000711451300439X>.
- Penglase, S., Hamre, K., Sweetman, J.W. y Nordgreen, A. 2011. A new method to increase and maintain the concentration of selenium in rotifers (*Brachionus* spp.). *Aquaculture* 315(1-2): 144-153. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.09.007>.
- Petrujkčić, B.T., Šefer, D.S., Jovanović, I.B., Jovičin, M., Janković, S., Jakovljević, G. y Anderson, R.C. 2014. Effects of commercial selenium products on glutathione peroxidase activity and semen quality in stud boars. *Animal Feed Science and Technology* 197: 194-205. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.09.001>.
- Pohlentz, C. y Gatlin, D. M. 2014. Interrelationships between fish nutrition and health. *Aquaculture* 431: 111-117. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.02.008>.
- Prieto, M., Atencio, V. y Pardo, S. 2015. *El bagre blanco Sorubim cuspicaudus y su potencial en Acuicultura*. Fondo editorial Universidad de Córdoba, Montería.
- Qazi, I., Angel, C., Yang, H., Pan, B., Zoidis, E., Zeng, C.J. y Zhou, G.B. 2018. Selenium, Selenoproteins, and Female Reproduction: A Review. *Molecules* 23(12): 3053. Doi: <https://doi.org/doi:10.3390/molecules23123053>.
- Ramírez-Espitia, E.J., Hurtado-Giraldo, H. y Gómez-Ramírez, E. 2020. Anatomía general, histología y morfometría del sistema digestivo del pez *Pterophyllum scalare* (Perciformes: Cichlidae). *Revista de Biología Tropical* 68(4): 1371-1383. Doi: <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v68i4.40393>.
- Ramos, S.J., Faquin, V., Almeida, H.J. de, Ávila, F.W., Guilherme, L. R. G., Bastos, C.E.A. y Ávila, P.A. 2011. Selenato e selenito na produção, nutrição mineral e biofortificação com selênio em cultivares de alface. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo* 35(4): 1347-1355. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000400029>.
- Ren, X., Wang, S., Zhang, C., Hu, X., Zhou, L., Li, Y. y Xu, L. (2020). Selenium ameliorates cadmium-induced mouse leydig TM3 cell apoptosis via inhibiting the ROS/JNK /c-jun signaling pathway. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 192: 110266. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110266>.
- Ribeiro, A.R.A., Ribeiro, L., Saele, Ø., Hamre, K., Dinis, M.T. y Moren, M. 2012. Selenium supplementation changes glutathione peroxidase activity and thyroid hormone production in Senegalese sole (*Solea senegalensis*) larvae. *Aquaculture Nutrition* 18(5): 559-567. Doi: <https://doi.org/doi:10.1111/j.1365-2095.2011.00911.x>.
- Rider, S.A., Davies, S.J., Jha, A.N., Fisher, A.A., Knight, J. y Sweetman, J.W. 2009. Supra-nutritional dietary intake of selenite and selenium yeast in normal and stressed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Implications on selenium status and health responses. *Aquaculture* 295(3-4): 282-291. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.07.003>.
- Ruales, D., Carlos A. y Vásquez Torres, W. 2010. Transporte iónico en el epitelio branquial de peces de agua dulce. *Revista Lasallista de Investigación* 7(1): 85-99.
- Ryan-Harshman, M. y Aldoori, W. 2005. Health benefits of selected vitamins. *Canadian family physician Medecin de famille canadien* 51(7): 965–968.
- Saffari, S., Keyvanshokoo, S., Zakeri, M., Johari, S.A., Pasha-Zanoosi, H. y Mozanzadeh, M.T. 2018. Effects of dietary organic, inorganic, and nanoparticulate selenium sources on growth, hemato-immunological, and serum biochemical parameters of common carp (*Cyprinus carpio*). *Fish Physiology and Biochemistry* 44(4): 1087-1097. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10695-018-0496-y>.
- Schomburg, L. y Schweizer, U. 2009. Hierarchical regulation of selenoprotein expression and sex-specific effects of selenium. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects* 1790(11): 1453-1462. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2009.03.015>.
- Schram, E., Pedrero, Z., Cámara, C., van der Heul, J. W. y Luten, J.B. 2008. Enrichment of African catfish with functional selenium originating from garlic. *Aquaculture Research* 39(8): 850-860. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.01938.x>.
- Schrauzer, G.N. y Surai, P.F. 2009. Selenium in human and animal nutrition: resolved and unresolved issues. A partly historical treatise in commemoration of the fiftieth anniversary of the discovery of the biological essentiality of selenium, dedicated to the memory of Klaus. *Critical Reviews in Biotechnology* 29(1) 2-9. Doi: <https://doi.org/10.1080/0738855090272826>.
- Schwarz, K. y Folz Scott, C.M. 1957. Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration. *Journal of the American Chemical Society* 1957 79 (12): 3292-3293. Doi: <https://doi.org/10.1021/ja01569a087>.
- Skugor, S., Jørgensen, S., Gjerde, B. y Krasnov, A. 2009. Hepatic gene expression profiling reveals protective responses in Atlantic salmon vaccinated against furunculosis. *BMC Genomics*

10(1): 503. Doi: <https://doi.org/10.1186/1471-2164-10-503>.

Stewart, A.R., Grosell, M., Buchwalter, D. B., Fisher, N.S., Luoma, S.N., Matthews, T. y Wang, W. X. 2010. Bioaccumulation and trophic transfer of selenium. In: Chapman, P.M. Editorial. *Ecological assessment of selenium in the aquatic environment*. SETAC in collaboration with CRC Press, Boca Raton.

Surai, P.F. 2020. Antioxidants in Poultry Nutrition and Reproduction: An Update. *Antioxidants* 9(2): 105. Doi: <https://doi.org/10.3390/antiox9020105>.

Takahashi, L.S., Biller-Takahashi, J.D., Mansano, C. F. M., Urbinati, E. C., Gimbo, R. Y. y Saita, M. 2017. Long-term organic selenium supplementation overcomes the trade-off between immune and antioxidant systems in pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Fish & Shellfish Immunology* 60: 311-317. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.11.060>.

Valdelamar Villegas, J. C., García Pacheco, L. C. ., Cuadro Alzamora, S. M. ., Torres Benítez, J. D., & Arciniegas Suárez, C. A. . (2020). Uso de la ictiofauna para la evaluación de la condición ecológica y ambiental de un complejo cenagoso en el Caribe colombiano. *Intropica* 15(2): 144-154. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.3553>.

Vázquez, D. 2018. Un vistazo biofísico-funcional a los sistemas redox tiorredoxina y glutarredoxina. *Revista Citecsa* 10(16) 17-31.

Velasco-Garzón, J.S. y Gutiérrez-Espinosa, M.C. 2019. Aspectos nutricionales de peces ornamentales de agua dulce. *Revista Politécnica* 15(30): 82-93: Doi: <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n30a8>.

Velasco-Santamaría, Y. y Corredor-Santamaría, W. 2011. Nutritional requirements of freshwater ornamental fish: a review. *Revista MVZ Córdoba* 16(2): 2458-2469.

Vinchira, J.E, Wills, G.A. y Muñoz, A.P. 2014. Desempeño productivo, composición y biodisponibilidad relativa de selenio en tilapia nilótica -*Oreochromis niloticus*- suplementada con selenio orgánico e inorgánico. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia* 61(2): 186-202. Doi: <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v61n2.44681>.

Vinchira, J.E. y Muñoz-Ramírez, A.P. 2010. Selenio: nutriente objetivo para mejorar la composición nutricional del pescado cultivado. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia* 57(1): 59-75.

Wang, L., Xiao, J.X., Hua, Y., Xiang, X.W., Zhou, Y.F., Ye, L. y Shao,

Q.J. 2019. Effects of dietary selenium polysaccharide on growth performance, oxidative stress and tissue selenium accumulation of juvenile black sea bream, *Acanthopagrus schlegelii*. *Aquaculture* 503: 389-395. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.01.033>.

Wang, L., Zhang, X., Wu, L., Liu, Q., Zhang, D. y Yin, J. 2018. Expression of selenoprotein genes in muscle is crucial for the growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets supplemented with selenium yeast. *Aquaculture* 492: 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.054>.

Wang, K.Y., Peng, C.Z., Huang, J.L., Huang, Y.D., Jin, M.C. y Geng, Y. 2013. The pathology of selenium deficiency in *Cyprinus carpio* L. *Journal of Fish Diseases* 36(7): 609-615. Doi: <https://doi.org/10.1111/jfd.12030>.

Wischhusen, P., Arnaudguilhem, C., Bueno, M., Vallverdu, G., Bouyssiere, B., Briens, M.B. y Mounicou, S. 2021. Tissue localization of selenium of parental or dietary origin in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry using LA-ICP MS bioimaging. *Metallomics* 13(2): mfaa008. Doi: <https://doi.org/10.1093/mtomcs/mfaa008>.

Xiong, X., Lan, D., Li, J., Lin, Y. y Li, M. 2017. Selenium supplementation during in vitro maturation enhances meiosis and developmental capacity of yak oocytes. *Animal Science Journal* 89(2): 298-306. <https://doi.org/10.1111/asj.12894>.

Yepes-Blandón, J.A. y Botero-Aguirre, M. 2018. Ácidos grasos poliinsaturados en la reproducción de peces: algunos Aspectos fisiológicos y endocrinológicos. *Orinoquia* 22(1): 68-79. Doi: <https://doi.org/10.22579/20112629.483>.

Zhou, X., Wang, Y., Gu, Q. y Li, W. 2009. Effects of different dietary selenium sources (selenium nanoparticle and selenomethionine) on growth performance, muscle composition and glutathione peroxidase enzyme activity of crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). *Aquaculture* 291(1-2), 78-81. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.03.007>.

Zhu, L., Han, D., Zhu, X., Yang, Y., Jin, J., Liu, H., y Xie, S. 2016. Dietary selenium requirement for on-growing gibel carp (*Carassius auratus gibelio* var. CAS III). *Aquaculture Research*, 48(6):2841-2851. doi:10.1111/are.13118.

Zoidis, E., Seremelis, I., Kontopoulos, N. y Danezis, G. 2018. Selenium-Dependent Antioxidant Enzymes: Actions and Properties of Selenoproteins. *Antioxidants* 7(5): 66. Doi: <https://doi.org/10.3390/antiox7050066>.

Eficiencia productiva en cerdos de levante alimentados con materias primas alternativas de países tropicales: meta-análisis

Productive efficiency in raising pigs fed with alternative raw materials from tropical countries: meta-analysis

Janeth Agudelo-Quintero *  y Martha Mesa-Granda

Facultad Ciencias Agrarias. Universidad de Antioquia, Medellín

Resumen

Se comparó la eficiencia productiva de concentrados comerciales con materias primas alternativas de países tropicales en cerdos de levante. Para la recolección de los datos se buscó información en artículos científicos indexados en la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (Redalyc) con palabras claves como "porcinos" "levante" "alimentación alternativa" "producción" "ganancia diaria" "conversión alimenticia", trabajando los artículos encontrados mediante la metodología PRISMA. Se tuvo en cuenta los siguientes criterios de elegibilidad: revistas indexadas en idioma español, inglés, portugués y francés con artículos científicos completos sin importar el periodo de publicación. Porcinos en levante y cuya alimentación tuviera como base materias primas alternativas. Análisis de los parámetros productivos (consumo, ganancia de peso, conversión alimenticia). Validación de la eficiencia productiva de dichas materias primas alternativas mediante diseños experimentales y análisis estadístico. Como principales resultados de la revisión sistemática se encontró diferencia estadística significativa entre tratamientos ($p < 0,05$), en cuanto al consumo y ganancia de peso al usar desechos animales se obtiene menor consumo y menor ganancia de peso, siendo similar el desempeño productivo al obtenido con animales alimentados con concentrado comercial. Las oleaginosas son las materias primas que, aunque no tienen un mayor consumo presentan la mejor ganancia de peso en los animales y por consiguiente mejor desempeño productivo (conversión alimenticia). Por ser países tropicales se tuvieron en cuenta las forrajeras y subproductos que, aunque no tienen un buen desempeño productivo pueden desarrollarse nuevas investigaciones desde costos productivos para determinar si realmente se pueden disminuir los gastos en alimentación con la inclusión de estas materias primas alternativas en las raciones de cerdos en etapa de levante.

Palabras clave: eficiencia; alimentación alternativa; cerdos levante; meta-análisis

Abstract

Productive efficiency of commercial concentrates was compared with alternative raw materials in tropical countries raise pigs. For data collection, information was sought on scientific articles indexed in the Network of Scientific Journals from Latin America and the Caribbean, Spain and Portugal "Redalyc" with keywords like "pigs" "lift" "alternative power" "production" "daily gain" "feed conversion", working the articles meet by the PRISMA methodology. The study took into account the following eligibility criteria: Journals indexed in Spanish, English and Portuguese and French with full scientific articles regardless of the period of publication. Pigs in lift, whose feed had alternative raw materials basis. Analysis of the production parameters (consumption, weight gain, feed conversion). Validation of the productive efficiency of such alternative raw materials by experimental designs and statistical analysis. The main results were obtained difference statistic signific in the variables consumption and weight gain, when comparing of means of the different articles consulting, was established that animal waste treatment present and lower weight gain but similar productive performance of animals to comparing whit commercial concentrate. Oilseeds are the raw materials that are not in higher consumption have the best weight gain in animals and therefore better growth performance (feed conversion). Being tropical countries were considered forage and by-products that are not in a good productive performance can develop new research from production costs to determine whether they can reduce food expenses by including these alternative raw materials in diets for raise pigs on stage.

Key words: efficiency; alternative food; pigs lift; meta-analysis

*Autor de correspondencia: janeth.agudeloq@udea.edu.co

Editor: Víctor Macías

Recibido: 09 de junio de 2021

Aceptado: 10 de marzo de 2022

Publicación en línea: 03 de junio de 2022

Citar como: Agudelo-Quintero, J., y Mesa-Granda, M. 2022.

Eficiencia productiva en cerdos de levante alimentados con

materias primas alternativas de países tropicales: meta-análisis.

Intropica 17(1): 114 -132. Doi:

<https://doi.org/10.21676/23897864.4089>



Introducción

La nutrición es uno de los aspectos más importantes para la producción animal en cualquiera de las especies domésticas usadas para consumo humano, siendo de alta relevancia la producción porcina, específicamente en la etapa de levante. En esta etapa, el factor más importante a ser evaluado como indicador de eficiencia productiva, es la conversión alimenticia (relación consumo de alimento/ganancia de peso), la cual ha variado de acuerdo a las nuevas dietas suministradas con concentrados específicamente en cerdos, de 3,8 kg de alimento consumido/kg de peso ganado en el año 1990 a 2,36 kg de alimento consumido/kg de peso ganado en el 2010 (Hurtado *et al.*, 2011a).

Actualmente la producción porcina en países tropicales de América Latina es altamente costosa (representando la alimentación el 70 % de los costos productivos). En este sector se ha buscado mediante la investigación, reemplazar las materias primas importadas para la fabricación de concentrados, por fuentes alternativas que mejoren los indicadores económicos y productivos, tales como: cereales, forrajeras, subproductos de cosecha, entre otras, provenientes en su totalidad de países tropicales que comparten unas condiciones edafo-climáticas similares por estar cerca de los trópicos, como clima cálido, verano e invierno (como estaciones climáticas), días y noches con la misma duración. Igualmente es de resaltar que estas especies alternativas tienen buena calidad nutricional, su uso disminuyen los costos productivos en un 15 % en promedio por obtenerse directamente en el sistema de producción, aumentando la rentabilidad del sistema productivo y lo más importante, no compiten con la alimentación humana en comparación con las materias primas tradicionales utilizadas en la elaboración de alimentos concentrados (Agudelo, 2009).

Las variables que deben ser tenidas en cuenta para evaluar la eficiencia productiva en cualquier sistema son: consumo, ganancia de peso y conversión alimenticia, sobre las cuales influye directamente el tipo de material utilizado en la alimentación de los animales, bien sea, cereales, gramíneas, forrajeras, encontrando resultados contradictorios en las diferentes investigaciones realizadas con: leucaena (*Leucaena leucocephala*) en las que se reportó en promedio ganancia diaria de 377 g y 2,15 como índice de conversión alimenticia (López, 2007), mientras que en subproductos de cosecha como la batata (*Ipomoea batata*), Van *et al.* (2005), reportaron resultados en ganancia diaria de peso de 536 g y 3,8 kg de alimento consumido/kg de peso ganado como conversión

alimenticia, debido a que las forrajeras como la *Leucaena* reportan menor ganancia de peso y a su vez necesitan menor consumo para tener un mejor desempeño productivo (reflejado en la conversión alimenticia de los animales). Igualmente se tienen reportes en resultados de oleaginosas como la harina de coco (*Cocos nucifera* L.) en la que los animales obtuvieron una ganancia de peso promedio de 781 g y 2,36 kg de alimento consumido/kg de peso ganado (conversión alimenticia) por ser un alimento de tipo energético sin factores anti-nutricionales y su contenido de fibra (10-12 %) no presenta inconvenientes para la asimilación de los nutrientes (Da Costa *et al.* 2008). De acuerdo con lo anterior resulta de gran importancia evaluar y validar comparativamente los resultados ya obtenidos en otros estudios relacionados con alimentación alternativa de cerdos en levante mediante un metaanálisis.

La importancia de este estudio radica en que el meta-análisis, no necesita experimentación que es altamente costosa, sino que permite a partir de la evaluación de artículos científicos relacionados con alimentación alternativa de países tropicales en cerdos de levante, destacar las materias primas alternativas más eficientes, sin competir con la alimentación humana y que podrían ser utilizadas en la fabricación de concentrados comerciales para cerdos en levante (Ibarra, 1988). Así mismo, ayudan a disminuir la importación de materias primas, que hacen perder calidad por la contaminación que se da de estas en el transporte, por ejemplo, el uso de maíz (*Zea mays*) que fácilmente puede contaminarse con Aflatoxinas, ocasionando alrededor del 25 % en pérdidas económicas a los productores porcícolas (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural –MADR-2012).

Materiales y métodos

El estudio se trabajó mediante la metodología PRISMA (Urrutia, 2010) y se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

Protocolo, registro y criterios de elegibilidad

El estudio partió de una población desconocida representada en artículos científicos teniendo en cuenta los siguientes criterios de elegibilidad: revistas indexadas en idioma español, inglés, portugués, francés con artículos científicos completos sin importar el periodo de publicación; porcinos en levante y cuya alimentación tuviera como base materias primas alternativas; análisis de los parámetros productivos (consumo, ganancia de peso, conversión alimenticia); validación de la eficiencia productiva de dichas materias primas alternativas mediante diseños experimentales y análisis estadístico. Al tratarse de una población de artículos científicos desconocida, se usó un 95 %

de confiabilidad y un 8,5 % de margen de error, para calcular el tamaño de una muestra representativa, finalmente encontrando una muestra de 132 artículos.

Como criterios de exclusión se tuvieron para el análisis descriptivo: reseñas de tesis, no diferenciar en la evaluación la etapa de levante y finalización, no evaluar los tres parámetros de producción (consumo, ganancia, conversión alimenticia). Para el análisis inferencial se excluyeron los estudios que analizaban más de una materia prima alternativa.

Búsqueda y selección de datos

Con el fin de evitar sesgos y/o errores al momento de incluir o excluir en el metaanálisis los datos de los artículos encontrados durante la revisión bibliográfica se determinaron los siguientes criterios: para la recolección de los datos se buscó la información en artículos científicos indexados en la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal "Redalyc" con palabras claves como "porcinos" "levante" "alimentación alternativa" "producción" "ganancia diaria" "conversión alimenticia" y de acuerdo al tamaño de la muestra poblacional se tuvieron en cuenta los artículos que cumplieron con los cuatro factores de inclusión, obteniendo un total de 132 artículos y, usando la técnica de niveles de exclusión, se evaluaron 83 estudios para desarrollar el análisis descriptivo y de allí finalmente se trabajó con 55 estudios para análisis inferencial mediante la metodología PRISMA (especifica los requerimientos para desarrollar un meta-análisis); la tabulación de los datos se realizó mediante la utilización de hojas de cálculo donde se ingresó cada parámetro a evaluar, consignando la información de manera adecuada para compendiarla correctamente y su análisis se realizó mediante el software Statgraphics. La información consultada fue de tipo secundaria, es decir, se trabajó directamente sobre bases de datos automatizadas, y no se incluyó "literatura gris" (información no publicada).

Tabulación y análisis de la información

En los objetivos de tipo cualitativo, la información se organizó de acuerdo con las revistas científicas indexadas más utilizadas por los investigadores, los países de origen de la investigación y las materias primas más usadas en cada uno de estos, consolidándose en gráficas mediante tortas y barras con medidas de tendencia central como la moda. En los objetivos de tipo cuantitativo se analizaron 55 estudios y según la metodología de Jensen (2002), la unidad experimental utilizada fue el "ensayo", correspondiendo a las diferentes pruebas

realizadas dentro de un mismo "estudio" o "publicación", permitiendo determinar los promedios de cada una de las variables (consumo, ganancia de peso, conversión alimenticia) para comprobar diferencia significativa entre tratamientos teniendo en cuenta seis tipos de materias primas alternativas (cereales, gramíneas, forrajeras, desechos de animales, oleaginosas, subproductos de cosecha) y un control (concentrado comercial).

Para probar las hipótesis, se compararon las medias mediante pruebas no paramétricas como Kruskal-Wallis y se transformaron las variables con escala logarítmica de base 10, evaluando nuevamente mediante pruebas paramétricas como Prueba F mediante un modelo GLM para encontrar diferencia significativa con $p < 0,05$ al comparar las materias primas utilizadas. Comparando finalmente las medias mediante prueba de Duncan con un nivel de significancia de 5 %. Se comparó mediante caja de bigotes cada una de las variables antes y después de la transformación de los datos.

