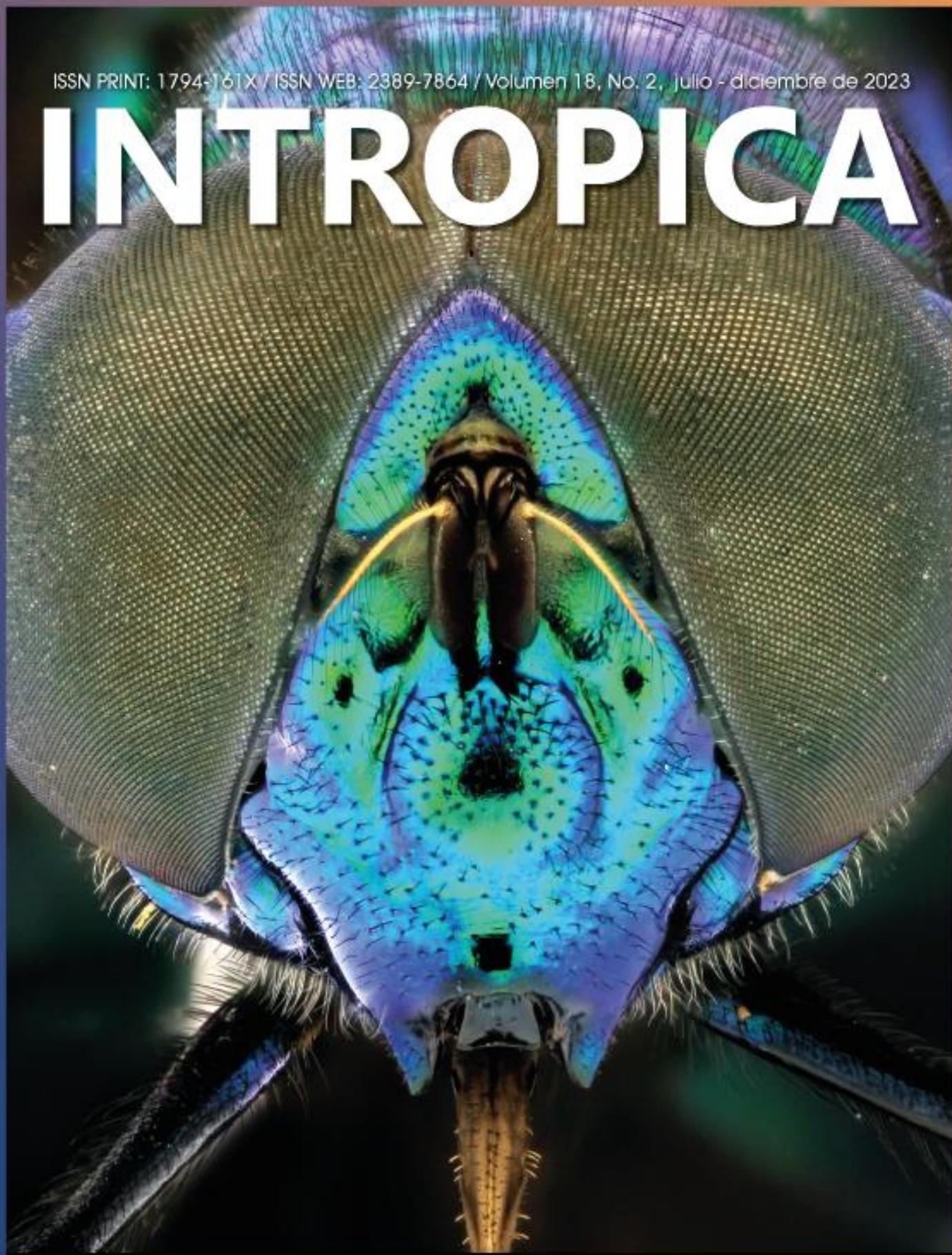


ISSN PRINT: 1794-161X / ISSN WEB: 2389-7864 / Volumen 18, No. 2, julio - diciembre de 2023

# INTROPICA



**INTROPICA**

# INTROPICA



---

*Publicación seriada*  
*Volumen 18, No. 2*  
*Julio