Resultados

Se revisaron un total de 132 artículos científicos relacionados con consumo, ganancia y conversión alimenticia de cerdos en levante, a quienes se les suministró en la ración materias primas alternativas teniendo en cuenta finalmente 83 artículos que cumplían con cada uno de los criterios, trabajando con un 95 % de confiabilidad y un 10,6 % de margen de error para desarrollar el análisis descriptivo. El 37 % del total de artículos revisados no contaron con los criterios de inclusión seleccionados para ser analizados, pues aunque son válidos o confiables como información científica, no realizaban el análisis de todos los parámetros productivos establecidos para el presente metaanálisis (consumo, ganancia de peso y conversión alimenticia) evaluando en algunos casos consumo y digestibilidad, en otros estudios analizaban dos etapas de producción en cerdos (levante y ceba) sin diferenciarlas o simplemente era una reseña de tesis.

Revistas, países

Las revistas científicas con mayor cantidad de artículos sobre "Materias primas alternativas en cerdos de levante" son: Livestock Research for Rural Development, Revista Brasileira de Zootecnia y Revista Computadorizada de Producción Porcina, con 33 (40 %), 12 (14 %) y 9 (11 %) artículos, respectivamente. Estos resultados fueron encontrados debido a dos aspectos principalmente, el primero es que la revista Livestock publica gratuitamente los artículos y como puede observarse es la que más número de artículos científicos presenta, tiene una amplia

política de publicación y cobertura (sin tener en cuenta país de origen del estudio, idioma de publicación), el tiempo previsto para la publicación de los artículos es corto y su visibilidad internacional es grande.

El 35 % de los estudios, están representadas por publicaciones en revistas con 5 % o menos de artículos publicados, entre las que se encuentran: Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, Archivos de Zootecnia, Avance en Investigación Agropecuaria, Revista Ceiba, Revista Folia Amazónica, Revista Nutrición Animal Tropical, Revista Brasileira de Ciencias Agrarias, Revista Científica FCV Luz, Revista Computadorizada de Producción Animal, Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, Revista Cubana de Ciencias Agrícolas, Revista MVZ Zootecnia, Revista Sistemas de Producción Agroecológicos, Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, Revista Zootecnia Tropical, Revista Brasileira de Zootecnia. Estas revistas tienen costo de publicación, igualmente algunas como la Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias exige que su artículo sea en idioma inglés, lo que impide en algunas ocasiones la publicación por la barrera lingüística de los autores, y son de una exigencia mayor en cuanto a la calidad de los artículos a publicar.

Materias primas alternativas usadas

En los artículos consultados los cerdos de levante consumieron seis tipos de alimentos o materias primas alternativas, clasificadas en cereales (11 estudios con 13 %), gramíneas (4 estudios con 5 %), forrajeras (12 estudios con 14 %), desechos de animales (2 estudios con 2 %), oleaginosas (5 estudios con 6 %), subproductos de cosecha (42 estudios con el 51 %) y, los restantes 7 estudios (9 %) se deben a la combinación entre los diferentes tipos de alimentos. Destacando que la cantidad de estudios realizados en subproductos de cosecha (51 %) se debe principalmente a la facilidad que tienen los productores en conseguir dichas materias primas, por caracterizarse los países tropicales en ser productores agrícolas (materias primas), que combinan la actividad con la producción pecuaria.

El subproducto de cosecha más usado en los diferentes estudios es la Yuca (*Manihot sculenta*) con un 16 % en diferentes presentaciones, bien sea harina, follaje, raíz; en general las materias primas más utilizadas son: maíz destilado (*Zea mays*), noni (*Morinda citrifolia*), melaza, subproductos de arroz (*Oryza sativa*), jugo de caña (*Saccharum officinarum*), raíz y harina de batata (*Ipomoea batata*), pejibaye (*Bactris gasipaes*), espinaca de agua (*Ipomoea aquatica* forsk), taro o malanga (*Colocasia esculenta*), afrecho y germen de maíz, cacao (*Theobroma cacao*), cáscara de café fresca (*Coffea arabica*) y ensilada, maíz

ensilado, semilla de calabaza (*Curcubita maxima*), aceite de palma y cachaza de palma (*Elaeis guineensis*), residuos de panadería, azolla (*Azolla filiculoides*) y vinaza.

Entre los cereales (14 %) el producto más utilizado es el subproducto de arroz con un 36 %, encontrándose también el uso de levadura de torula (*Candida utilis*), triticale (*Triticum turgidosecale*), germen de trigo (*Triticum sativum*), sorgo morado (*Eleusine coracana*), garbanzo (*Cicer arietinum*). Como forrajeras (representaron un 15 % del total de los estudios) se utilizan en mayor proporción la leucaena (*Leucaena leucocephala*), caupí (*Vigna unguiculata*) y morera (*Morus alban*), con un 17 % cada uno; otros productos forrajeros utilizados son: maní forrajero (*Arachis pinto*), bledo (*Amaranthus dubius*), quiebrabarrigo o nacedero (*Trichantera gigantea*), Lemna gibba, harina de kudzú (*Pueraria phaseoloides*), matarratón (*Gliricidia sepium*), arveja forrajera (*Pisum sativum*).

El 2,5 % del total de los estudios correspondió a los desechos de animales, utilizando vísceras de pescado en harina con el 66 % y ensilaje de pescado con el 34 %. En promedio, presentan 67% de agua, 10 % proteína, 14 % Extracto Etéreo (EE) y 3 % minerales (Bermúdez *et al.*, 1999), necesarios para un buen desarrollo muscular de los animales debido a su excelente balance de aminoácidos esenciales.

Al realizar el análisis de la eficiencia productiva de las materias primas alternativas usadas en los artículos científicos, se encuentra que el 51 % de los estudios reportan igualdad en la eficiencia productiva (parámetros consumo, ganancia de peso y conversión alimenticia) entre los tratamientos experimentales (materias primas alternativas) y testigos en la alimentación de cerdos en levante. Hipotetizando que las materias primas alternativas tienen igual desempeño productivo en cerdos de levante al ser comparadas con concentrados comerciales.

Parámetros productivos

Al comparar el consumo entre materias alternativas y concentrado comercial, se encontró igualdad, desempeño mayor y desempeño menor en cada uno de los tratamientos alternativos en comparación al control o concentrado comercial; de acuerdo a los 83 artículos analizados, 57 de ellos (69 %) reportaron un consumo igual de dietas con base en materias primas alternativas comparadas con dietas comerciales o suministradas tradicionalmente en la explotación, teniendo en cuenta 227 ensayos y una muestra de 647 unidades

experimentales. De las diferentes materias primas alternativas encontradas para la alimentación de cerdos en levante, las más utilizadas son los subproductos de cosecha con 27 estudios (47 %), seguido de las forrajeras y cereales con 7 (13 %) y 9 (16 %) estudios, respectivamente. Como subproductos de cosecha se utilizan más frecuentemente la yuca (14 %), batata (6 %) y jugo de caña (7 %), como forrajeras se tienen: morera (6 %), caupí (3 %), bore (*Alocasia macrorrhiza*) (6 %), entre los cereales los más utilizados fueron los subproductos de arroz (5 %); los desechos de animales son trabajados a partir de vísceras de pescado (4 %), las gramíneas *Pennisetum* (3 %); el restante 46 % son alimentos alternativos que tienen una menor proporción de participación en los estudios analizados.

El consumo mayor se encontró en solo 15 estudios (18 %), con un total de 61 ensayos y 107 unidades experimentales, de los cuales 10 estudios (67 %) corresponden a subproductos de cosecha, 2 a forrajeras (13 %), 1 estudio a oleaginosas (7 %) y a cereales (7 %) cada uno. El consumo menor fue encontrado en 10 artículos (12 %) con 40 ensayos y 96 unidades experimentales, de los cuales 5 estudios (50 %) correspondían a subproductos de cosecha, 2 forrajeras (20 %), y un estudio para cereales (10 %) y gramíneas (10 %).

Ganancia de peso

En este parámetro productivo, 47 de los artículos consultados (57 %) reportaron una ganancia de peso similar entre los animales alimentados con materias primas alternativas Vs. dietas comerciales, teniendo en cuenta 189 ensayos y 474 unidades experimentales, correspondiendo 25 estudios a subproductos de cosecha (53 %), seis estudios a forrajeras (13 %), siete de cereales (15 %), dos de gramíneas (4 %) y un estudio a oleaginosas (2 %); estos resultados concuerdan con Sarria *et al.* (2010), al incluir niveles crecientes de Proteína Bruta (PB) a partir de hojas de caupí en reemplazo de soya (*Glycine max*), maíz (*Zea mays*) y salvado de trigo (*Triticum aestivum*) la ganancia de peso no presentó diferencias significativas, pese a que los follajes arbóreos y arbustivos poseen una baja concentración de nitrógeno, menor disponibilidad de aminoácidos que las fuentes convencionales como la soya, y presentan mayor contenido de fibra y factores anti-nutricionales, como taninos, fenoles y saponinas.

Al realizar la comparación de ganancia de peso entre materias alternativas y concentrado comercial, se encontró igualdad, desempeño mayor y desempeño menor en cada uno de los tratamientos alternativos en comparación al control o concentrado comercial; en la que la mayor ganancia de peso se

encontró en 25 estudios (30 %) con un total de 98 ensayos y 266 unidades experimentales, de ellos 10 se trataron de estudios basados en subproductos de cosecha (40 %), 3 cereales (12 %), 3 forrajeras (12 %), desechos de animales 1 (4 %) y oleaginosas 2 estudios (8 %). La ganancia de peso menor se encontró en 9 artículos (11 %) con 36 ensayos y 85 unidades experimentales, de los cuales 7 estudios correspondían a subproductos de cosecha (78 %) y 2 a forrajeras (22 %).

Conversión alimenticia

La comparación de la conversión alimenticia entre materias primas alternativas y concentrado comercial, generó como resultado igualdad, desempeño mayor y desempeño menor en cada uno de los tratamientos alternativos comparados con el testigo (concentrado comercial); ya que, de los 83 estudios, 55 (66 %) reportaron una conversión alimenticia igual al comparar las dietas a base de materias primas alternativas con dietas comerciales o suministradas tradicionalmente en la explotación, teniendo en cuenta 221 ensayos y 544 unidades experimentales, estos resultados se encontraron teniendo en cuenta que 28 estudios (51 %) fueron realizados con subproductos de cosecha, mientras que la mayor conversión se encontró en 7 estudios (8 %) con un total de 24 ensayos y 51 unidades experimentales, de los cuales 4 (57 %) son subproductos de cosecha y 2 forrajeras (29 %), el restante 14 % de artículos utilizaron la combinación de varias materias primas alternativas para alimentar a los animales.

La conversión alimenticia menor se encontró en 20 artículos (24 %) con 83 ensayos y 255 unidades experimentales, de los cuales 11 artículos (55 %) corresponden a subproductos de cosecha, 4 estudios a cereales (20 %), gramíneas, forrajeras y oleaginosas con un estudio cada materia prima.

Discusión

Revistas, países

De acuerdo con la distribución del uso de la publicación de revistas por país, se logra determinar que no importa su origen, lo que llama la atención a los investigadores y autores de los estudios para su publicación es el costo de la revista, la calidad, y la visibilidad internacional que tenga esta. De igual manera, los países que más aportan estudios relacionados con este tema a la comunidad académica son: Brasil, Colombia y Cuba con 18 (22 %), 13 (17 %) y 12 (14 %) artículos, respectivamente, siendo estos países los que más consumo per cápita de carne de cerdo presentan con 14,5, 13,5 y 5,15 kg/año/persona en Brasil, Cuba

y Colombia (respectivamente) e igualmente Brasil es el país a nivel suramericano que más exporta carne de cerdo/año a países asiáticos (en su gran mayoría).

Brasil, Colombia y Cuba son los países que más desarrollan investigación sobre porcicultura, tratando de buscar nuevas fuentes alternativas de alimentación que permitan mejorar la productividad, ampliar su nivel de exportación hacia países asiáticos como China y Japón, ya que, los cerdos producidos en países como Camboya, Vietnam no cuentan con la calidad exigida por los consumidores asiáticos, tales como: carne magra y succulenta proveniente de animales jóvenes (MADR, 2012).

El criterio de selección de publicaciones de países tropicales, permite estandarizar las condiciones agroecológicas caracterizadas por un clima cálido, sólo dos estaciones climáticas (verano e invierno), sus días y noches con la misma duración, influyendo directamente en el porcentaje de grados brix de las materias primas alternativas, produciendo mayor cantidad de azúcares indispensables en el consumo de las raciones aportando metabolitos que actúan como palatabilizadores (Borín *et al.*, 2000). Los experimentos se llevaron a cabo entre 0 y 1200 msnm, existiendo variedad de materias alternativas fácilmente adaptables que provienen de diferentes países de la zona tropical (Centroamericanos, suramericanos, africanos o asiáticos), que sirven de alimentación a porcinos en levante. Pascal *et al.* (2007), defienden la teoría de que existe un potencial considerable en los países tropicales al poseer alta diversidad de árboles forrajeros, para desarrollar sistemas alimenticios basados en mezclas estratégicas, que generen un incremento del valor nutricional y por consiguiente de la productividad de los animales.

En cuanto a su calidad nutricional, los subproductos de cosecha son de naturaleza energética aportando en promedio 2,2 mal/kg de Energía Digestible (ED), contienen bajo nivel de proteína oscilando entre 4,5 y 6,4 % (Rosales y Paucar, 1996). Por su parte, las fuentes forrajeras son de gran utilidad en la alimentación porcina, aportando proteínas importantes para la formulación de dietas en producciones sostenibles y eficientes (Savón, 2006). Para Contino (2006), estas fuentes forrajeras sean leguminosas o no, pueden ser incluidas en raciones para porcinos en crecimiento, como fuente de proteína y en algunos casos de energía.

Materias primas alternativas usadas

Colombia y Camboya son los países que utilizan la mayor proporción de subproductos de cosecha como material alternativo y seguido de las forrajeras, ya que, desde hace tres

décadas se ha venido implementando la alimentación alternativa en producción de bovinos, razón por la cual se están buscando nuevos resultados con buenos rendimientos productivos en otras especies como el cerdo. En países de la región como Brasil lo que más se utiliza son los cereales, debido a que el país es productor de este tipo de alimentos (arroz – *Oryza sativa*-, trigo – *Triticum spp*-) usando estos materiales para la fabricación de concentrados, otras materias primas alternativas utilizadas por Brasil son los subproductos de cosecha, oleaginosas como harina de coco (*Cocos nucifera* L.), harina de girasol (*Helianthus annuus*), semilla de algodón (*Gossypium herbaceum*), canola (*Brassica napus*) y gramíneas Mijo perla (*Pennisetum glaucum*), consideradas fuentes energéticas que permiten un mejor desempeño ya que no contienen elevados porcentajes de fibra mejorando la digestibilidad de los alimentos.

Según Pérez (1997) citado por Leiva y López (2012), los países tropicales son quienes deben aprovechar al máximo los recursos forrajeros, subproductos industriales, y desechos de cosecha para la alimentación de especies monogástricas como el cerdo (etapas de levante y ceba), debido a la necesidad de buscar alternativas para disminuir los costos productivos (alimentación) que están alrededor del 70 %, por la utilización de materias primas importadas de los concentrados comerciales y que en su mayoría compiten directamente con la seguridad alimentaria humana.

Los cereales, aunque no poseen una cantidad elevada de proteínas y contienen baja palatabilidad, tienen un buen perfil de aminoácidos (lisina y triptófano) que ayuda a los animales a mejorar el desempeño productivo al no encontrar diferencia en la ganancia de peso (Moreira *et al.*, 2002). Autores como (González *et al.*, 2006; Posada *et al.*, 2006), en sus resultados económicos, confirman que la utilización de subproductos de cosecha o material forrajero en las unidades porcícolas disminuyen entre 15 – 35 % el costo productivo de los animales, y pueden catalogarse como una herramienta útil para los productores no sólo durante épocas de escasez, sino que pueden tenerse a la mano en cualquier época del año. Aunque en el meta-análisis no se trabajó espesor de grasa dorsal o contenido de grasa intramuscular, cabe mencionar que autores como (Dugan, 2001; Ocampo, 2001) reportan dietas basadas en cereales o materias primas energéticas donde no se altera el rendimiento en estas variables, siempre y cuando se encuentren equilibradas en su relación proteína – energía, puesto que, a elevados niveles de grasa y energía en raciones para cerdos en crecimiento se incrementa el peso total de vísceras y el

contenido de grasa intramuscular en los animales evaluados.

Eficiencia productiva general de dietas suministradas

De los 42 estudios que reportaron igualdad en la eficiencia productiva, el 57 % corresponden a raciones con base en subproductos de cosecha, entre los más utilizados se encuentran: la yuca (*Manihot sculenta*), jugo de caña (*Saccharum officinarum*) y batata (*Batata ipomoea*), lo que significa que estas materias primas alternativas balanceadas adecuadamente para cerdos en levante, pueden sustituir en gran parte el porcentaje de energía requerida por los animales en esta etapa, concordando con los resultados encontrados por (Tepper *et al.*, 2012), en los que la incorporación de subproductos de cosecha como la raíz de batata (tubérculo con alto contenido de carbohidratos, baja concentración de proteína aunque de alto valor biológico -un 4,2 % se encuentra en forma de lisina-) no afecta las variables productivas de los cerdos en levante, asemejándose de manera importante a los animales que consumieron la dieta tradicional.

Lo anterior, indica que recursos tropicales ricos en almidones y por consiguiente, energéticos, pueden formar parte de la dieta para cerdos, concordando con lo establecido previamente por (Nguyen *et al.*, 2013), quienes describieron las bondades desde el punto de vista nutricional del uso de subproductos de cosecha como materia prima en dietas para cerdos; particularmente, esta especie al consumir alimentos que contienen mayores cantidades de energía incrementa el consumo de alimento, existiendo más energía disponible en su organismo, favoreciendo el crecimiento muscular y la producción de grasa en la canal, debido a que el exceso de energía ingerida con respecto a las necesidades de mantenimiento permite al animal mayor formación de tejido muscular y adiposo. Contrario a ello, los recursos foliares (morera y nacedero), caracterizados por su alto contenido de proteína (Pascual *et al.*, 2011), mostraron detrimentos en los parámetros productivos, por lo que debe tenerse especial cuidado al momento de incorporar altos porcentajes de dichas materias primas en dietas para cerdos en levante, ya que, por la condición metabólica de la especie, la utilización excesiva de material proteico impide mayor desarrollo muscular, crecimiento y acumulación de tejido adiposo, contrario a lo que sucede con el consumo de materiales energéticos.

El 14 % de los artículos seleccionados desarrollaron raciones basadas en cereales con una igualdad en su eficiencia productiva, según resultados hallados por (Hurtado *et al.*, 2011b), el mejor desempeño de los animales alimentados con

estos productos puede ser explicado por la composición nutricional y la digestibilidad de sus nutrientes, y, en el caso de los aminoácidos esenciales (lisina, metionina, triptófano) la digestibilidad aparente del arroz partido es superior al 81 %. Los resultados del estudio (Furlan *et al.*, 1999), obtuvieron que en la sustitución de trigo por Triticale (híbrido entre trigo y centeno) no se alteró el consumo de alimento ni la ganancia de peso de los cerdos evaluados.

Al utilizar gramíneas (Bastos *et al.*, 2002) encontraron igual consumo de la ración y ganancia de peso al incluir en los tratamientos hasta 45 % de Mijo perla (*Pennisetum glaucum*), pues a mayores niveles de inclusión se disminuyó el desempeño productivo de los animales en levante al aminorar la cantidad de energía presente en la dieta, pero incluso el 45 % de la ración mantuvo el buen desempeño de los animales, relacionado directamente con la cantidad de aminoácidos digestibles, como lisina (0,307 %), metionina (0,209 %) y treonina (0,439 %) (Indispensables para el crecimiento y desarrollo muscular de los animales en la etapa de levante). Las oleaginosas utilizadas en las investigaciones analizadas en el metaanálisis fueron: harina de girasol (*Helianthus annuus* L.), soya integral (*Glycine max*) y semilla de algodón (*Gossypium herbaceum*). Según Da Silva *et al.* (2002), en ensayos realizados en cerdos de levante con inclusión hasta del 21 % de semilla de girasol en la ración los parámetros o desempeño productivo no disminuyen, ni influye negativamente al suministrarlo a los animales.

Por lo anterior y, revisando cada uno de los tipos de materias primas alternativas utilizadas por los investigadores, las que tienen mejor rendimiento productivo en cerdos de levante al compararlas con concentrados comerciales son las oleaginosas, puesto que son materiales de alta digestibilidad con un promedio de 93 %, buen contenido de proteína 42 a 48 %, aminoácidos esenciales digestibles (lisina, treonina) que permiten un mayor desarrollo muscular, excelente calidad de la carne (magra) (Da Silva *et al.*, 2002), siempre y cuando se elimine la mayor cantidad posible de factores anti-nutricionales presentes en estas, como es el caso del gopipol, taninos, fenoles, pues por tratarse de animales monogástricos, estos interfieren en el aprovechamiento de los alimentos, ocasionando pérdida de proteína endógena y en ocasiones intoxicación por estos elementos (Mello *et al.*, 2012).

Parámetros productivos

Consumo de alimento

En la tabla 1, se observa los promedios de consumo por cada tratamiento, resultando el tratamiento cuatro (Desechos de animales) con el menor (1202 g) y el tratamiento 1 (Cereales)

con el mayor promedio (2015 g), aunque el coeficiente de variación de los dos tratamientos es muy bajo debido probablemente a que los animales tuvieron consumo similar, encontrando también que ninguno de los tratamientos sobrepasa en su coeficiente de variación el 30 % máximo permitido, lo que significa que son resultados con alta homogeneidad, es decir, si se repiten los experimentos deben

arrojar los mismos resultados. Con respecto al tratamiento control, de los seis tipos de materias primas alternativas utilizadas cuatro tuvieron un promedio de consumo por debajo de este (gramíneas, forrajeras, desechos de animales y subproductos de cosecha) y dos tratamientos tuvieron un promedio mayor (cereales y oleaginosas).

Tabla 1. Consumo promedio de materias primas alternativas. D.S: desviación estándar. CV: coeficiente de variación (%).CA: coeficiente de asimetría. C.K: coeficiente kurtosis. Tratamientos con letra igual no tienen diferencia significativa, letra diferente entre tratamientos si hay diferencia.

Tratamiento	Ensayos	X	D.S	C. V. (%)	Mín	Máx	Rango	C.A.	Kurtosis
Cereales	23	2015 b	420,37	20,86	1467	2840	1373	1,56	-0,41
Gramíneas	12	1858,83 b	484,96	26,09	1221	2890	1669	0,76	0,39
Forrajeras	28	1890,11 b	449,23	23,77	980	2740	1760	0,13	-0,98
Desechos animales	4	1202,5 a	78,9	6,560	1130	1310	180	0,87	0,26
Oleaginosas	12	1959,17 b	168,93	8,620	1714	2263	549	0,14	-0,55
Sub-productos cosecha	78	1902,81 b	450,79	23,69	902	3396	2494	4,2	4,25
Control	55	1928,24 b	451,47	23,41	891	3000	2109	0,65	1,25
Total	212	1907,39	442,19	23,18	891	3396	2505	3,5	2,8

Cada tratamiento difiere con el reporte de Rostagno *et al.* (2011) quienes determinan que cerdos en levante deben consumir diariamente en promedio 1628 g de ración, ya que, este indicador influye directamente en los costos productivos; de acuerdo a los resultados, el tratamiento 4 (desechos de animales) es el único que está por debajo de este indicador (no significando que el menor consumo es el que produce un mejor desempeño productivo en los animales), los demás tratamientos incluyendo el control sobrepasan la cantidad de alimento consumido/día con respecto a lo encontrado por estos autores, sin embargo, al evaluar las variables ganancia de peso y conversión alimenticia se analizará realmente cuánto puede influir este factor en el incremento de los costos. El resultado de mayor consumo, se debe principalmente a la palatabilidad de las materias alternativas ofrecidas por los investigadores, las cuales por encontrarse en el trópico tienen un alto porcentaje de grados brix aportando mayor cantidad de azúcares, considerados factores indispensables en el consumo de los animales, a la vez que ayudan a producir metabolitos que actúan como palatabilizadores (Borin, 2000).

Según Vestergaard (1997) citado por Contino *et al.* (2008), alimentar a los cerdos con material alternativo representa una buena fuente de nutrientes (proteína, energía, minerales), lo que les permite reducir el periodo de hambre, necesitando comer menos lo que se traduce en ventajas nutricionales, fisiológicas y económicas, contradictorio a lo encontrado en los resultados del presente trabajo. Cuando los cerdos en crecimiento reciben alimento "ad libitum", el consumo de ración y principalmente, la

conversión alimenticia, dependen en gran parte, del nivel de energía (Rostagno *et al.*, 2011).

Realizando la transformación de datos, se encontró que el tratamiento 4 (desechos de animales) presenta el menor promedio de consumo por parte de los cerdos en levante evaluados por los investigadores, debido posiblemente, a la calidad biológica de sus aminoácidos y proteínas, que permiten obtener una mayor digestibilidad de los nutrientes (alrededor del 92 %), y por consiguiente disminuir el consumo de la ración al cumplir con los requerimientos de los animales en etapa de levante (Fanimó *et al.*, 2004). Un aspecto contradictorio es la presencia de *Bacillus cereus* (se encuentran en tracto digestivo de invertebrados que sirven de alimento a peces) en ensilajes elaborados por los investigadores que disminuyen la palatabilidad de la ración haciendo que el animal presente menor consumo del alimento (Bermúdez *et al.*, 1999). A nivel internacional, la Comunidad Europea reglamenta la utilización de este tipo de materias primas regidas por el acuerdo 1774 de 2012 (Parlamento Europeo, 2012), en el que se establecen las normas sanitarias aplicadas a subproductos de animales no destinados a consumo humano, siendo prohibidas por generar intoxicaciones alimentarias producidas por la presencia de diferentes tipos de bacterias (*Bacillus*, *Salmonella*), que a su vez provocan disminución en la productividad de los animales.

El grupo 3 (forrajeras) presenta los datos más dispersos (mayor heterogeneidad), además los tratamientos 6 (subproductos de cosecha) y 7 (control), tienen datos outlier y atípicos extremos que sesgan el promedio. Al realizar la prueba de Kruskal-Wallis

se encontró diferencia significativa del tratamiento 4 (desechos de animales) con respecto al control y los demás tratamientos. Luego de la transformación de datos se realizó ANOVA con 0,05 de nivel de significancia, con 6 tratamientos experimentales (Ver tabla 2) y tratamiento control representado por concentrado comercial, obteniéndose una p-value de 0,011, concluyendo que efectivamente existe diferencia significativa entre tratamientos. Aplicando prueba de Duncan con 0,05 de nivel de significación se encontró que el tratamiento 4 (desechos de animales) es diferente al control y demás tratamientos; sin embargo, estos últimos tuvieron un desempeño similar al tratamiento control. Al respecto, Cardona *et al.* (2001) reportaron un aumento del consumo al suministrar subproductos de cosecha como harina de yuca a medida que se aumentó el nivel de inclusión en los diferentes tratamientos evaluados, probablemente a causa de una mayor digestibilidad y gustosidad de la dieta producida por los carbohidratos solubles de la harina de yuca, aunque el aumento del consumo no es rentable por el incremento de costos productivos, y debe tenerse en cuenta si acelera la eficiencia animal (reduciendo los días de levante) y por consiguiente mejora los indicadores productivos. Cabe aclarar, que no siempre menor consumo significa menor conversión y aumento de la rentabilidad siendo necesario confrontar estos resultados con la ganancia de peso y conversión alimenticia de los animales.

Resultados reportados por (Ly, 2006; Degen, 2010) son similares, al mencionar que los subproductos de cosecha, gramíneas y forrajeras presentan elevados contenidos de fibra, generando

un efecto negativo en la digestión y absorción de los nutrientes de la ración, al igual que el llenado por volumen que causan estos alimentos, afectando las variables productivas (ganancia de peso y conversión alimenticia) ya que los animales tienden a consumir menos cantidad de la ración, por consiguiente los nutrientes asimilados no son los necesarios, generando una menor ganancia de peso y traduciendo finalmente en mayor conversión alimenticia o menor productividad del sistema porcícola. Con estos resultados se rechaza la hipótesis nula del meta-análisis por encontrarse diferencia entre el consumo de los diferentes tratamientos alternativos evaluados comparados con el tratamiento testigo (concentrado comercial).

Ganancia de peso

La menor ganancia de peso encontrada fue en subproductos de cosecha, debido probablemente al nivel de inclusión de las materias primas en las raciones de los animales pues en algunos de ellos utilizaban el 50 y hasta el 100 % de inclusión de la materia prima en la ración, demostrando que fueron dietas con deficiente digestibilidad proteínica, quizás por los factores antinutricionales presentes en los productos *Lemna gibba*, kudzú (*Pueraria phaseoloides*), batata (*Batata ipomoea*), semilla de calabaza (*Curcubita pepo*), yuca (*Manihot sculenta*) que contienen fenoles, taninos, ácido cianhídrico, produciendo en el animal baja digestibilidad de los alimentos por tener enzimas inhibidoras de tripsina, menor tasa de crecimiento y por consiguiente menor productividad en el animal.

Tabla 2. Ganancia de peso promedio por materia prima alternativa. D.S: desviación estándar. CV: coeficiente de variación (%).CA: coeficiente de asimetría. C.K: coeficiente kurtosis. Tratamientos con letra igual no tienen diferencia significativa, letra diferente entre tratamientos si hay diferencia.

Tratamiento	Ensayos	X	Desv. St.	C.V	Mín.	Máx.	Rango	CA	C.K
Cereales	23	650,04b	177,96	27,39 %	331	923	592	-0,98	-0,97
Gramíneas	12	713,17b,c	262,25	36,78 %	233	908	675	-1,85	-0,16
Forrajeras	28	635,64b	212,59	33,45 %	261	1080	819	0,65	-0,42
Desechos animales	4	409,25 a	55,65	13,6 %	357	488	131	1,08	1,01
Oleaginosas	12	784,33c	56,09	7,15 %	695	920	225	1,44	1,85
Sub-productos cosecha	78	613,05b	130,97	21,36 %	317	991	674	0,68	1,49
Control	55	664,4b	173,02	26,04 %	139	1039	900	-1,07	0,82
Total	212	644,89	172,37	26,73 %	139	1080	941	-0,95	-0,58

La tabla 2, muestra los promedios de ganancia de peso por cada tratamiento, en los que el tratamiento desechos de animales obtuvo el menor promedio (409,25 g). Estos indicadores no son los más adecuados para la alimentación de cerdos, puesto que, en la productividad y eficiencia animal se pretende conseguir que a menor consumo los animales ganen la mayor cantidad de

peso posible (traduciéndose en aumento de la rentabilidad del sistema productivo), cabe anotar los riesgos que trae alimentar un cerdos con este tipo de materias primas (desechos de animales) que tienen una fácil descomposición, ocasionando intoxicaciones alimentarias, pérdidas productivas y económicas. Contrario a este resultado se tiene el tratamiento 5

(oleaginosas) que presenta el mayor promedio en ganancia de peso con 784,33 g/animal, encontrándose un coeficiente de variación muy bajo, posiblemente, porque los animales utilizados tuvieron una ganancia de peso muy similar. Con respecto al tratamiento control, de los seis tipos de materias primas alternativas utilizadas por los investigadores, cuatro de ellas presentaron menor promedio de ganancia de peso (cereales, forrajeras, desechos de animales, subproductos de cosecha) y sólo dos obtuvieron resultados con un promedio mayor (gramíneas y oleaginosas).

Al igual que en la variable consumo, cada tratamiento difiere de los reportes de Rostagno *et al.*, (2011) en los cuales la ganancia de peso diaria en cerdos de levante debe ser de 868g/animal, ya que, todos los tratamientos presentaron una ganancia de peso inferior a lo sugerido por los autores, influyendo también en los costos productivos, debido probablemente, por la calidad de las materias primas con las que fueron elaboradas cada una de las raciones, lo que disminuye el crecimiento de los animales y la conformación de tejido muscular por la cantidad de proteína suministrada en las dietas, sin tener en cuenta si tiene o no buena palatabilidad.

Al transformar los datos de ganancia de peso, se obtuvo que el tratamiento 4 (desechos de animales) presenta el menor promedio de ganancia de peso (409,25g) en los cerdos evaluados en etapa de levante; debido probablemente por la presencia de quitina en algunos peces e invertebrados, que no es asimilada fácilmente por animales monogástricos, disminuyendo la digestibilidad de sus aminoácidos, y bloqueando el acceso de enzimas digestivas a los lípidos y proteínas, considerándose el valor de la energía muy baja, indispensable para un buen desarrollo de los cerdos en la etapa de levante (Fanimó *et al.*, 2004). Al analizar el coeficiente de variación, se encuentra que los tratamientos gramíneos (36,78 %) y forrajeras (33,45 %) son los grupos más heterogéneos, debido a que los animales de estos tratamientos presentaron ganancia de peso muy diferente (quizás por el tipo de suelo en los que fueron cosechados, los días de cosecha, el tipo de fertilización utilizada) y si se realizan nuevamente los ensayos, sus resultados no serán los mismos. El grupo 5 (oleaginosas) es el que presenta mayor promedio en cerdos de levante evaluados por los investigadores de los diferentes estudios analizados. Al respecto, Da Costa *et al.* (2008) reportan mayores ganancias con harina de coco (representadas por el 32,6 %) en inclusiones hasta del 20 % de este elemento en la ración como fuente de energía, atribuido a la disminución de harina de trigo en la dieta que permitió un mayor consumo por parte de los

animales y por consiguiente mayor contenido energético que permite utilizar los nutrientes proteicos directamente en formación de músculo (carne), y el exceso de energía se aprovecha en las funciones de mantenimiento y depósito de glucógeno en el músculo del animal.

Se encontró diferencia significativa del tratamiento 4 (desechos de animales) con respecto al control y los demás tratamientos, siendo similares los tratamientos cereales, forrajeras, subproductos de cosecha y control, difiriendo a su vez de los tratamientos oleaginosas y gramíneas. Al realizar ANOVA con 0,05 de nivel de significancia se obtuvo una p-value de 0,0092, concluyendo que existe diferencia significativa entre tratamientos al evaluar la ganancia de peso de los animales (rechazando la hipótesis nula). Se aplicó prueba de Duncan con 0,05 de nivel de significación y se encontró que el tratamiento 4 (desechos de animales) es diferente a todos los tratamientos incluyendo el control, el cual no presenta diferencia con los tratamientos cereales, forrajeras, subproductos de cosecha. El resultado de mayor ganancia de peso en oleaginosas, concuerda con lo reportado por Da Silva *et al.* (2002), evaluando la inclusión de harina de girasol en la ración en cerdos de levante notaron una ganancia de peso entre 747 g y 803g/animal/día con diferentes niveles de inclusión de la materia prima, ya que, con un 21 % de la materia prima en la dieta, se tiende a mejorar el nivel de fibra y los animales aumentan la digestibilidad de los nutrientes.

Conversión alimenticia

De las diferentes materias primas alternativas encontradas para la alimentación de cerdos en levante las más utilizadas son los subproductos de cosecha con 48 estudios, seguido de las forrajeras con 15 estudios. Esta igualdad en la conversión alimenticia entre las diferentes materias primas, se obtuvo principalmente porque las materias alternativas ofrecidas por los investigadores disponían de buena calidad nutricional, lo que les permitió conseguir una buena ganancia de peso; y, debido a que se encuentran en países tropicales contienen alto porcentaje de grados brix produciendo mayor cantidad de azúcares importantes en el consumo de las raciones aportando metabolitos que actúan como palatabilizadores (Borín *et al.*, 2000).

En la tabla 3, se muestra los promedios de conversión alimenticia de cada tratamiento, encontrándose el tratamiento 5 (oleaginosas) con el menor promedio (2,51) y además el coeficiente de variación más bajo (7,66 %), debido a que los

animales presentaron una conversión alimenticia similar durante el tratamiento; el tratamiento 1 (cereales) es el que presenta mayor promedio (3,37), obteniendo en tres de los 6 tratamientos experimentales y en el testigo un coeficiente de variación mayor al 30 %, lo que significa que son resultados con alta heterogeneidad, y, si se repiten los experimentos los

resultados serán diferentes. De acuerdo al tratamiento control, sólo dos de los seis tratamientos alternativos presentaron resultados similares a este (gramíneas y desechos de animales), los tratamientos cereales, forrajeras y subproductos de cosecha presentaron resultados diferentes al control y oleaginosas (catalogada como el mejor tratamiento).

Tabla 3. Conversión alimenticia promedio por materia prima alternativa. Tratamientos con letra igual no tienen diferencia significativa, letra diferente entre tratamientos si hay diferencia. D.S: desviación estándar. CV: coeficiente de variación (%).CA: coeficiente de asimetría. C.K: coeficiente kurtosis.

Tratamiento	Ensayos	X	D.S	C.V.	Mín	Máx	Rango	C.A.	C.K.
Cereales	23	3,37c	1,19	35,47 %	2,31	5,83	3,52	1,72	-0,80
Gramíneas	12	2,93b	1,21	41,41 %	2,0	5,5	3,5	2,06	0,55
Forrajeras	28	3,27c	1,34	41,09 %	1,77	6,75	4,98	3,16	1,63
Desechos animales	4	2,92b	0,40	13,81 %	2,37	3,29	0,92	-0,83	0,20
Oleaginosas	12	2,51a	0,19	7,66 %	2,23	2,85	0,62	0,95	-0,28
Sub-productos cosecha	78	3,1c	0,85	27,32 %	1,63	5,7	4,07	4,18	2,46
Control	55	2,95b	0,91	30,71 %	1,93	6,88	4,95	6,68	9,87
Total	212	3,06	0,98	32,14 %	1,63	6,88	5,25	9,53	7,55

Todos los tratamientos incluido el control, difieren de los reportes de Rostagno *et al.* (2011) en los que los cerdos de levante tienen en promedio una conversión alimenticia de 1,84 kg de alimento consumido/kg de peso ganado, y de acuerdo a los promedios encontrados en esta variable los tratamientos forrajeras y cereales son los que mayor conversión presentan, lo que significa menor desempeño productivo. Con respecto a esta observación (Posada *et al.* 2006), reportan una disminución en el desempeño de cerdos en levante al aumentar el porcentaje de inclusión de maní forrajero en la dieta, lo cual puede explicarse por la naturaleza fibrosa de este material, que disminuye la digestibilidad de la materia seca y de la proteína, siendo limitado su uso en la alimentación porcina.

Se obtuvo una p-value de 0,2176 con un 5 % de significancia, concluyendo que no existe diferencia significativa entre tratamientos, sin embargo, se aplicó prueba de Duncan con 0,05 de nivel de significación y se encontró que el tratamiento 5 (oleaginosas) es el que tiene mejor desempeño productivo con respecto a los demás, aunque tiene resultados similares con los tratamientos de gramíneas, control y desechos de animales, terminando la comparación con los tratamientos subproductos de cosecha, forrajeras y cereales (tratamientos de menor desempeño productivo). Similares resultados encontraron Tepper *et al.* (2012), con la inclusión de subproductos de cosecha (raíz de batata) en la ración de cerdos en levante, en las que no se afectó las variables productivas de los animales con respecto al desempeño presentado por el tratamiento control (concentrado comercial).

Estudios realizados por Bermúdez *et al.* (1999), determinaron que en la etapa de levante es difícil encontrar buenas respuestas a niveles altos de sustitución de la proteína proveniente de la torta de soya, resultando interesante la respuesta lograda al sustituir dicha proteína con una fuente como el ensilaje de vísceras de pescado, indicando que existe un buen balance de aminoácidos en el producto utilizado, similar a la eficiencia del concentrado comercial, concordando con lo encontrado en este estudio al determinar el promedio de consumo y ganancia de peso de este tipo de materias primas. Al contrario, el tratamiento con subproductos de cosecha, aunque son los más utilizados por los investigadores en las diferentes publicaciones y el cuarto en mayor consumo, en la variable ganancia de peso es el segundo tratamiento con menor ganancia después de los desechos de animales. El tratamiento 5 (oleaginosas) presenta el menor promedio de conversión alimenticia por parte de los cerdos evaluados, debido, a la calidad biológica de sus proteínas, y excelente fuente energética que permiten obtener mayor digestibilidad de los nutrientes, y aunque su consumo no es muy bajo se asemeja al encontrado para el tratamiento control, diferente a lo que sucede con la ganancia de peso, ya que, según los promedios encontrados es el tratamiento que mayor ganancia presenta por encima del tratamiento control.

Los resultados de desechos de animales, concuerdan con los mostrados por Bermúdez *et al.* (1999), en los que reportaron igual eficiencia productiva en levante de cerdos alimentados con vísceras de pescado al compararlo con raciones de torta de soya y concentrados comerciales, debido al excelente balance

de aminoácidos. Mediante los resultados de conversión alimenticia se puede aceptar la hipótesis nula del meta-análisis, al no encontrar diferencia en el desempeño productivo de los cerdos evaluados entre los tratamientos de materias primas alternativas comparadas con el tratamiento testigo (concentrado comercial).

Conclusiones

No importa el origen de las investigaciones o estudios, lo que llama la atención de los autores es el costo de la revista, amplia política de publicación y cobertura, la calidad y visibilidad internacional que tenga esta; siendo la Revista *Livestock Research for Rural Development* la más apetecida por los investigadores para publicar en revistas indexadas.

Se encontraron seis tipos de materias primas alternativas con las que fueron alimentados los cerdos en levante, como: Cereales (13 %), gramíneas (5 %), forrajeras (14 %), desechos de animales (2 %), oleaginosas (6 %), subproductos de cosecha (51 %), destacando este último por la facilidad que tienen los productores de conseguir este tipo de materias primas por encontrarlos en sus sistemas productivos. El 9 % restante corresponde a estudios que combinaron diferentes tipos de alimentos en los ensayos. El subproducto de cosecha más utilizado es la Yuca con un 16 % (harina, follaje, raíz), el cereal más utilizado es el subproducto de arroz con un 36 %, los desechos de animales utilizan las vísceras de pescado ensiladas para suministrar a los animales.

La eficiencia productiva en un 51 % de los estudios analizados resultó igual al compararla con tratamientos testigos (concentrados comerciales). Correspondiendo el 57 % de los estudios a subproductos de cosecha, que, aunque tiene mayor consumo y mayor indicador en conversión alimenticia, los investigadores la utilizan por su disponibilidad en los sistemas productivos.

El 69 % de los estudios reportó igual consumo de raciones (comparadas con tratamiento testigo), de las cuales el 47 % habían utilizado subproductos de cosecha, el 16 % cereales y el 13 % forrajeras. Realizando el análisis inferencial se encontró que son las de mayor consumo, pero no las de mejor desempeño productivo en cerdos de levante. Los desechos de animales tienen menor consumo, menor ganancia de peso y presentan conversión alimenticia similar al tratamiento control, sin embargo, según la reglamentación internacional este tipo de materias primas no debe ser usada en alimentación animal por el riesgo de intoxicaciones alimentarias.

En cuanto a ganancia de peso, el 57 % de los artículos mostraban igualdad en ganancia al comparar los tratamientos experimentales con testigos o control, de los cuales el 53 % correspondían a subproductos de cosechas, 15 % cereales, 13 % a forrajeras, 4 % a gramíneas, encontrándose que los subproductos de cosecha son las materias primas que más utilizan los investigadores en países tropicales, aunque no presentan una mejor eficiencia productiva.

Las oleaginosas son las materias primas que mejor desempeño productivo tienen, destacando su excelente nivel energético apropiado para la etapa evaluada, con respecto al control. El 66 % de los estudios reportaron una conversión alimenticia igual al comparar las dietas experimentales con testigos o concentrados comerciales, de las que el 51 % equivalen a subproductos de cosecha, aunque siendo la más usada no es la de mejor desempeño. La mayor y menor conversión alimenticia se encontró en un 8 % y 24 % de los estudios analizados (respectivamente). En todos los ensayos la mayor cantidad de materias primas utilizadas son los subproductos de cosecha con un promedio de 54 % de utilización.

Con los resultados encontrados y al comprobar hipótesis planteada para el metaanálisis se concluye que se rechaza la hipótesis nula en las variables consumo y ganancia de peso; por el contrario en la conversión alimenticia se acepta la hipótesis nula, que las materias primas alternativas presentan igual desempeño productivo en cerdos de levante al ser comparadas con concentrados comerciales y se hace necesario a partir de éstos, realizar nuevos estudios que comparen la eficiencia con los costos productivos del sistema.

Recomendaciones

Analizar los costos productivos de las materias primas en la alimentación de cerdos en levante para determinar su eficiencia económica de acuerdo al desempeño productivo presentado por los animales por medio de un metaanálisis.

Evaluar los tipos de materias primas encontrados en este meta análisis para la alimentación de cerdos en finalización

Referencias

Acurero, G., Alvarado, L., Álvarez, R., Pérez, S., Capó E. y Garbati S. 1993. Efectos bio-económicos de la sustitución parcial de los cereales por harina de batata en raciones para cerdos en crecimiento. *Zootecnia Tropical* 11(2): 117-128.

Adesehinwa, A. 2009. Palm kernel cake supplemented with

- cassava flour waste as energy source for pigs. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 4(4): 479-484. Doi: <https://doi.org/10.5039/agraria.v4i4a18>.
- Agudelo, J. 2009. Alternative feedstuffs for swine in Colombia: what are our options?. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 22(3): 278-286.
- Akinfala, E. y Tewe, O. 2001. Utilisation of whole cassava plant in the diets of growing pigs in the tropics. *Livestock Research for Rural Development* 13(5).
- Akinfala, E. y Tewe, O. 2004. Supplemental effects of feed additives on the utilization of whole cassava plant by growing pigs in the tropics. *Livestock Research for Rural Development* 16(10).
- Almaguel, R., Cruz, E., Piloto, J., Mederos, C. y Castillo, A. 2007. Granos secos de destilerías con solubles obtenidos a partir del maíz en la alimentación de los cerdos. *Revista Computadorizada de Producción Porcina* 14(3).
- Alves, M., Furlan, A., Moreira, I., Paiano, D., Cabreira, C. y Grigoletto, L. 2006. Avaliação nutricional do milho com maior teor de óleo, nas formas de grãos secos e silagens, para suínos nas fases de crescimento e terminação. *Revista Brasileira de Zootecnia* 35(3): 830-839.
- Arroyo, C. y Murillo, M. 2000. Utilización del pejibaye (*Bactris gasipaes*) en la alimentación animal. *Nutrición Animal Tropical*, 6(1): 145-168.
- Bastos, A., Landell-Filho, L., Passipieri, M. y Pereira, J. 2002. Diferentes Níveis de Grão de Milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown) na Alimentação de Suínos. *Revista Brasileira de Zootecnia* 31(4): 1753-1760. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000700018>.
- Bastos, A., Moreira, I., Furlan, A., De Oliveira, G., Fraga, A. y Sartori, I. 2006. Efeitos da inclusão de níveis crescentes de milheto (*Pennisetum Glaucum* (L.) R. Brown) grão na alimentação de suínos em crescimento e terminação. *Revista Brasileira de Zootecnia* 35(1): 98-103. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000100012>.
- Becerra, M., Murgueitio, E., Reyes, G y Preston, T. 1990. Azolla filiculoides as partial replacement for traditional protein supplements in diets for growing-fattening pigs based on sugar cane juice. *Livestock Research for Rural Development* 2(2).
- Bermúdez, J., Rodríguez, J., Ocampo, A. y Peñuela, L. 1999. Ensilaje de vísceras de pescado Cachama blanca (*Piaractus brachyponum*) como fuente de proteína para la alimentación de cerdos de engorde en una dieta con aceite crudo de palma (*Elaeis guineensis* - *Elaeis oleifera*). *Livestock Research for Rural Development* 11(2).
- Cardona, M., Posada, S., Carmona, J., Ayala, S., Taborda, E. y Restrepo L. 2002. Evaluación de la respuesta productiva y económica de cerdos mestizos en las etapas de levante y ceba utilizando cuatro niveles de harina de yuca (*Mannihot utilissima*). *Revista Colombiana Ciencias Pecuarias* 15(2): 207-212.
- Casarín, A., Bravo, F., De Uriarte, L. y Shimada, A. 1976. Empleo del garbanzo (*Cicer arietinum*) como única fuente. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* (31): 27-31.
- Castro, M., Díaz, J., Castañeda, J., Báez, L., Díaz, M., Ly J., Díaz, C, Cabrera, J. y Cino D. 2002. Una alternativa nacional como fuente de proteína para cerdos en crecimiento: *Vigna unguiculata* vc. INIFAT-93. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 36(4): 347-350.
- Contino, Y. 2006. Potencial y utilización de los árboles tropicales como fuentes de forraje para cerdos. Factores agronómicos. *Revista Computadorizada de Producción Porcina* 13 (suplemento 1): 11-14.
- Contino, Y., Ojeda, F., Herrera, R., Altunaga, N., Pérez, G. y Moliner, J. 2008. Comportamiento productivo de cerdos en ceba alimentados con follaje fresco de *Morus alba* como sustituto parcial del concentrado. REDVET: *Revista Electrónica de Veterinaria* 9(8): 1-9.
- Da Costa, J., Marques, M., Ludke, J., Bertol, T. y Moreira, W. 2008. Desempenho bio-econômico de suínos em crescimento e terminação alimentados com rações contendo farelo de coco. *Revista Brasileira de Zootecnia* 37(11): 1996-2002. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001100015>.
- Da Silva, C., Pinheiro, J., Fonseca, N., Cabrera, L., Cunha, N., Alves, M., Civoney, R. y Alves, M. 2002. Farelo de girassol na alimentação de suínos em crescimento e terminação: digestibilidade, desempenho e efeitos na qualidade de carcaça. *Revista Brasileira de Zootecnia* 31(2): 982-990. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000400022>.
- De Oliveira, P., Moreira, I., Furlan, A., Paiano, D., Piano, L. y Peñuela, L. 2011. Sticky coffee hull silage on the feeding of growing and finishing pigs. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40(2): 343-351. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000200016>.
- Degen, L. 2010. Dietary influence of fiber on the energy and

- amino acid digestibility and its consequences for diet formulation in growing pigs. Tesis de doctorado Universidad de Kaspovár, Kaposvár, Hungría.
- Dugan, M., Aalhus, J., Lien, K., Schaefer, L. y Kramer, J. 2001. Effects of feeding different levels of conjugated linoleic acid and total oil to pigs on live animal performance and carcass composition. *Canadian Journal of Animal Science* 81(4): 505-510. Doi: <https://doi.org/10.4141/A00-101>.
- Escobar, J., Macías, M., Castillo, R. y Vélez, M. 2006. Evaluación del Uso de Melaza en Dietas Para Cerdos en Crecimiento y Engorde. *Ceiba* 47(1-2): 3-9. Doi: <https://doi.org/10.5377/ceiba.v47i1-2.441>.
- Fanimó, A., Oduguwa, B., Oduguwa, O., Ajasa, O. y Jegede, O. 2004. Feeding value of shrimp meal for growing pigs. *Archivos de Zootecnia* 53: 77-85.
- Furlan, A., Mikami, F., Moreira, I., Scapinello, C. y Murakami, A. 1999. Uso do triticale (*Triticum turgidosecale*) na alimentação de suínos em crescimento (25-60 Kg). *Revista Brasileira de Zootecnia* 28(5): 1042-1049. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1516-35981999000500020>.
- García, A., Duarte, F. y Magaña, A. 1991. Crecimiento y finalización de cerdos con diferentes niveles de vinaza. *Livestock Research for Rural Development* 3(1).
- Garduño, H., Bárcena, P., Martínez, G., Pérez-Gil, R. y Sanginés, G. 2004. Comportamiento productivo en cerdos alimentados con diferentes niveles de *Lemna gibba*. *Revista Computadorizada de Producción Porcina* 11(Suplemento 1).
- González, J., Mederos, C., Piloto, J., Cabrera, Y., Martínez, R., Martínez, V., García, G. y González, G. 1999. Comportamiento de cerdos en crecimiento ceba alimentados con desperdicios procesados. Resultados de tres años en un centro integral de 10 reproductoras. *Revista computadorizada de producción porcina* 6(2): 38-45.
- González, C., Díaz, I., León, M., Ly, J., Vecchionacce, H. y Bianco, A. 2003. Rasgos de comportamiento y canal en cerdos alimentados con harina de raíz de batata (*Ipomoea batatas* L.). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 37(4): 421-425.
- González, C., Díaz, I., Vecchionacce, H. y Ly, J. 2003. Performance traits of pigs fed sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) foliage ad libitum and graded levels of protein. *Livestock Research for Rural Development* 15(9): 25-34.
- González, D., González, C., Ojeda, A., Machado, W. y Ly, J. 2006. Comportamiento productivo de cerdos en crecimiento alimentados con jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y harina de follaje de morera (*Morus alba*). *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 14(2): 42-48.
- Halimani, T., Ndlovu, L., Dzama, K., Chimonyo, M. y Miller, B. 2007. Growth performance of pigs fed on diets containing *Acacia karroo*, *Acacia nilotica* and *Colophospermum mopane* leaf meals. *Livestock Research for Rural Development* 19(12).
- Hurtado, V., Nobre, R. y Chiquieri, J. 2011a. Rendimiento de cerdos alimentados con raciones conteniendo subproductos de arroz, durante la fase de crecimiento. *Revista MVZ Córdoba* 16(1): 2372-2380. Doi: <https://doi.org/10.21897/rmvz.296>.
- Hurtado, V., Nobre, R. y Chiquieri, J. 2011a. Níveis de lisina para suínos dos 25 aos 45 kg alimentados com rações contendo subprodutos de arroz. *Zootecnia Tropical* 29(2): 205-211.
- Ibarra, L. 1988. Uso de métodos estadísticos en publicaciones científicas: evaluación de la tesis de pregrado de la carrera Medicina Veterinaria de la Universidad de Chile, Santiago de Chile, Universidad Santiago de Chile.
- Jensen, C. 2002. A meta-analysis comparing the effect of vaccines against *Mycoplasma hyopneumoniae* on daily weight gain in pigs. *Preventive Veterinary medicine* 54: 265-278. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(02\)00005-3](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(02)00005-3).
- Keoboualapheth, C. y Mikled, C. 2003. Growth performance of indigenous pigs fed with *Stylosanthes guianensis* CIAT 184 as replacement for rice bran. *Livestock Research for Rural Development* 15(9).
- Leiva, L. y López, J. 2012. Uso de subproductos y fisiología nutricional en cerdos en crecimiento-ceba. *Revista computadorizada de producción porcina* 19(2).
- Leiva, L. y López, J. 2006. Empleo del follaje arboreo en la alimentación porcina. *Revista Computadorizada de Producción Porcina* 13 (suplemento 1): 15-20.
- Aminot, A. y Rey, F. 2000. *Standard procedure for the determination of chlorophyll a by spectroscopic methods. International Council for the Exploration of the Sea* 112. ICES Techniques in Marine Environmental Sciences, Copenhagen.
- Andersen, P. y Thronsdén, J. 2004. Estimating cell numbers. En: Hallegraeff, G.M., Anderson, D.M., Cembella, A.D. y Enevoldsen, H.O. Editores. *Manual on harmful marine microalgae. Monographs on Oceanographic Methodology*, Unesco, París.

- Baselga, A., Orme, D., Villegger, S., De Bortoli, J., Leprieur, F. y Logez, M. 2021. betapart: Partitioning Beta Diversity into Turnover and Nestedness Components. R package version 1.5.4. [_URL: https://CRAN.R-project.org/package=betapart](https://CRAN.R-project.org/package=betapart). Consultado: 15 de abril de 2021.
- Bellinger, E. y Sigeo, D. 2015. *Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators*. Second Edición. John Wiley & Sons, New Jersey.
- Bicudo, C. y Menezes, M. 2006. *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil. Chave para identificação e descrições*. 2.a Edición. Rima Editora, São Carlos.
- Borcard, D., Gillet, F. y Legendre, P. 2018. *Numerical ecology with R*. Springer. Nueva York.
- Canosa, A. y Pinilla, G. 2007. Relaciones entre las abundancias del bacterioplancton y del fitoplancton en tres ecosistemas lénticos de los Andes colombianos. *Revista de Biología Tropical* 55(1): 135-46. <https://doi.org/10.15517/rbt.v55i1.6064>.
- Caraballo-García, P.R., Forsberg, B.R. y Leite, R.G. 2012. Papel trófico del microbial loop en un lago de inundación en la Amazonía Central. *Acta Biológica Colombiana* 17(1): 103-16.
- Carreto, J.I., Carignan, M.O., Montoya, N.G. y Cucchi Colleoni, A. D. 2007. Ecología del fitoplancton en los sistemas frontales del Mar Argentino. *El Mar Argentino y sus Recursos Pesqueros* 5: 11-31.
- Catalan, J. y Donato, J. 2016. Perspectives for an integrated understanding of tropical and temperate high-mountain lakes. *Journal of Limnology* 75(s1): 215-34. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2016.1372>.
- Coveney, M. F. 1982. Bacterial Uptake of Photosynthetic Carbon from Freshwater Phytoplankton. *Oikos* 38(1): 8-20. <https://doi.org/10.2307/3544562>.
- De León, L. y Chalar, G. 2003. Abundancia y diversidad del fitoplancton en el Embalse de Salto Grande (Argentina-Uruguay). Ciclo estacional y distribución espacial. *Limnetica* 22(1-2): 103-13. <https://doi.org/10.23818/limn.22.07>.
- De los Ríos, P., Soto, D. y Mansilla, A. 2010. Comunidades zooplanctónicas en lagos del Parque Nacional Torres del Paine: un nuevo enfoque de análisis de factores reguladores de su estructura comunitaria. *Anales del Instituto de la Patagonia* 38(1): 111-9. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-686X2010000100008>.
- Del Giorgio, P.A. y Peters, R.H. 1994. Patterns in planktonic P:R ratios in lakes: influence of lake trophy and dissolved organic carbon. *Limnology and Oceanography* 39(4): 772-87. <https://doi.org/10.4319/lo.1994.39.4.0772>.
- Dodson, S.I., Arnott, S.E. y Cottingham, K.L. 2000. The relationship in lake communities between primary productivity and species richness. *Ecology* 81(10): 2662-79. [https://doi.org/10.1890/0012658\(2000\)081\[2662:TRILCB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012658(2000)081[2662:TRILCB]2.0.CO;2).
- Donato, J. 1998. Los sistemas acuáticos de Colombia: síntesis y revisión. En: Guerrero, E., Editor. *Una aproximación a los humedales en Colombia*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN)-Fondo FEN Colombia: Fondo para la Protección del Medio Ambiente "José Celestino Mutis", Bogotá D.C.
- Donato-Rondón, J. 2001. *Fitoplancton de los lagos Andinos del norte de Sudamérica (Colombia)*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN)-Fondo FEN Colombia: Fondo para la Protección del Medio Ambiente "José Celestino Mutis", Bogotá D.C.
- Donato, J., González, L. E. y Rodríguez, C. 1996. *Ecología de dos sistemas acuáticos de páramo*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Bogotá D.C.
- Dorador, C., Pardo, R., y Vila, I. 2003. Variaciones temporales de parámetros físicos, químicos y biológicos de un lago de altura: el caso del lago Chungará. *Revista Chilena de Historia Natural* 76(1): 15-22. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2003000100002>.
- Duque, S. y Donato, J. 1992. Biología y ecología del fitoplancton de las aguas dulces en Colombia. *Cuadernos divulgativos* 35: 1-21.
- Edler, L. 1979. Recommendations on methods for Marine Biological Studies in the Baltic Sea. Phytoplankton and Chlorophyll. *Baltic Marine Biologists Publication* 5: 38.
- Escribano, R. y Castro, L. 2004. Plancton y productividad. Biología Marina y Oceanografía. *Conceptos y Procesos* 1: 289-312.
- Esteves, F. D. A. 2011. Fundamentos de limnología. 3.a Edición. Editorial Interciencia, Medellín.
- Gibbs, R.J. 1970. Mechanisms Controlling World Water Chemistry. *Science* 170(3962): 1088-90. <https://doi.org/10.1126/science.170.3962.1088>

- González, E.J., Ortaz, M., Peñaherrera, C., Montes, E., Matos, M. L. y Mendoza, J. 2003. Fitoplancton de cinco embalses de Venezuela con diferentes estados tróficos. *Limnetica* 22(1-2): 15-35.
- Guzmán, D., Ruiz, J.F. y Cadena, M. 2014. Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través análisis de componentes principales (ACP). Informe Técnico. IDEAM, Bogotá D. C.
- Heemskerk, M., Wilson, K. y Pavao-Zuckerman, M. 2003. Conceptual Models as Tools for Communication Across Disciplines. *Conservation Ecology* 7(3): 8. <https://doi.org/10.5751/ES-00554-070308/>.
- Henriquez Ramírez, J.A. 2018. Actividad antioxidante de las microalgas *Chlamydomonas* sp. y *Pediastrum* sp. como respuesta a la radiación UV y altitud de origen. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Hernández, E., Aguirre, N., Palacio, J., Ramírez, J.J., Duque, S.R., Guisande, C., Aranguren, N. y Mogollón, M. 2013. Evaluación comparativa de algunas características limnológicas de seis ambientes leníticos de Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* (69): 216-28.
- Hernández-Camacho, J., Hurtado, A., Ortiz, R. y Walschburger, T. 1992. Unidades biogeográficas de Colombia. En: Halffter, G., Editor. *La diversidad biológica de Iberoamérica*. Instituto de Ecología, A.C., Xalapa.
- Hsieh, T. C., Ma, K. H. y Chao, A. 2016. iNEXT Interpolation and Extrapolation for Species Diversity: An R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*. URL: <https://cran.rproject.org/web/packages/iNEXT/index.html>. Consultado: 15 de abril de 2021.
- Jacobsen, D. y Dangles, O. 2017. *Ecology of high altitude waters*. Oxford University Press, Oxford.
- Jost, L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos* 113(2): 363-75. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- Korhonen, J. J., Wang, J. y Soininen, J. 2011. Productivity-Diversity Relationships in Lake Plankton Communities. *PloS ONE* 6(8): e22041. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.002204>.
- Körner, C. 2007. The use of 'altitude' in ecological research. *Trends in Ecology & Evolution* 22(11): 569-74. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.09.006>.
- Kuczynska, P., Jemiola-Rzeminska, M. y Strzalka, K. 2015. Photosynthetic Pigments in Diatoms. *Marine drugs* 13(9): 5847-81. <https://doi.org/10.3390/md13095847>.
- Legendre, P. y Legendre, L. 2012. *Numerical Ecology*. Elsevier, Amsterdam.
- Lewis Jr., W. y Riehl, W. 1982. Phytoplankton composition and morphology in Lake Valencia, Venezuela. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie* 67: 297-322.
- Lomolino, M. V. 2001. Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography* 10(1): 3-13. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822x.2001.00229.x>.
- López, F. y Siqueiros, B. 2011. Las diatomeas como indicadores de la calidad ecológica de los oasis de Baja California Sur, México. *Biodiversitas* 99: 8-11.
- Machado, K. B., Teresa, F. B., Vieira, L. C., Huszar, V. L. y Nabout, J. C. 2016. Comparing the effects of landscape and local environmental variables on taxonomic and functional composition of phytoplankton communities. *Journal of Plankton Research* 38(5): 1334-46. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbw062>.
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey.
- Maldonado, M., Maldonado-Ocampo, J. A., Ortega, H., Encalada, A. C., Carvajal-Vallejos, F. M., Rivadeneira, J. F., Acosta, F., Jacobsen, D., Crespo, A. y Rivera-Rondón, C. A. 2011. Biodiversity in aquatic systems of the Tropical Andes. En: Herzog, S., Martinez, R., Jorgensen, P. y Tiessen, H., Editores. *Climate change and biodiversity in the tropical Andes*. Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), Montevideo.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Editorial Omega S. A., Barcelona.
- McCune, B., Grace, J.B. and Urban, D.L. 2002. *Analysis of Ecological Communities*. MJM Software Design, Gleneden Beach, Oregon.
- Montoya, Y. y Aguirre, N. 2009. Estado del arte de la limnología de lagos de planos inundables (Ciénagas) en Colombia. *Gestión y Ambiente* 12(3): 85-106. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/25323>.
- Moore, J. C., Berlow, E. L., Coleman, D. C., De Ruiter, P. C., Dong, Q., Hastings, A., Collins Johnson, N., McCann, K. S., Melville, K.,

- Morin, P. J., Nadelhoffer, K., Rosemond, A.D., Post, D.M., Sabo, J. L., Scow, K.M., Vanni, M.J. y Wall, D.H. 2004. Detritus, trophic dynamics and biodiversity. *Ecology Letters* 7(7): 584-600. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00606.x>
- Morales, E., Luna, V., Navarro, L., Santana, V., Gordillo, A. y Arévalo, A. 2013. Diversidad de microalgas y cianobacterias en muestras provenientes de diferentes provincias del Ecuador, destinadas a una colección de cultivos. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas* 34(1-2): 129-4. <https://doi.org/10.26807/remcb.v34i1-2.240>.
- Muñoz-López, C.L., Aranguren-Riaño, N.J. y Duque, S.R. 2017. Functional morphology of phytoplankton in a tropical high mountain lake: Tota Lake (Boyacá-Colombia). *Revista de Biología Tropical* 65(2): 669-83. <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i2.23903>.
- Narvárez-Bravo, G. y León-Aristizábal, G. 2001. Caracterización y zonificación climática de la región andina. *Meteorología Colombiana* 4: 121-6.
- Odum, E. 1972. *Ecología*. Interamericana, México D. F.
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P.R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M.H., Szoecs, E. y Wagner, H. 2020. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5-7. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>. Consultado: 15 de abril de 2021.
- Onandia Bieco, G. 2015. Ciclo del carbono y modelización biogeoquímica de un lago somero hipertrófico: la Albufera de Valencia. Tesis de Doctorado, Universidad de Valencia, Valencia, España.
- Ortega-Mayagoitia, E. y Rojo, C. 2000. Fitoplancton del Parque Nacional Las Tablas de Daimiel. III. Diatomeas y clorofitas. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 58(1): 17-38.
- Parra, O., González, M., Dellarossa, V., Rivera P. y Orellana P. 1982. Manual Taxonómico del Fitoplancton de Aguas Continentales. Vol. I Cyanophyceae y Vol. II. Chrysophyceae. Universidad de Concepción, Concepción.
- Patrick, R. 1977. Ecology of freshwater diatoms and diatom community. En: Dietrich, W., Editor. *The Biology of Diatoms*. Blackwell Scientific Publications, Londres.
- Pedroza-Ramos, A. 2021. Análisis de la importancia del carbono orgánico disuelto en lagos andinos tropicales. Tesis de Maestría, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Boyacá, Colombia.
- Peinador, M. 1999. Las cianobacterias como indicadores de contaminación orgánica. *Revista de Biología Tropical* 47(3): 381-91.
- Peraza Escarrá, R. 2017. Diversidad y abundancia de fitoplancton del embalse Abreus (Cienfuegos, Cuba). Tesis de Maestría, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.
- Potter, B.B y Wimsatt, J.C. 2005. Método 415.3. Medición de carbono orgánico total, carbono orgánico disuelto y absorbancia UV específica a 254 nm en agua de origen y agua potable. Inventario científico.
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>. Consultado: 15 de abril de 2021.
- Ramírez, J. 2000. *Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios*. Editorial Universidad de Antioquia, Bogotá D. C.
- Rejas, D., Muylaert, K. y De Meester, L. 2005. Trophic interactions within the microbial food web in a tropical floodplain lake (Laguna Bufeos, Bolivia). *Revista de Biología Tropical* 53(1-2): 85-96.
- Reynolds, C.S. 1997. *Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory*. Ecology. Institute, Oldendorf.
- Reynolds, C.S. 2006. *The ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ricaurte, L.F., Patiño, J.E., Restrepo, D.F., Arias-G, J.C., Acevedo, O., Aponte, C., Medina, R., González, M., Rojas, S., Flórez, C., Estupiñán-Suárez, L. M., Jaramillo, Ú., Santos, A.C., Lasso, C.A., Duque Nivia, A.A., Restrepo, C.S., Vélez, J. I., Caballero Acosta, J. H., Duque, S. R., Núñez-Avellaneda, M., Correa, I.D., Rodríguez-Rodríguez, J.A., Vilarly, Q.S.P., Prieto-C, A., Rudas-LI, A., Cleef, A.M., Finlayson, C.M. y Junk, W. J. 2019. A Classification System for Colombian Wetlands: an Essential Step Forward in Open Environmental Policy-Making. *Wetlands* 39(5): 971-90. <https://doi.org/10.1007/s13157-019-01149-8>.
- Richerson, P. J., Neale, P. J., Wurtsbaugh, W., Alfaro, T. R. y Vincent, W. 1986. Patterns of temporal variation in Lake Titicaca. A high altitude tropical lake. I. Background, physical and chemical processes, and primary production. *Hydrobiologia* 138(1): 205-20. <https://doi.org/10.1007/BF00027241>.
- Rivas Navarrete, K.P. 1999. Importancia ecológica de la

- comunidad algal en el Lago Cocibolca. En: IX Congreso Científico UNAN-Managua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua.
- Roldán Pérez, G. y Ramírez Restrepo, J.J. 2008. *Fundamentos de limnología neotropical*. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín.
- Salas, H.J. y Martino, P. 1990. *Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Lima.
- Schwoerbel, J. 1975. *Métodos de hidrobiología*. Blume, Madrid.
- SigmaPlot Version 12.3 2013. Systat Software, Inc., San Jose, California. URL: <http://www.sigmaplot.co.uk/products/sigmaplot/produpdates/prod-updates18.php>. Consultado: 15 de abril de 2021.
- Steinman, A.D., Lamberti, G.A., Leavitt, P.R. y Uzarski, D.G. 2017. *Biomass and pigments of benthic algae. Methods in Stream Ecology*. Academia Press, Ghent.
- Streble, H. y Krauter, D. 1987. *Atlas de los microorganismos de agua dulce: la vida en una gota de agua*. Editorial Omega, Madrid.
- Sundqvist, M.K., Sanders, N.J. y Wardle, D.A. 2013. Community and Ecosystem Responses to Elevational Gradients: Processes, Mechanisms, and Insights for Global Change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 44: 261-80. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110512-135750>.
- Talling, J.F. 2009. Electrical Conductance – A Versatile Guide in Freshwater Science. *Freshwater Reviews* 2(1): 65-78. <https://doi.org/10.1608/FRJ-2.1.4>.
- Ter Braak, C. J. 1986. Canonical Correspondence Analysis: A New Eigenvector Technique for Multivariate Direct Gradient Analysis. *Ecology* 67(5): 1167-79. <https://doi.org/10.2307/1938672>.
- Toro Castaño, D. R., Jaramillo Salazar, M. T., Ocampo Serna, D. M., Correa, R. M. y Salgado, P. A. 2012. Estudio limnológico de la laguna negra. Zona amortiguadora del PNN Los Nevados. *Boletín Científico, Centro de Museos: Museo de Historia Natural* 16(2): 23-38.
- Torres-Bejarano, A.M., Duque, S.R. y Caraballo, P. 2014. Papel trófico del zooplancton a través del análisis de isótopos estables en un lago de inundación en la amazonia colombiana: The trophic role of zooplankton in a floodplain lake of Colombian amazon, through stable isotopes analysis. *Caldasia* 36(2): 331-44. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v36n2.47488>.
- Trudnowska, E., Sagan, S. y Błachowiak-Samołyk, K. 2018. Spatial variability and size structure of particles and plankton in the Fram Strait. *Progress in Oceanography* 168: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.09.005>.
- Utermöhl, H. 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton-methodik: Mit 1 Tabelle und 15 abbildungen im Text und auf 1 Tafel. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Mitteilungen* 9(1): 1-38. <https://doi.org/10.1080/05384680.1958.11904091>.
- Valdivia Huanca, J.C. 2019. Determinación del estado ecológico de la cuenca baja del Río Tambo; mediante bioindicadores biológicos Bacillariophyta (Diatomeas). Durante las epocas de estiaje 2018 y creciente del 2019. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.
- Wetzel, R. G. 1984. Detrital dissolved and particulate organic carbon functions in aquatic ecosystems. *Bulletin of Marine Science* 35(3): 503-9.
- Wetzel, R.G. y Likens, G.E. 2013. *Limnological Analyses*. Springer Science & Business Media, New York.
- Williamson, C. E., Morris, D. P., Pace, M. L. y Olson, O. G. 1999. Dissolved organic carbon and nutrients as regulators of lake ecosystems: Resurrection of a more integrated paradigm. *Limnology and Oceanography* 44(3part2): 795-803. https://doi.org/10.4319/lo.1999.44.3_part_2.0795.

Los canales Zenúes en Colombia: un desaparecido en el territorio y un desconocido en el bolsillo

The Zenú channels in Colombia: a disappeared in the territory and a stranger in the pocket

César Aníbal Olmos-Severiche¹ , Elvia María González-Agudelo² , Fabio de Jesús Vélez-Macías¹  y Néstor Jaime Aguirre-Ramírez¹ 

1. Grupo de investigación GeoLimna, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

2. Grupo de investigación DIDES, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Resumen

Se aplicó la noción de hipótesis abductiva al icono de los canales ancestrales zenúes en la Depresión Momposina colombiana. La hipótesis abductiva se desarrolló desde la concepción del semiólogo Pearce, quien afirma que solo un pensamiento abductivo lleva a la creación de algo genuinamente nuevo. El proceso abductivo parte del hecho sorprendente y llega hasta plantear una hipótesis, pasando por la interpretación semiológica de signos en tanto iconos, enigmas, indicios, sospechas, conjeturas y finalmente la enunciación de la hipótesis abductiva. Se tomó como base del hecho sorprendente que revela que la comunidad zenú de épocas prehispánicas, con su gran poder de control hidráulico, floreció en una zona de humedales de Colombia, pero luego desapareció, dejando una huella centenaria en el territorio. Este hecho sorprendente se plasma en el icono que representan los canales zenúes, una gran obra de ingeniería hidráulica cuyo abandono supuso la pérdida de intervención de las aguas de la Depresión Momposina, provocando inundaciones y sequías; problemas del cambio climático en nuestros tiempos. En el camino encontramos enigmas: como la relación hombre-hábitat; indicios: zona propicia para establecimiento de grandes culturas; sospechas: alto conocimiento y adaptación al territorio, la zona como gran templo espiritual, los canales zenúes como alternativa de manejo en la actualidad; conjeturas: conocimiento hidráulico de los zenúes, zona más manejable con canales que sin ellos, estrategia de ingeniería para controlar el ritmo actual de inundaciones y sequías; y con ellos se llegó al planteamiento - hipótesis abductiva: ¿cómo la comprensión del sistema tradicional de canales y terraplenes de los zenúes, su recuperación y conservación, se traduciría en una estrategia de adaptación al cambio climático al permitir el control de inundaciones y sequías?

Palabras clave: adaptación al cambio climático; canales ancestrales zenúes; cultura Zenú; depresión Momposina; hipótesis abductiva; sistema hidráulico

Abstract

The concept of the "abductive hypothesis" is applied in this work on the ancient Zenú channels in the Colombian Momposina Depression. The "abductive hypothesis" was developed after the conception of the semiologist Pearce, who stated that only "abductive thinking" leads to the creation of something genuinely new. The "abductive process" starts from a "surprising fact", and goes on, as far as setting a hypothesis, continuing next through the semiological interpretation of signs, as icons, riddles, clues, suspicions, conjectures, and ending with the statement of an "abductive hypothesis." We start from the "surprising fact" that reveals that the Zenú community during pre-Hispanic times with its great power of hydraulic management, flourished in a complex area of Colombia but then disappeared, leaving centennial footprints in the territory. This "surprising fact" is reflected in the icon represented by the monumental Zenú Channels, a great work of hydraulic engineering which abandonment meant the loss of intervention of the waters of the Momposina Depression, causing floods and droughts issues that are increasing by the climate change in our times. Along the way, we found some enigmas such as the man-habitat relationship; indications: a favorable zone for the settlement of great cultures; suspicions: high knowledge and adaptation to the territory restrictions, the area as a likely great spiritual temple, the Zenú channels as a current management alternative; conjectures: high hydraulic knowledge of the Zenúes, more manageable area with channels than without them, engineering strategy to control the current rate of floods and droughts; and therefore we arrive at the approach of an "abductive hypothesis": how the understanding of the ancient system of channels and dikes of the Zenúes, their recovery, and improvement, would mean a strategy before the climate change adaptation by allowing the control of floods and droughts?

Key words: abductive hypothesis; climate change adaptation; hydraulic system, Mompos Depression; Zenú culture; Zenú dug channels

*Autor de correspondencia: anibal.olmos@udea.edu.co

Editor: César Tamaris -Turizo

Recibido: 10 de mayo de 2021

Aceptado: 22 de marzo de 2022

Publicación en línea: 20 de mayo de 2022

Citar como: Olmos-Severiche, C.A., González-Agudelo, E.M., Vélez-Macías, F.J. y Aguirre-Ramírez, N.J. 2022. Los canales Zenúes en Colombia: un desaparecido en el territorio y un desconocido en el bolsillo. Intropica 17(1): 133-146. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.4052>.

El hecho sorprendente de los zenúes

Hechos sorprendentes nos rodean, y muchas veces no los percibimos. Nos inquieta en este caso el que emana de la megaobra que el pueblo zenú configuró en la zona que habitaron y que, a pesar de la gran capacidad de control hidráulico que alcanzaron con ella, desapareció del territorio, lo cual supuso la pérdida en el manejo de las aguas en este lugar, habitado hasta nuestros tiempos. Este artículo está escrito bajo los parámetros de un investigación cualitativa con enfoque hermenéutico, cuya hipótesis es de carácter abductivo, basada en el campo de la semiología en tanto ciencia de los signos. En tal medida, se van leyendo imágenes como iconos, de donde emergen enigmas, indicios, sospechas y conjeturas para llegar a plantear una hipótesis. Toda esta gama de signos se analizan a partir de las relaciones interdisciplinarias con antropología, ingeniería, limnología y ambiente, en el contexto de la cultura Zenú. Así reiteramos la importancia histórica que los zenúes y sus canales han tenido para la costa Caribe colombiana, cuya población afronta de forma directa los efectos del cambio climático. Los zenúes tienen mucho que enseñarnos sobre este

proceso adaptativo, y nos ofrecen de forma indirecta una alternativa de mitigación a los efectos hidroclimáticos que cada vez toman más fuerza.

El objetivo de este escrito es reflexionar en torno a esta cultura colombiana, su historia, su forma de interactuar con el entorno, las amenazas naturales y humanas que enfrentaron, la pérdida de su legado histórico y los esfuerzos por recuperar su memoria histórica. Asimismo, se insiste en la importancia de entender y recuperar prácticas ancestrales que brindan una alternativa para afrontar el cambio climático que también ellos experimentaron.

En el desarrollo del texto contrastaremos la obra zenú con obras similares de otras latitudes, recogeremos las diferentes teorías sobre la organización de esta cultura; y valoraremos los esfuerzos estatales por rescatar su memoria histórica. El camino abductivo inicia con el análisis del hecho sorprendente que emana de la cultura Zenú y nos llevará hasta la hipótesis relacionada con el legado de este pueblo. Iniciamos con la interpretación semiológica de un icono, que representa el modo de vida zenú (figura 1).

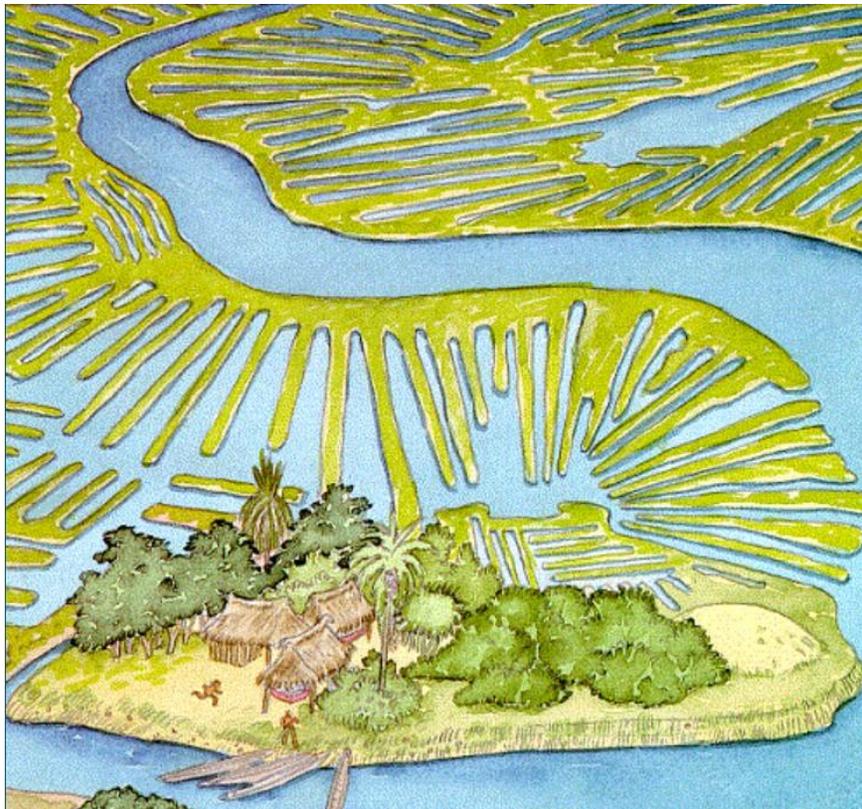


Figura 1. Icono de los canales ancestrales zenúes en la depresión Momposina colombiana. Fuente: Cultura10 (2018).

En el icono de los canales zenúes (figura 1) vislumbramos un ambiente claramente acuático, en el que contrastan los colores verdes y azules. El icono se presenta en una especie de "vista de pájaro", permitiendo así la observación de varios planos, con diferentes elementos evocadores. Atravesando los tres planos, se destaca una corriente principal que sigue un curso sinuoso y un territorio con muchos canales de diferentes longitudes pero mucho más rectos que el canal principal, como si se tratase de un peine. Observamos también entre el segundo y tercer plano del icono un cuerpo de agua en la parte superior derecha con bordes irregulares, y algunos canales también en sus orillas.

A primera vista sorprende la especie de rastrillado del territorio arriba mencionado, que se prolonga desde el primer hasta el tercer plano y que deja entrever una clara intervención, pues la distribución que siguen los canales es por demás premeditada, con patrones algunas veces perpendiculares y otras veces paralelos, e incluso radiales (en una especie de abanico de canales). Es de destacar que solo en el caso de la distribución radial, los canales se conectan con el cuerpo de agua principal que serpentea la zona, y en el resto de los casos, deja un margen entre dicha corriente y el surco, en una especie de dique.

Siguiendo con la descripción de los planos del icono, encontramos en el primero de ellos una especie de isla o plataforma, formada por el entramado de canales, y que se eleva un poco con respecto a la lámina de agua del cuerpo principal, según la representación de los bordes, que parecen ser más escarpados que el resto del terreno. En dicho secano, se destaca la presencia de vegetación mucho más densa que en los demás planos del icono, quizá como una muestra de los árboles maderables y frutales que se establecen en cercanías a los poblados humanos, simbolizados a su vez por tres casas con techos palmados. Hay palmeras, que sobresalen de los arbustos, con menor talla. Se ven árboles con tronco maderable en los alrededores de las casas, quizá garantizando provisión alimentaria, refugio de los rayos solares, y un microclima con temperaturas más bajas que las que dominan el trópico en el que se asentaron estas comunidades.

Siguiendo con la vegetación de esta porción de tierra, encontramos a la derecha unos arbustos más bajos y espesos, y finalizamos con un montículo de tierra, quizá extraída de los canales que se excavaron, o más bien una zona de secados de productos cultivados, o simplemente una zona sin vegetación. Por último, vemos algunos de los canales del segundo plano, muy cerca de esta isla, representando quizá estanques para abastecimiento de agua o para cría de peces.

En el mismo islote encontramos una representación de un asentamiento humano. De las tres casas de palma que se mencionaban anteriormente, una se cerca con paredes de troncos delgados (tipo junco) ubicados en serie, quizá bahareque, y las otras dos no tienen paredes. Se destaca además la presencia de lo que parecen ser hamacas colgadas entre los troncos que levantan su techo (denominados horcones). Se agregaron al menos dos figuras antropomorfas, al parecer desnudas, con una piel mestiza, una de las cuales al parecer corre, y la otra está en una zona cercana, donde se encuentran cuatro canoas atracadas en la orilla más próxima a las casas. De esta forma se representa el medio de transporte que prima en un ambiente tan acuático como el que se observa.

La figura 1, aunque sencilla, es capaz de introducirnos perfectamente en el contexto cultural de una de las comunidades ancestrales colombianas. Este ícono representa la gran obra de ingeniería hidráulica de los indígenas zenúes (o sinúes), en la Depresión Momposina colombiana. ¿Dónde? ¿Quiénes? ¿Qué? ¿Cómo? Resolvamos estos interrogantes que nos asaltan y, a través de la obra, acerquémonos a sus autores.

Comencemos: la Depresión Momposina es un gran complejo de humedales de carácter regional ubicado en la costa Caribe (norte) de Colombia, en la zona central de la planicie inundable del sistema de los ríos Magdalena-Cauca (los más importantes del centro de Colombia), y de los ríos San Jorge y Cesar, en una especie de "delta interior" que acumula los sedimentos que son arrastrados desde las montañas de los Andes. Se encuentra entre los N 8°13'0.00"-9°47'0.00" y los W 73°34'1.00"-75°24'1.00" (Herrera *et al.*, 2001; Rojas Mora, 2010; Rojas Mora y Montejo Gaitán, 2015). Esta hoya hidrográfica brinda una regulación de caudales de las corrientes mencionadas; manifiesta un carácter pulsátil (expansiones y contracciones de los cuerpos de agua) y, finalmente, brinda soporte vital para un gran número de poblaciones asociadas a dicho complejo desde épocas prehispanicas (García Solano, 2001; Herrera *et al.*, 2001; Departamento Nacional de Planeación, 2012; Jaramillo *et al.*, 2015).

Siguiendo con el análisis de la zona representada en el icono, los humedales presentes allí se asocian a planicies de inundación, que por procesos de subsidencia alcanzan varios metros bajo el nivel del mar y corresponden a zonas planas donde los ríos pueden verter sus aguas, formando complejos cenagosos de diferentes órdenes (Herrera *et al.*, 2001; Jaramillo *et al.*, 2015). Así, las diversas corrientes de agua que nutren esta

llanura inundable aumentan sus aportes de agua y sedimentos durante épocas de lluvias (o de rebalse), generando cambios y migraciones laterales y longitudinales de los cauces, caños y canales, y anegan todas las tierras bajas sobre las que el líquido puede verter y almacenarse (Castaño Uribe *et al.*, 2003). Estas ciénagas, caños y lagunas son lugares contiguos de acumulación conectados a través de caños, donde el agua tiene “un flujo bidireccional, de entrada y salida, según la dinámica hidrológica” (Jaramillo *et al.*, 2015). La Depresión Momposina tiene a su vez en la zona occidental una subregión establecida administrativamente y denominada “La Mojana”.

Como se intuye, esta zona no es para nada estática, sino que posee un fuerte carácter dinámico en el que, durante un mismo año, puede haber grandes planicies o, en su defecto, profundas ciénagas. Surge aquí un enigma de la relación hombre-hábitat: ¿cómo es posible que se pueda habitar un lugar sometido a este vaivén físico y que una cultura pueda “florecer” allí?

Surge un indicio frente a este enigma: la comunidad aborígen asentada en la zona entre los siglos I y IX d. C. pudo controlar el ritmo de inundaciones y sequías al que se ve sometida esta geografía, y demostró con ello que no solo es posible habitar la Depresión Momposina, sino que este también parece ser un territorio capaz de sostener, en armónico equilibrio, una cultura estable sin mayor disturbio, algo que, viéndolo a la luz de hoy, suena mucho más difícil. La sospecha que aparece tras un indicio como ese es que, para que todo esto haya sido posible, tenía que haber un enorme conocimiento del territorio que se habita, y una grandísima adaptación a él en lo físico, lo económico, lo político y lo religioso; todo eso, según lo que se aprecia en el icono de la figura 1.

¿Quiénes lo hicieron posible? Los protagonistas de tal proeza fueron los indígenas zenúes, pueblo nativo asentado en la costa norte colombiana desde épocas precolombinas, y que en la actualidad se constituye en el segundo grupo con mayor población, después de los wayúu (Ministerio de Cultura, 2005; Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2019). La gran y ancestral civilización Zenú se asentó en los valles y laderas de los ríos Sinú (cuenca vecina de la Depresión Momposina y de donde toma su nombre), San Jorge, Nechí y Cauca (en la mencionada Depresión Momposina), así como en el litoral del mar Caribe, en jurisdicción de los actuales departamentos de Córdoba, Sucre y Antioquia (Plazas *et al.*, 1988; Ministerio de Cultura, 2005; Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2019; Solar Requeme, 2019).

Los antiguos zenúes habitaron esta gran región, rica en recursos hídricos, entre los siglos I a. C. y XII d. C., y según algunos

investigadores su civilización floreció entre los siglos V y IX d. C., con hasta 103 poblados activos, extendiendo su dominio a tal punto que poseían subregiones con denominaciones particulares y consideradas como verdaderos reinos: Panzenú (a orillas del río San Jorge, en el corazón de la Depresión Momposina), Finzenú (en la sabana y a orillas del río Sinú), y Zenufaná (a orillas del río Cauca) (Plazas y Falchetti, 1982; Plazas *et al.*, 1988; Turbay Ceballos, 1993; Falchetti, 2009; Cultura10, 2018; Museo Arqueológico de Sucre Manuel Huertas Vergara, 2019). Los modos de vida de cada reino, dominado por un cacique hombre o mujer, eran asociados a los recursos que poseían allí. De este modo, la tejeduría y la cestería fueron los fuertes de los finzenúes; la agricultura y la pesca, los de los panzenúes, y la orfebrería, el de los zenufanaes (Plazas y Falchetti, 1986; Turbay Ceballos, 1993; Ministerio de Cultura, 2005; Falchetti, 2009). Los finzenúes son aún hoy los fabricantes de uno de los grandes símbolos de su cultura tradicional e insignia de Colombia ante el mundo: el sombrero vueltiao (Ministerio de Cultura, 2005). La distribución territorial prehispánica de estos cacicazgos se observa en la figura 2.

Según algunos autores, los tres cacicazgos anteriores conformaban el Gran Zenú, compartían manifestaciones culturales e intercambiaban recursos para el sostenimiento de dichas poblaciones (Plazas y Falchetti, 1986; Turbay Ceballos, 1993; Ministerio de Cultura, 2005; Falchetti, 2009; Cultura10, 2018). Otros autores, sin embargo, rebaten la concepción del Gran Zenú como organización sociopolítica centralizada: Rojas Mora (2008, 2010, 2017), después de realizar estudios en una subregión de la zona habitada por los panzenúes, encontró patrones de distribución espacio-temporal y gestión del poder posiblemente atribuibles a una forma descentralizada y heterarquizada del poder, así como patrones de población menores a los estimados, aunque con lógicas étnicas comunes (Rojas Mora, 2008, 2010, 2017).

Además de la lógica étnica común, los zenúes antiguos y presentes poseen una cosmogonía y mitología compartida que gira en torno al agua, a la que asocian figuras como los “encantos”: los “chimpines” de los arroyos (duendes), las setas, los chumpos y los mohanes, que viven o se asocian con cuerpos de agua y fenómenos hidrológicos (Turbay Ceballos, 1993; Ministerio de Cultura, 2005). Para los zenúes, los encantos pueden tomar figuras humanas o de animales, habitan en lagunas y manantiales, y se asocian a fenómenos de la naturaleza (tempestades, cielos nublados, truenos, etc.), enfermedades, los cultivos, la caza, desapariciones e incluso a muertes (Turbay Ceballos, 1993).

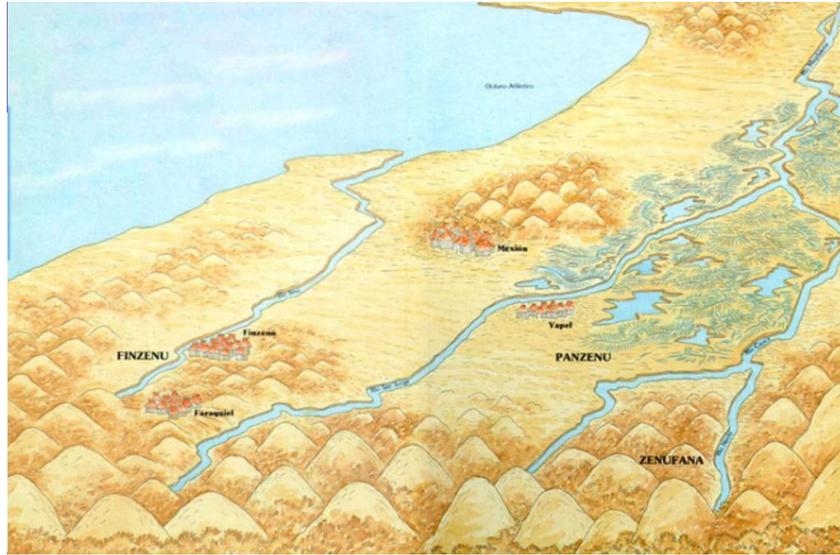


Figura 2. Distribución de las provincias o reinos zenúes. Fuente: Museo Arqueológico de Sucre Huertas-Vergara (2019).

Aún hoy sobreviven figuras míticas que representan a los pobladores que viven entre el agua y la tierra en esta zona de inundación (hombre anfibio), como son el “hombre-hicotea” de la región de La Mojana, y el “hombre-caimán” de Plato, Magdalena, en el occidente y al norte de la Depresión Momposina, respectivamente (Turbay Ceballos, 1993; McRae, 2015).

El pueblo zenú enfrentó desde la Conquista los saqueos, los incendios, los despojos, las enfermedades importadas, la pérdida de su lengua tradicional, la desaparición de su sistema organizacional, el establecimiento de la institución de la Encomienda, etc. En consecuencia, se vio reducido a resguardos con una población diezmada en comparación con sus épocas doradas, y frente a problemáticas contra las cuales aún hoy luchan sus descendientes: el hacinamiento, la dispersión, la violencia y la pérdida de tierras y de su identidad cultural (Ministerio de Cultura, 2005; Cultura10, 2018; Museo Arqueológico de Sucre Manuel Huertas Vergara, 2019). Con el fin de rescatar la memoria histórica de este pueblo, el Estado de Colombia consideró en 2004 a la cultura zenú como patrimonio de la Nación (Congreso de la República de Colombia, 2004).

Auge y declive de la megaobra zenú

¿Qué fue entonces lo que hicieron los zenúes precolombinos para habitar la Depresión Momposina? Los indígenas zenúes, particularmente los que se agrupaban en el cacicazgo Panzenú, fueron artífices de la obra de ingeniería hidráulica más grande de la Colombia prehispánica y una de las mayores del continente entero. Los zenúes manejaron hidráulicamente una importante zona de la Depresión Momposina, especialmente al

sur de la subregión de La Mojana (Plazas y Falchetti, 1986; Plazas *et al.*, 1988; Mann, 2006; McRae, 2015).

Cómo fue que los zenúes lograron tal proeza? Desarrollando un complejo sistema de canales hidráulicos (como el que se observa en la figura 1) para establecerse en zonas que aseguraran su subsistencia, tal como lo hicieron de forma casi simultánea otras culturas indígenas dentro y fuera de Colombia (Mann, 2006). Así pues, sistemas ancestrales de canales, campos elevados, montículos, plataformas y otras estructuras hidráulicas han sido encontrados en muchos países latinoamericanos en las últimas décadas, entre los que están México (los aztecas con sus chinampas en los lagos mexicanos), Belice (los mayas), Guatemala, Panamá (en la región de Gran Coclé), Venezuela (en la región de la Orinoquia), Bolivia (los tiahuanacos en el sur del lago Titicaca y los mojos en la llanura de Beni), Ecuador (en la cuenca del Guayas, en La Sierra e incluso en zonas de Quito), Brasil (en límites de la llanura beniana, y en los estados de Amapá y Mato Grosso), Perú (en el valle de Casma), Guyana, Guyana Francesa, Surinam, Argentina (los huarpes en el valle de Zonda) y varias regiones de la misma Colombia (sabana de Bogotá, Orinoquia, Tumaco, en el departamento de Nariño, los ríos León y Atrato, en el golfo de Urabá de los departamentos de Chocó y Antioquia, y el gran sistema zenú) (Coloquio Internacional de Agricultura Prehispánica: Sistemas Basados en el Drenaje y en la Elevación de los Suelos Cultivados, 2006; Mann, 2006; Damiani y García, 2011; Posada-Restrepo *et al.*, 2019). Es particularmente interesante el hecho de que se encontraran vestigios de este tipo de estructuras hidráulicas, algunas similares entre sí, diseminadas por algunas regiones del continente americano

antes de la llegada de los españoles, diseñadas por culturas que nunca tuvieron vínculos aparentes.

Al sistema de los canales zenúes se le conoce también como patrón de caños. Estos tuvieron incluso carácter dinámico (según la posición relativa de los cuerpos de agua), distribuidos en forma de espina de pescado o ajedrezados, con diferentes órdenes de longitud y ancho, perpendiculares a las corrientes y ciénagas en torno a las que se establecían. De este modo se creó una especie de abanico, con canales separados por montículos o camellones que convergían en un punto (Plazas y Falchetti, 1982; Plazas *et al.*, 1988; Falchetti, 2009; Jaramillo *et al.*, 2015; McRae, 2015). Los conductos que excavaron los indígenas precolombinos en esta zona de sedimentos llegaron a tener hasta 4 km de extensión, 4 m de alto y 10 m de separación entre ellos, y se conectaban a canales naturales, o de menor diámetro, para el riego de cultivos (Plazas y Falchetti, 1982; Plazas *et al.*,

1988; McRae, 2015). En relación con lo dicho anteriormente sobre la mitología acuática de los zenúes y esta gran obra de ingeniería, surgen más sospechas: ¿serían los canales zenúes un gran templo a las deidades y espíritus en los que creía esta cultura? ¿Era la naturaleza un templo vivo para los zenúes? ¿Duendes, mohanes y encantos inspirarían en algún momento el trazado de este sistema de drenaje?

Había dos grupos de canales: los de la zona de los caños El Tigre, El Espino y Aguas Prietas, en la cuenca del río Sinú al occidente, con 150,000 ha, y otro mayor, en el corazón de la Depresión Momposina, de hasta 500,000 ha, con un sistema de camellones, canales, plataformas para viviendas (erigidas con la tierra extraída de los canales) y túmulos funerarios (Plazas *et al.*, 1988; Falchetti, 2009; Rojas Mora, 2010; Lemos, 2012). La ubicación de estos dos grupos de canales se observa en la figura 3.

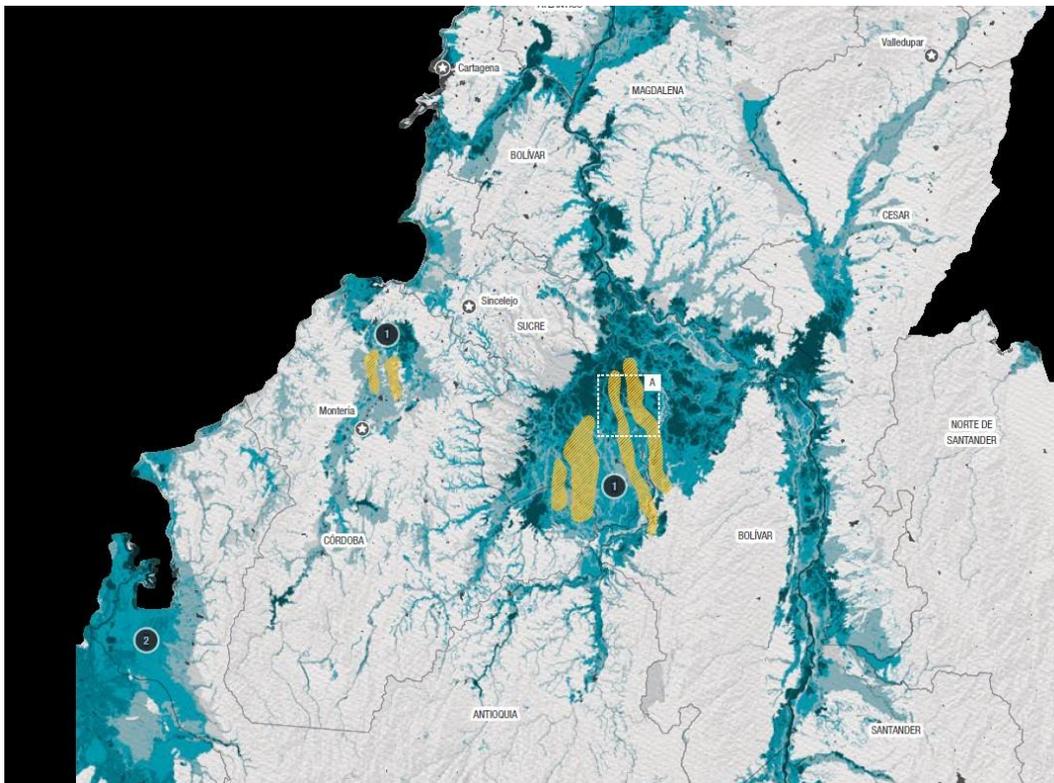


Figura 3. Zonas de canales zenúes, en amarillo. Fuente: modificado de Jaramillo *et al.* (2015).

INTROPICA

El objetivo de la obra zenú era asegurar el drenaje del agua que inundaba históricamente la zona durante la época de lluvias (en el caso de los perpendiculares), y garantizar la humedad de las zanjas del terreno en la época seca, facilitando el establecimiento de cultivos en el interior de estos sitios abonados por los sedimentos. Las viviendas se establecían en la

parte superior de las plataformas que se configuraban alrededor de estas zonas de terreno adaptadas (en el caso de los ajedrezados) (Plazas y Falchetti, 1982; Rojas Mora, 2010; Lemos, 2012).

El sistema de canales les permitió a los zenúes no solo desarrollar cultivos y establecer estanques para peces, como se

observa en el icono inicial de la figura 1, sino que les facilitó los entierros de sus muertos, en el interior de los canalones, siguiendo un rito funerario particular, acompañados de sus productos de orfebrería y quedando resguardados de las aguas (Plazas y Falchetti, 1982; Falchetti, 2009). La de los zenúes fue una verdadera "cultura anfibia" donde se sincronizó el desarrollo cultural con los pulsos de la naturaleza, en un verdadero latir hidráulico (figura 4) (Departamento Nacional de Planeación, 2012; Jaramillo *et al.*, 2015; McRae, 2015). Para Rojas Mora (2017), las modificaciones del paisaje encontradas corresponderían a diversos grupos zenúes dispersos en el

territorio, a manera de pequeñas unidades campesinas, pero que tendrían una visión de este, compartiendo una lógica étnica de su manejo y control. Así, su obra constituyó una unidad de paisaje común para la región que habitaron, si bien no correspondería a un poder centralizado que movilizara la mano de obra para su construcción. En este punto surge una conjetura: presumimos el grandísimo conocimiento hidráulico que poseían los zenúes, pues aun cuando no estuvieran organizados con modelos centralistas, asumieron desde las regiones que habitaban el rol de modificar el territorio y les arrebataron tal poder a las aguas.

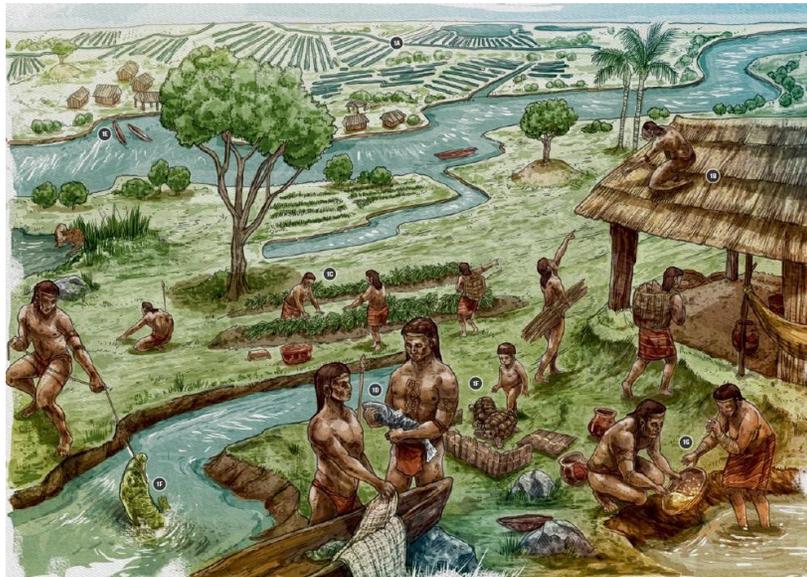


Figura 4. "Cultura anfibia" de los zenúes. Fuente: modificado de Jaramillo *et al.* (2015).

Sin embargo, los vaivenes de la naturaleza, que los propios zenúes dominaron, forzaron el abandono de una porción importante de la hoya momposina. Así, inundaciones por encima de la media, que anegaron por completo la zona más baja de la Depresión Momposina después del siglo X, y posteriores sequías extremas en los siglos XII y XIV, registradas en varias partes del continente, provocaron un abandono paulatino de la obra hidráulica y de la zona misma por parte de los panzenúes, pues con el desecamiento ya no proveía de suficientes alimentos a la otrora civilización floreciente (Plazas y Falchetti, 1986; Bernal y Orjuela, 1992; Mann, 2006; Falchetti, 2009; McRae, 2015).

Se hallaron evidencias de épocas posteriores a la salida de los zenúes que dan cuenta del ingreso de una comunidad indígena desde el norte de la Depresión Momposina (relacionada con los malibúes), que aunque llegarían a emplear la zona para cultivo, no tenían la misma interacción hidráulica con el territorio: los

canales comenzaron a perderse (parecido a lo ocurrido con los de los moxos y los sirionós en la actual frontera de Bolivia y Brasil) (Plazas y Falchetti, 1986; Plazas *et al.*, 1988; Bernal y Orjuela, 1992; Rodríguez Cuenca y Rodríguez Ramírez, 2002; Mann, 2006; Rojas Mora y Montejo Gaitán, 2006). Finalmente, y siglos más tarde, la conquista española desplazó a los pueblos indígenas precolombinos de este territorio, tomando sus riquezas orfebres y eliminando sus poblados (Plazas y Falchetti, 1986; Falchetti, 2009; Lemos, 2012).

Con el abandono de este sistema hidráulico por los zenúes, las corrientes de agua fueron colmatando con sedimentos las zanjas del terreno, y los canales de muchas zonas, especialmente las cercanas a los ríos más dinámicos, se fueron perdiendo, colmatando por los fenómenos de sedimentación y subsidencia que ocurren en la Depresión Momposina (Plazas y Falchetti, 1986; Falchetti, 2009; Lemos, 2012). Surgen más conjeturas sobre esta cultura: ¿Cómo pudo ser que los zenúes

hayan abandonado la zona, aun después de lograr la expansión y la prosperidad de sus poblaciones en la misma? ¿Colapsó la cultura Zenú, incluso antes de la llegada de los españoles? ¿Por qué sus descendientes no rescataron este sistema de drenaje?

Siglos después, en 1966, el geógrafo estadounidense James Persons llamó la atención sobre la alteración del paisaje en la región momposina, evidente desde fotografías aéreas, e hizo conjeturas sobre el origen de este "rastrillado" (Plazas y Falchetti, 1986; Plazas *et al.*, 1988; Rojas Mora y Montejo Gaitán, 2015). Lo que encontraron investigaciones posteriores fue un extenso legado perdido de un gran pueblo que supo vivir en armonía con el paisaje. Sin embargo, muchos de los

descendientes directos de esta comunidad y los mismos habitantes de la región no sabrían responder por qué están esos patrones en el terreno; aún hoy en día tienen una percepción difusa e imprecisa de esta alteración del paisaje que solo relacionan con actividades de gaudería (Pulido Varón y Rojas Mora, 2015). La conjetura principal que surgió de dicho descubrimiento, rastreando las huellas del agua y de los sedimentos, es que, cuando funcionaban los canales, la zona era mucho más manejable hidráulicamente que en la actualidad, y que las fluctuaciones de nivel del agua, por ende, eran menores. Una fotografía de dicha época, sobre la evidencia de estos canales, se observa en la figura 5.



Figura 5. Evidencia en campo de los canales zenúes (sedimento claro), colmatados por sedimentos posteriores (sedimento oscuro). Fuente: Plazas *et al.* (1988).

Los canales zenúes, su construcción, su historia, tipos, utilidad y la posibilidad de su rehabilitación sigue atrayendo la atención del Estado colombiano y de quienes admiran esta gran y ancestral obra de ingeniería hidráulica local.

Las obras hidráulicas de otros pueblos ancestrales

Cuando se propone pensar en los pueblos aborígenes, abordados desde los iconos que los representan, muchos nos remitimos a su memoria histórica tangible: quizás al arte, quizás a su vestimenta y, muy probablemente, a sus obras de ingeniería, que siglos después siguen asombrando y atrayendo, pero sobre todo representando a dichos pueblos. Es así como los colombianos tendemos a traer a nuestra memoria, a través de los iconos, a aquellos grandes pueblos asentados en el valle central de México. Tal vez sean evocados los grupos que se enclavaron en la península de Yucatán y en la selva centroamericana, donde aún se descubren ciudades antiguas

escondidas, preservadas por la naturaleza. Algunos otros compatriotas se remitirán a un vecino más cercano: nuestros hermanos aborígenes que alguna vez florecieron en las montañas andinas de Perú y Bolivia, y que dejaron ciudades y estructuras que muchos visitan y fotografían. Otros pensarán más en lo local, y se decantarán por los hermanos mayores que habitaron la Sierra Nevada de Santa Marta en jurisdicción del departamento de Magdalena, o en el alto valle del río Magdalena en el departamento de Huila y las montañas del departamento de Cauca.

Y es que las civilizaciones prehispánicas arriba evocadas tienen en común haber dejado una huella visible en la historia, un indicio que permite seguir sus huellas, tan útil para nosotros, seres muy visuales y con alta capacidad de asociación (Rojas Mora y Montejo Gaitán, 2015). Todas las estructuras indígenas prehispánicas son iconos que "hablan" (en una comunicación no verbal) de quienes las construyeron. Sospechamos entonces

que la desaparición de estructuras representativas de comunidades indígenas prehispánicas supone un reto para quienes tienden a emplear estos edificios o ciudades como “ganchos de la memoria”, ignorando o descuidando a algunas civilizaciones cuyo legado se perdió en los azares del tiempo.

Por “estructuras prehispánicas” entendemos todas aquellas obras de ingeniería civil, religiosa, militar o hidráulica que se construyeron por parte de las comunidades ancestrales de Centroamérica y Suramérica, antes de la llegada de los colonizadores al territorio continental, y posteriores a su conversión del nomadismo al sedentarismo. Y es que conforme las culturas precolombinas florecían, también aumentaba la calidad de las obras arquitectónicas en las que habitaban, rendían culto a sus divinidades, enterraban a sus muertos y transitaban, o con las que manejaban el territorio en el que se asentaban (especialmente lo referido a obras hidráulicas y manejo de taludes) (Saint-Goban, 2019). Pirámides, templos, fortalezas, palacios, casas, acueductos, puentes, murallas, arcos, túneles, canales, terrazas, terraplenes, tumbas, plazas, calzadas, monolitos, monumentos y otro tipo de obras ingenieriles fueron construidas a lo largo del continente, con un estilo característico según la cultura que se decidía a levantarlas, los materiales disponibles, la zona que habitaban y con su propósito particular asociado (Morán, 2013; Rojas Mora y Montejo Gaitán, 2015; Rojas Mora, 2017). En el imaginario colectivo son iconos de culturas que llevamos como imágenes mentales: Machu Picchu (Perú), Teotihuacán (México), Chichén Itzá (México), Tierradentro (Cauca), San Agustín (Huila) Ciudad Perdida de Santa Marta (Magdalena), Tikal (Guatemala), etc. La supervivencia de muchas de estas estructuras aún en nuestros días, a pesar del paso de los años y los factores ambientales y antrópicos, da cuenta de la calidad de las técnicas y los materiales empleados por estas civilizaciones, y del tecnicismo de los ingenieros precolombinos.

Estas estructuras fueron diseñadas para representar algo, cumplir una funcionalidad específica, y algunas otras sin un propósito final claro. Sin embargo, en cualquiera de los tres casos, son un legado que establece un vínculo entre quienes las realizaron y nosotros: un icono para la posteridad (Rojas Mora y Montejo Gaitán, 2015). Las estructuras precolombinas permanentes o monumentales se distribuyen sobre todo en Mesoamérica y en la parte central andina. Mayas, aztecas, toltecas, incas, mojos, zenúes, tayronas, muiscas, quimbayas, San Agustín y nazcas son algunos de los pueblos que dejaron un legado (indicios) ingenieril importante, que puede ser visitado aún hoy.

Muchas de estas estructuras, como la del pueblo zenú, se diseñaron para interactuar con el agua. Y es que este fluido tiene una cualidad que, si bien pasa inadvertida para muchos, permite la vida en nuestro planeta tal y como la conocemos. Este fluido, como otros, tiene la capacidad de cambiar su forma en estado líquido y adaptarla al recipiente que la contenga, sin alterar su volumen. Dicho en otras palabras, el agua se derrama si no está en un recipiente; e insistimos, aunque parezca muy básico: esta propiedad ha sido fundamental para los organismos vivos y ha hecho posible su aprovechamiento. El ser humano, desde sus orígenes, ha estado ligado a los cuerpos de agua, y aprendió a usarla, almacenarla, transportarla y cambiar su estado para suplir sus necesidades más básicas. El ingenio humano ha dado lugar a la fabricación, construcción y modificación de múltiples herramientas, estructuras y sistemas capaces de llevar a cabo las tareas arriba descritas aprovechando las fuerzas de la naturaleza, como la gravedad, y los cambios de estado, como la evaporación. Tal vez en este momento ya haya algunas imágenes en la mente de estos elementos con funciones hidráulicas, pues algunos muy antiguos sobreviven hasta nuestros tiempos. Las clepsidras, el tornillo de Arquímedes, los sistemas de acueductos romanos, el manejo hidráulico egipcio del río Nilo, los canales del lago Texcoco (México), las lomas de la llanura beniana (Bolivia) o algún otro de los sitios con obras hidráulicas de América, las termas tomanas, los baños públicos griegos, la Fuente de Filipo, las obras de la cultura musulmana como los baños, molinos y fuentes, las acequias de la cultura judía, registradas incluso en la Biblia, etc., son solo algunas de las obras hidráulicas que desde la antigüedad nos maravillan y nos inspiran, y son indicios de sus autores o de las culturas que los concibieron.

La ingeniería hidráulica tiene alto potencial modificador del paisaje y deja una huella en el territorio que se puede “leer”. Su legado pervive hasta hoy como indicio, y es la base sobre la que se sigue aprovechando el recurso hídrico. El indicio de los canales zenúes aún puede verse en el territorio, en una configuración hidráulica que todavía es conocida como “lomillos de indio” por su particular diseño regular, parecido a la forma de las vértebras en espalda de una persona (Lemos, 2012). Sospechamos que, si fue posible en el pasado, puede ser posible en el futuro, y según eso una conjetura: la zona dejaría de inundarse o de sufrir las sequías en los mismos niveles que ponen en riesgo a las comunidades en la actualidad.

En rescate del legado zenú

Después de su redescubrimiento, los canales hidráulicos y la

cultura zenú atrajeron la atención de los colombianos. Así, la particular iconografía de esta cultura ha sido empleada en Colombia en diferentes elementos de circulación nacional. En 1996 el Banco de la República puso en circulación las monedas de 1 000 pesos, acuñadas por la Casa de la Moneda y que poseían el diseño de una orejera de filigrana zenú en una de sus caras, utilizando un diseño del arquitecto Dicken Castro (Banco de la República, 2019).

Más recientemente, y en concordancia con el interés del Estado colombiano por recuperar la memoria histórica de la megaobra acuática zenú, el Banco de la República anunció a finales de 2015 el lanzamiento de una nueva familia de billetes de todas las denominaciones existentes, con la salida de uno de ellos y la entrada de uno nuevo (Banco de la República, 2015). La presentación de los billetes el 30 de junio de 2016 trajo la grata sorpresa de tener paisajes icónicos de nuestra biodiversa nación: el valle de Cocora en el Quindío (billete de 100 000

pesos), la Ciudad Perdida de la Sierra Nevada de Santa Marta (billete de 50.000 pesos), la región amazónica (billete de 10 000 pesos), los páramos colombianos (billete de 5 000 pesos), el caño Cristales en el Meta (billete de 2 000 pesos) y los canales de La Mojana (billete de 20 000 pesos) (Banco de la República, 2015, 2016a, 2016b). Y no solo aparecen los canales dos veces, sino que se incluyeron otros iconos y el símbolo de esta cultura: una orejera de la orfebrería zenú, el fruto del anón, un campesino cargando un mazo de caña de flecha y el producto de la elaboración de este material: el sombrero vueltiao, en cumplimiento de la Ley 0908 de 2004 (por la cual se declara símbolo cultural de la Nación el sombrero vueltiao, y se hace un reconocimiento a la cultura del pueblo zenú asentada en los departamentos de Córdoba y Sucre) (Congreso de la República de Colombia 2004; Banco de la República 2016a). La imagen del billete de 20 000 colombiano se observa en la figura 6..



Figura 6. Billeto de 20.000 pesos colombianos, con el sistema tradicional de control hidráulico de los zenúes, en un diseño artístico inspirado en la ilustración de Nicolás Lozano, así como otros elementos de esta cultura, en el reverso del billete. Fuente: Banco de la República (2016a, 2016b).

Nos detenemos a preguntarnos: ¿conocíamos la megaobra hidráulica que representa el papel moneda que lleva circulando varios años en nuestro país? Quizá muchos respondan que no, lo que sería una muestra más de lo poco que conocemos lo propio. Dice Mario Benedetti: "Si uno conociera lo que tiene con tanta claridad como conoce lo que le falta...", y esto es perfectamente aplicable a nuestro contexto: si conociéramos de los zenúes tanto como conocemos de los griegos, los romanos, los egipcios, los mayas, los aztecas o los incas... Quizá, si esto fuese así, sacaríamos del olvido a este gran pueblo que lucha aún hoy por no desaparecer de nuestra historia ancestral. Una conjetura emerge entre todas las expuestas: aplicando las

técnicas de manejo y control del territorio que les permitieron a los zenúes vivir por cientos de años en un territorio particularmente vulnerable al vaivén de la naturaleza, probablemente las grandes inundaciones como las del fenómeno de la Niña de 2010-2011 dejarían de ser una calamidad social, ni causarían las pérdidas materiales, humanas y naturales, además de una cicatriz mental en todas las comunidades que las vivieron. Pensamos que estamos desaprovechando una oportunidad que fue evidentemente exitosa para los panzenúes y que deberíamos sacar del olvido, pues para ellos una inundación no era una calamidad, sino una ventaja que se traducía en comida: peces, cultivos de regadío,

etc.

Esta opción es reafirmada por expertos en el tema, como los reunidos en el Coloquio Internacional de Agricultura Prehispánica: Sistemas Agrícolas Andinos Basados en el Drenaje y Elevación de los Suelos Cultivados, realizado en Ecuador en 2003 y donde se expuso sobre el sistema de canales zenúes y de los demás ejemplos del continente, haciendo un llamado a su revitalización como reconocimiento a una solución milenaria que permite conservar los paisajes culturales y garantizar la seguridad alimentaria (Coloquio Internacional de Agricultura Prehispánica: Sistemas Agrícolas Basados en el Drenaje y en la Elevación de los Suelos Cultivados, 2006). Para el caso puntual de los canales de la Depresión Momposina, Carlos Castaño, exviceministro del Ministerio de Medio Ambiente de Colombia, afirma que, de rehabilitar camellones y canales zenúes, la Depresión Momposina sería la más productiva del país (Lemos, 2012). En ese mismo sentido, y más recientemente, Teresa Ramírez, miembro del Instituto Hábitat, Ciudad y Territorio de la Universidad Nacional de Colombia, en 2017 aseguró que el sistema hidráulico de los antiguos zenúes evitaría inundaciones en La Mojana (Betín, 2017). Por otro lado, el antropólogo Sneider Rojas-Mora, que ha estudiado ampliamente el tema, insiste en que es importante que las autoridades lean la historia que cuentan las investigaciones científicas sobre esta zona y sus pobladores, que coinciden en sugerir la rehabilitación de los canales mojaneros (Rojas Mora, 2017).

Planteamos en este punto que sería interesante también pensar en que aplicando esas técnicas de manejo de la tierra inundable

de los ríos más importantes del país garantizaríamos la seguridad alimentaria de muchos más compatriotas al hacerles frente a las épocas secas como lo hicieron los zenúes con las zanjias, que mantenían sus cultivos hidratados y abonados durante todo el año. Los zenúes prehispánicos con certeza también enfrentaron el cambio climático como lo hacemos en el presente, pero su ejemplo de adaptación a él es una hoja de ruta por seguir para nosotros, sus descendientes. Esto es relevante en la medida en que las poblaciones asentadas en la zona se vuelven cada vez más vulnerables ante el aumento de la frecuencia y la intensidad de las épocas lluviosas y secas sobre el territorio nacional, a lo que se suman problemas de erosión, deforestación, actividades extractivas y ganaderas, construcción de obras hidráulicas, etc., que generan presiones desiguales en el territorio. Por lo tanto, se hace necesario potenciar la articulación de las comunidades en torno al manejo de las aguas para garantizar su tranquilidad y subsistencia (Pulido Varón y Rojas Mora, 2015; Rojas Mora y Montejó Gaitán, 2015; Betín, 2017).

Una conjetura final aparece: ¿no será que acaso los canales zenúes, como icono, se vuelven cada vez más cercanos a nosotros como una estrategia útil de la ingeniería para tener un mejor control hidráulico de la Depresión Momposina? Aunque ha habido intentos de recuperación de los canales, estos han estado concentrados en áreas confinadas de La Mojana sucreña (Plazas y Falchetti, 1986; Lemos, 2012; McRae, 2015). El estado actual de los canales, vistos en una fotografía aérea, se aprecia en la figura 7



Figura 7. Estado actual de los canales zenúes en La Mojana. Fuente: Ferrando (2016).

La hipótesis abductiva

Finalmente llegamos a la hipótesis abductiva, que logra un diálogo con la pregunta planteada al inicio, ensanchando el fenómeno con su pasado-presente-futuro, por los conceptos que porta y que la construyen (González Agudelo, 2011). La hipótesis abductiva es: ¿cómo la comprensión del sistema tradicional de canales y terraplenes de los zenúes, su recuperación y conservación, se traduciría en una estrategia de adaptación al cambio climático al permitir el control de inundaciones y sequías, y al contribuir con la seguridad alimentaria de la región y del país?

Soluciones del pasado para afrontar el futuro

Sorprende la cantidad de soluciones, técnicas, metodologías, aparatos, obras y conocimientos que aplicamos en el presente a nivel mundial y que han permanecido casi invariables desde su origen ancestral. En Colombia, país enriquecido por la conjunción de culturas diversas en un mismo espacio geográfico, tenemos el caldo de cultivo perfecto para mejorar en el manejo de desafíos que imponen el ambiente y la modernidad. Para el caso del ambiente, los zenúes tienen una propuesta con demostrado éxito en el manejo y control de inundaciones, y que debería ser considerada más a fondo como alternativa para mejorar la relación humano-ambiente que existe en La Mojana, la Depresión Momposina y, ¿por qué no? en el país entero.

Lo anterior es considerado como plausible, pero requiere gran cantidad de esfuerzo institucional, comunitario y científico. Todo ello con el fin de que las comunidades asentadas en la zona Momposina entiendan la dimensión histórica de la alternativa de adaptación; reconozcan a la comunidad Zenú y los beneficios que obtuvieron de la ecorregión que ahora ellos habitan; y accedan finalmente a hacer una transición a este elemento modificador del paisaje. Esta tarea requiere de ingentes esfuerzos en el área ambiental, social, académica, económica, cultural, política, antropológica y etnológica; pero se traduciría en enormes beneficios para un país que destina enormes cantidades de dinero en obras de mitigación que con el tiempo han mostrado ser insuficientes. Hay que volver a escuchar a nuestros ancestros, pues nosotros somos lo que ellos fueron. La hermenéutica, a través del proceso abductivo, facilitará esta tarea.

Agradecimientos

Este artículo es resultado del objetivo específico de la investigación titulada "Variación espacial de los cuerpos de agua

tropicales que conforman la Depresión Momposina colombiana y su relación con la variabilidad hidroclimática entre 1989 y 2019", que reza: "Circular los resultados obtenidos con los tomadores de decisiones y la comunidad de la zona, empleando la herramienta didáctica PRACCIS, basada en la hermenéutica", realizada gracias al asocio entre los grupos GeoLimna y DIDES de las facultades de Ingeniería y Educación de la Universidad de Antioquia. Dicha investigación es financiada por la Beca de Maestría del Fondo de Becas de Maestría de la Universidad de Antioquia. El desarrollo de este artículo de reflexión es también una síntesis, en tanto producto nuevo, del Seminario Complementario I del Doctorado en Educación de la Universidad de Antioquia, dirigido por el grupo de investigación DIDES, titulado "La investigación cualitativa con enfoque hermenéutico".

Referencias

- Banco de la República. 2015. Vídeo nueva familia de billetes a partir de 2016. URL: <https://www.banrep.gov.co/es/video-nueva-familia-billetes>. Consultado: 22 de marzo de 2021.
- Banco de la República. 2016 a. Aprenda a identificar el Billeto de 20.000 pesos Colombianos / Nuevo Billeto de 20mil en Colombia. URL: https://www.youtube.com/watch?v=mt_BZ0okTe8. Consultado: 22 de marzo de 2021.
- Banco de la República. 2016b. Billeto de 20 mil pesos, 5 pasos para reconocerlo. URL: <https://www.banrep.gov.co/es/billeto-20mil-pesos>. Consultado: 22 de marzo de 2021.
- Banco de la República. 2019. Moneda de 1.000 pesos. URL: <https://www.banrep.gov.co/es/contenidos/page/moneda-1000-pesos>. Consultado: 22 de marzo de 2021.
- Bernal, C. y Orjuela, G. 1992. Prospección arqueológica en el municipio de Turbana, departamento de Bolívar, Boletín de Arqueología. *Fundación de Investigaciones Arqueológicas* 3(7): 81.
- Castañón Uribe, C. Riedel Heeg, S., Gómez y Montes Viera, S. 2003. Caripuña o El Bajo Magdalena. En: Banco de Occidente, Editores. El Río Grande de la Magdalena. Banco de Occidente Publicaciones, Cali.
- Coloquio Internacional de Agricultura Prehispánica: Sistemas Basados en el Drenaje y en la Elevación de los Suelos Cultivados. 2006. Agricultura ancestral camellones y albarradas. Contexto social, usos y retos del pasado y del presente. 1a edición, Actas & Memorias-IFEA. 1a edición. En: Valdez, F., Editor, Coloquio Internacional de Agricultura Prehispánica: Sistemas Basados en el Drenaje y en la Elevación de los Suelos Cultivados, Quito.

- Congreso de la República de Colombia. 2004. Ley 908 de 2004. URL: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0908_2004.html. Consultado: 20 de septiembre de 2009.
- Cultura10. 2018. Cultura Zenú. URL: <https://www.cultura10.org/zenu/>. Consultado: 22 de marzo de 2021.
- Damiani, O. y García, A. 2011. El Manejo Indígena Del Agua En San Juan (Argentina): Diseño y Funcionamiento del Sistema de Canales de Zonda. *Multequina* 20: 27-42
- Departamento Nacional de Planeación. 2012. Plan integral de ordenamiento ambiental y desarrollo territorial de la región de La Mojana. Bogotá.
- Falchetti, A. 2009. Cartagena de Indias en el siglo XVI. En: Falchetti, A. Editor. El ocaso del Gran Zenú. Banco de la República, Cartagena.
- Ferrando, T. 2016. Los canales artificiales del río San Jorge. URL: <https://deviajeporcolombia.net/maravillas-de-colombia/los-canales-artificiales-del-rio-san-jorge/>. Consultado: 20 de septiembre de 2019.
- García Solano, L.C. 2001. Región de Mompos: Síntesis de estudios de evaluación ambiental regional para el sector transporte. Subdirección del Medio Ambiente y Gestión Social Instituto Nacional de Vías de Colombia, Medellín.
- González Agudelo, E. 2011. Sobre la experiencia hermenéutica o acerca de otra posibilidad para la construcción del conocimiento. *Discusiones Filosóficas* (18): 125-143.
- Herrera, L. Sarmiento, G., Romero, F., Botero, P.J. y Berrío, J.C. 2001. Evolución Ambiental De La Depresión Momposina (Colombia) Desde El Pleistoceno Tardío a Los Paisajes Actuales. *Geología Colombiana* 26 (26): 95-121.
- Jaramillo, Ú., Cortés-Duque, J. y Flórez-Ayala, C. 2015. *Colombia Anfibia. Un país de humedales. Volumen I*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá.
- Lemos, C. 2012. Zenúes. Los diestros del agua. URL: <https://www.catorce6.com/350-publicaciones/14166-zen%C3%BAes-los-diestros-del-agua>. Consultado: 22 de marzo de 2021.
- Mann, C. C. 2006. 1491: *Una nueva historia de las Américas antes de Colón*. 1a edición. Editado por Santillana Ediciones. Madrid.
- McRae, D. 2015. El hombre hicotea and the ecology of waterscapes in resistencia en el San Jorge. *Tabula Rasa* (23): 79-103. Doi: <https://doi.org/10.25058/20112742.42>.
- Ministerio de Cultura. 2005. Caracterizaciones de los pueblos indígenas de Colombia. Zenú: La gente de la palabra. URL: <http://www.mincultura.gov.co/prensa/noticias/Documents/Poblaciones/PUEBLO ZENÚ.pdf>. Consultado: 22 de marzo de 2021.
- Morán, C.M. 2013. Estructuras de planta circular prehispánicas en El Salvador. *Entorno* (52): 10-23. Doi: <https://doi.org/10.5377/entorno.v0i52.6790>.
- Museo Arqueológico de Sucre Manuel Huertas Vergara. 2019. Museo, Realidad aumentada etnia Zenú, Totó. URL: <http://www.ottsincelejo.com/museoratoto/index.html>. Consultado: 23 de marzo de 2021.
- Plazas, C. y Falchetti, A. 1982. El legendario Zenú. *Boletín Museo del Oro* 12: 20-33.
- Plazas, C. y Falchetti, A. 1986. La cultura del oro y el agua - un proyecto de reconstrucción. *Boletín Cultural y Bibliográfico* 23(6): 57-72.
- Plazas, C., Falcheceti A., Hammen T.V. y Botero P. 1988. Cambios ambientales y desarrollo cultural en el bajo río San Jorge. *Boletín Museo del Oro* 20: 55-88.
- Posada-Restrepo, W., Cadena Duarte, B., González Severiche, C. y Arroyave - Flórez, E. 2019. El sistema de canales y camellones prehispánico del golfo de Urabá, noroccidente de Colombia. Un reporte arqueológico y geográfico preliminar. *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 43(169): 628-637. Doi: <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.856>.
- Pulido Varón, H. y Rojas Mora, S. 2015. Aproximación a las percepciones del paisaje y el territorio en la Depresión Momposina. *Katharsis* (19): 229-249. Doi: <https://doi.org/10.25057/25005731.496>.
- Rodríguez Cuenca, J. y Rodríguez Ramírez, C. 2002. Bioantropología de los restos óseos provenientes de un sitio tardío en el bajo Río Magdalena (El Salado, Salamina, Magdalena). *Maguaré* 234 (15): 9.
- Rojas Mora, S. 2008. Acerca de la complejidad social y sus referentes en el escenario del bajo río San Jorge (Caribe colombiano). *Boletín de Antropología* 22(39): 271-294.
- Rojas Mora, S. 2010. Análisis espacial y patrones de asentamiento en el bajo río San Jorge (Caribe colombiano). *Boletín de Antropología Universidad de Antioquia* 24(41): 283 - 305.

- Rojas Mora, S. 2017. Ingeniería prehispánica en la Depresión Momposina. Una experiencia prehispánica para pensar alternativas al desarrollo. *Agenda Cultural Alma Máter* (241).
- Rojas Mora, S. y Montejó Gaitán, F. 2006. Manejo del espacio y aprovechamiento de recursos en la depresión Momposina Bajo río San Jorge. En: Valdez, F. Editor. *Agricultura Ancestral camellones y albarradas. Contexto social, usos y retos del pasado y presente*. Ediciones Abya Yala, Quito.
- Rojas Mora, S. y Montejó Gaitán, F. 2015. Análisis espacial del sitio arqueológico San Pedro, ubicado en el bajo río San Jorge, Caribe colombiano. *Revista Colombiana de Antropología* 51(2): 339–363. Doi: <https://doi.org/10.22380/2539472X24>.
- Saint-Goban. 2019. Los aportes de la sorprendente arquitectura prehispánica. URL: <https://www.saint-gobain.com.mx/los-aportes-de-la-sorprendente-arquitectura-prehispanica>. Consultado en: 22 de marzo 2019.
- Solar Requeme, L.A. 2019. El cultivo de maíz como práctica pedagógica para el aprendizaje de operaciones básicas de la matemática, en la comunidad del Delirio, Cauca, Antioquia. Tesis de Pregrado, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Turbay Ceballos, S. 1993. Los encantos: seres sobrenaturales del Bajo Sinú y las sabanas. *Boletín de Antropología* 8(24): 75–94.

GUÍA PARA AUTORES

Intropica es una revista científica de publicación semestral, arbitrada por evaluadores nacionales e internacionales que provee un espacio para la publicación de contribuciones originales e inéditas que estudien e interpreten de manera integrada los ecosistemas tropicales así como los problemas ambientales derivados de la intervención antropogénica sobre el territorio.

La revista *Intropica* está disponible en versión digital con acceso libre (<http://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica>) y en versión impresa (ISSN 1794-161X) la cual se distribuye en bibliotecas especializadas de instituciones académicas, gubernamentales y no gubernamentales.

Envío:

Los manuscritos pueden ingresar al proceso editorial a través de la plataforma Open Journal System de la Revista (<http://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica>) o a través del correo electrónico revistaintropica@unimagdalena.edu.co. La recepción de manuscritos es permanente. En el envío se deberán adjuntar las figuras en archivos independientes y una carta de aprobación de todos los autores, certificando su originalidad y que no ha sido remitida ni se ha publicado en otra revista. En la carta también deberá indicarse el tipo de contribución (artículo, artículo de revisión, artículo de reflexión o nota científica) y dos posibles evaluadores con sus respectivos datos de contacto. Aunque todas las contribuciones estarán sujetas a revisión previa, la responsabilidad por el contenido de las mismas recae sobre los autores y no sobre el editor, el comité editorial o la Universidad del Magdalena. El formato para elaborar esta carta remisoría puede descargarse del sitio de Internet de la Revista.

Tipos de contribuciones:

a) Artículo de investigación científica y tecnológica. Corresponden a resultados completos de estudios realizados sobre las temáticas que aborda la revista. Los manuscritos tendrán un máximo de 30 páginas, incluyendo las tablas y las figuras. El artículo de investigación deberá seguir el siguiente orden: Título, Autor(es), Dirección postal del (de los) autor(es), Resumen, Palabras claves, Abstract, Key words, Introducción, Materiales y Métodos, Resultados, Discusión, Conclusiones (opcional), Agradecimientos (opcional), Referencias, Tabla/s con su/s correspondiente/s leyenda/s, Lista de las leyendas de las figuras. Las figuras deben ser enviadas en archivos independientes en formato gráfico (tif, gif, eps).

b) Artículo de revisión. Se refieren a trabajos de revisión crítica que compilan y resumen adecuadamente el grado de avance o del conocimiento y señalan líneas de investigación a seguir. La extensión máxima del manuscrito será de 40 páginas, incluyendo tablas y figuras. Deben contener al menos 50 referencias bibliográficas. El artículo de revisión puede escribirse en un estilo libre, sin embargo deberá incluir Resumen, Palabras clave, Abstract, Key words, Agradecimientos (opcional) y Referencias.

c) Artículo de reflexión. Presenta la perspectiva del autor, fundamentada en literatura científica, como aporte al conocimiento de los temas propios de la revista. Los manuscritos tendrán un máximo de 30 páginas, incluyendo las tablas y las figuras. Se deberá incluir Resumen, Palabras clave, Abstract, Key words, Agradecimientos (opcional) y Referencias.

d) Nota científica. Son descripciones breves de investigaciones limitadas, procedimientos experimentales, operaciones técnicas o aplicadas. En cualquier caso, tienen que ser completamente documentadas, con referencia a la literatura, e indicando los procedimientos experimentales empleados. El manuscrito puede ocupar un máximo de 10 páginas, incluyendo las tablas y las figuras. La Nota científica no debe llevar subtítulos pero sí Resumen, Palabras clave, Abstract y Key words, Agradecimientos (opcional) y Referencias.

Procedimiento de evaluación/arbitraje de los manuscritos

Los editores realizarán una primera evaluación del manuscrito, conceptuando la pertinencia e idoneidad del mismo y lo someterán al proceso de arbitraje doble ciego de por lo menos dos especialistas nacionales (preferiblemente ajenos a la institución editora) o internacionales sobre el tema. En caso de controversia entre los evaluadores se recurrirá a un tercero. Estos especialistas actuarán como revisores del manuscrito, emitirán su concepto y podrán realizar recomendaciones o solicitar aclaraciones en un tiempo máximo de un mes. Posteriormente, las sugerencias de los editores y revisores serán comunicadas a los autores, quienes tendrán un plazo de un mes para responder dichas sugerencias. En caso contrario, el manuscrito será dado de baja y de ser remitido nuevamente se iniciará el proceso editorial desde el principio con un nuevo arbitraje. Los editores tomarán la decisión final de aceptar o no los manuscritos para su publicación. Para estas tareas los editores podrán apoyarse en el comité editorial, cuando así lo estimen pertinente.

Previo a la impresión final de los manuscritos aceptados para publicación, los editores enviarán las pruebas de galera al autor de correspondencia para que efectúe correcciones por errores de digitación únicamente. No se permiten mayores cambios o adiciones al manuscrito editado en esta fase. En caso de comprobación de plagio o de violación de derechos de autor, los editores ordenarán cancelar el proceso editorial. Para mayor información consulte la guía de ética y buenas prácticas editoriales: <http://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/about/editorialPolicies#custom-3>.

Formato del manuscrito:

El texto se debe enviar como documento en formato Word o RTF con un nombre corto que identifique al manuscrito y al primer autor (e.g. Hifomicetos_López.doc). El texto debe estar interlineado a doble espacio y numeradas las líneas a lo largo del texto (incluyendo tablas), con letra Times New Roman de 12 puntos y con todos los márgenes de 2 cm. Se aceptan manuscritos en español o en inglés. Las páginas deben numerarse consecutivamente. Las tablas se incluirán en formato tabla (no pegarlas como imagen) al final del texto del manuscrito. Las figuras no deben incluirse en el documento del manuscrito.

Para los nombres científicos y las locuciones latinas se utilizará cursiva. No incluya palabras subrayadas ni sangrías. En el caso de citar un taxón de nivel específico o inferior, se debe citar su nombre científico incluyendo el autor. Tanto los autores como los editores se guiarán por las reglas que gobiernan la nomenclatura biológica, de acuerdo a lo acordado en el “International Code of Botanical Nomenclature”, en el “International Code of Nomenclature of Bacteria” y en el “International Code of Zoological Nomenclature”. Se enfatiza que el autor del nombre y el año de publicación de cada taxón sólo deberán aparecer una vez, la primera vez que se mencione.

1. Título. Claro, descriptivo y no demasiado largo. Se solicita en español e inglés. El título del trabajo y los títulos de las secciones principales del manuscrito debe ubicarse en posición central y en mayúsculas; los títulos de segundo rango deben ubicarse en posición central en minúsculas y los de tercer rango alineado a la izquierda. Todos los títulos y subtítulos deben ir en negrita. Adicionalmente, debe suministrarse un título abreviado de máximo 80 caracteres incluyendo espacios.

2. Nombre(s) del (de los) Autor(es). Los nombres se deben escribir en mayúsculas y minúsculas. En el caso de varios autores, el primer nombre debe ser el del autor principal.

3. Dirección del (de los) autor(es). Se deberá anotar institución a la que pertenecen, dirección postal y teléfono de todos los autores. Se deberá agregar el correo electrónico para correspondencia.

4. Resumen y Abstract. Deberá escribirse un resumen en español y otro en inglés. En ambos casos, no deberá exceder las 300 palabras. El resumen debe contener de manera sintética los objetivos del trabajo, una descripción concisa de la parte experimental (incluyendo los tamaños de muestra), principales resultados y conclusiones generadas en el proceso de discusión de los mismos. En el resumen, no se debe incluir referencias bibliográficas y debe escribirse en un solo párrafo. El Abstract debe ser una traducción fiel del Resumen.

5. Palabras clave y Key words. Después del Resumen y del Abstract, deberán incluirse en español e inglés, respectivamente, 3 a 6 palabras clave que identifiquen el manuscrito.

6. Introducción. Se debe presentar una revisión actualizada de la bibliografía pertinente al trabajo (fuentes adecuadamente referenciadas), para fundamentar la hipótesis de trabajo y mostrar el o los objetivos propuestos.

7. Materiales y Métodos. Se deberá incluir, en forma clara y concisa, los principales materiales, así como también los métodos aplicados, de modo que, con esa información, otro investigador pudiese repetir la experiencia. Pueden utilizarse apartados diferentes bajo subtítulos adecuados. No debe describirse un método si ya está descrito en la bibliografía; basta con presentar la cita bibliográfica. Si utiliza un método modificado, debe señalarse claramente la modificación.

8. Resultados. Los resultados deben presentarse en forma clara y precisa, incluyendo tablas, figuras y, en caso necesario, análisis estadísticos.

9. Discusión. Los resultados deben ser contrastados con el conocimiento registrado en la literatura, destacando el aporte del artículo para el entendimiento del tema tratado. Las conclusiones que se extraigan del trabajo deberán ser consecuentes y relacionadas con los resultados expuestos.

10. Agradecimientos. De ser considerado necesario por los autores, se puede incluir algún agradecimiento por contribuciones económicas, asesorías, donaciones u otro tipo de colaboración que haya hecho posible el trabajo.

11. Referencias. Se debe listar la información completa de todas las referencias bibliográficas, las cuáles serán ordenadas alfabéticamente por el apellido del primer autor de cada cita del documento. La exactitud de las referencias bibliográficas es responsabilidad de los autores. *Intropica* utiliza el sistema Harvard de citación. Es necesario tener en cuenta el siguiente estilo de escritura:

- Debe revisarse cuidadosamente el manuscrito para verificar que el deletreado de los nombres de los autores y el año sean exactamente iguales en el texto y en la lista de referencias.
- En el texto se debe referir al (los) apellido(s) del (los) autor(es) y al año de publicación. Por ejemplo, "Rodríguez (1998) encontró que.....". "Una técnica multinomial ha sido descrita para estimar la varianza asociada con proporciones (Kent y Lane, 2004)".
- Cuando en el texto se citan publicaciones escritas por más de dos autores, se escribirá el nombre del primer autor seguido por "et al." sin cursiva. En la Bibliografía deben mencionarse los nombres de todos los autores.

- Si hay varios trabajos de un autor(es) en un mismo año, se citará con una letra en secuencia adosada al año (ejemplo: García et al., 1998a, b, c).
- Las citas en una misma frase del texto deben ser ordenadas cronológicamente. Por ejemplo, “Los indicadores biológicos son ampliamente usados para análisis ambientales (Platt, 1964; Arias y Pérez, 1980; Klimm et al., 2000)”.
- El nombre de las revistas científicas debe estar completo, no abreviado y en cursiva.
- El título de las referencias debe conservar el idioma original.
- Referencias concernientes a datos no publicados (doc. ined.) y “comunicaciones personales” (com. pers.) no deben ser incluidas en la lista de referencias pero si pueden ser citados en el texto.

Use el siguiente formato en la Bibliografía para citar las referencias:

- Publicaciones periódicas o revistas:

Pérez, R., Condit, R., Aguilar, S., Hernández, A. y Villareal, A. 1996. Inventario de la vegetación de la isla de Coiba, Panamá: Composición Florística. *Revista de Biología Tropical* 44: 31-40.

Cubides-Guerrero, P.A. y Ramírez-Franco, J.H. 2014. Adsorción de Cr VI sobre residuos de café. *Revista Mutis* 4(2): 18-25 <http://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/953/992>. Consultado: 2 de enero de 2015

- Libros:

Longhurst, A. y Pauly, D. 1987. *Ecology of tropical oceans*. Academic Press, San Diego.

- Capítulos de libro:

Bucker, D. 1989. Histology. En: Austri, D., Editor. *Methods for the Microbiological Examination of Fish and Shellfish*. Wiley, New York.

- Tesis:

Gil, A. 2000. Evolución bioquímica de los endosimbiontes en insectos asociados con el maíz en el sur de México. Tesis de Doctorado, Universidad Agrícola, Mérida, Yucatán, México.

- Sitios de Internet:

Alexander, J. y M.A. Tate. 2001. *Evaluando las Fuentes Electrónicas*. Widener University. URL: <http://www2.widener.edu/Wolfgram-MemorialLibrary/webevaluation/webeval.htm>. Consultado: 9 de octubre 2012.

12. Tablas

- Deben elaborarse en procesador de tablas de MS Word o MS Excel con la misma fuente y un punto menos que la del texto. No utilice la barra espaciadora o la tecla de tabulación.
- Las tablas deberán ser numeradas y citadas de acuerdo a su secuencia en el texto, en orden correlativo con números arábigos y llevarán una leyenda descriptiva y breve en la parte superior, que será la referencia

de la tabla. Se recomienda que la leyenda sea clara e informativa, de manera que se evite consultar el texto para entender la tabla.

- Las tablas pueden ser insertadas en el cuerpo del manuscrito o al final del mismo.
- La información presentada en las tablas no debe aparecer repetida en las figuras.
- Los encabezados de las columnas deben ser breves, pero explicativos. Usar negrillas solo en los encabezados (horizontales y verticales). Las abreviaturas estándar de las unidades de medida deben colocarse entre paréntesis.
- No deben usarse líneas verticales y horizontales para separar las columnas y filas. Las celdas no llevarán colores.
- Cualquier explicación adicional para el entendimiento de la tabla debe suministrarse como una nota de pie de tabla.
- En el cuerpo de la tabla, la información de texto debe alinearse la izquierda y la numérica a la derecha.

13. Lista de las leyendas de las figuras

- Al final del texto del documento y en hoja aparte se hará una lista con el texto de las leyendas de las figuras.
- No deben utilizarse negrillas y se acentuarán tanto las minúsculas como las mayúsculas.
- Se recomienda que las leyendas sean informativas para que el lector no necesite consultar el texto para entender lo que muestra la figura.
- Se recomienda que las explicaciones o las descripciones que se consideran necesarias se escriban en la misma leyenda para evitar texto dentro de las figuras.

14. Figuras

- Las figuras (dibujos, mapas, láminas, esquemas, gráficas de computador y fotografías) deben ser enviadas en archivos independientes, en formato digital gráfico de alta calidad (tiff, bmp, jpg o gif), con una resolución mínima de 300 dpi. De ser posible, se recomienda enviar archivos gráficos originales de tipo vectorial o en su defecto remitir el archivo original editable en MS Excel.
- El nombre del archivo correspondiente a la figura será el del primer autor seguido por el número de la figura, e.g. López fig.1.jpg.
- Las figuras se enumerarán secuencialmente, utilizando números arábigos.
- Las figuras deben diseñarse teniendo en cuenta el formato de la página de la revista. Su tamaño original debe permitir una reducción del 50 %, sin pérdida de claridad.
- Las figuras compuestas de varias imágenes, se enumerarán correlativamente ej. Figura 1a, 1b, 1c, etc. Los dibujos, fotografías de especímenes y mapas deben tener una escala para referenciar el tamaño.
- Los gráficos deben presentarse en un solo plano (No utilizar efectos 3D), sin líneas horizontales y con recuadro en su parte exterior.
- Use la misma clase de letra (Times New Roman) en todas las ilustraciones y siga el estilo de la revista. Utilice el tamaño de letra que considere necesario para asegurar la lectura del texto, aún en caso de reducción.

15. Anexos

- Los anexos solo estarán visibles en la versión digital de la revistas y éstos se listarán al final del manuscrito de forma secuencial (numerados como ANEXO I, ANEXO II, etc.). El formato de los anexos deben seguir los mismos lineamientos descritos anteriormente para las figuras y/o tablas, según sea el caso.

16. Unidades

Las medidas se deben expresar en unidades del sistema métrico decimal; se deja un espacio entre el número y la unidad de medida y no debe ir punto después de la abreviatura (15 m, 10 %, 20 °C, 7 kg). Las unidades de medidas abreviadas únicamente deben ser usadas cuando van anteceditas de números. Los valores de salinidad deben expresarse sin unidades o símbolos.

17. Fórmulas

- Las ecuaciones matemáticas deben escribirse como texto editable y no como imágenes.
- Dé el significado de todos los símbolos inmediatamente después de la ecuación en la que son usados por primera vez.
- Para fracciones simples use el símbolo “/” en lugar de la línea horizontal; por ejemplo: Sy/Xm en lugar de $\frac{Sy}{Xm}$
- Las ecuaciones explícitamente referenciadas en el texto deben numerarse consecutivamente al lado derecho, entre paréntesis.
- El nivel de significancia estadística debe indicarse con la letra “p” minúscula y sin espacio entre el signo y el valor de significancia. Ejemplo: $p < 0,05$.

18. Cifras decimales

En lo que respecta a las cifras decimales, se deberá usar coma (,) en el caso de las contribuciones redactadas en español y punto (.) en aquellas redactadas en inglés.

Lista de comprobación de preparación de envíos

Como parte del proceso de envío, se les requiere a los autores que indiquen que su envío cumpla con todos los siguientes elementos:

1. El manuscrito no ha sido publicado previamente, ni se ha presentado a otra revista.
2. El archivo está en formato OpenOffice, Microsoft Word, RTF, o WordPerfect.
3. El texto tiene interlineado doble; el tamaño de fuente es 12 puntos; se usa cursiva en vez de subrayado y todas las tablas están al final del texto. Las figuras están en archivos aparte en los formatos apropiados.
4. El texto cumple con los requisitos bibliográficos y de estilo indicados en las instrucciones para los autores, que se pueden encontrar en Acerca de la revista. (Ver: <http://intropica.unimagdalena.edu.co>)
5. Se han añadido direcciones web para las referencias donde ha sido posible.

Derechos de Autor

Intropica de la Universidad del Magdalena se encuentra bajo licencia Creative Commons 4.0 de Colombia: Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual. Cuando el autor cite el trabajo de otro o reproduzca una figura o una tabla de un libro o un artículo de revista, debe asegurarse que no está violando derechos de producción.

Aunque en general un autor puede reproducir tablas, fotografías u otras ilustraciones deberá obtener permiso del propietario de los derechos. Si el propietario de los derechos no es el autor del material citado o reproducido, se recomienda obtener también el permiso del autor. El material extraído de cartas y manuscritos no publicados no

será aceptado a menos que se obtenga el permiso correspondiente. El autor siempre debe hacer un reconocimiento apropiado de cualquier material que le sea suministrado.

Declaración de privacidad

Los nombres y direcciones de correo-e introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines declarados por esta revista y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.

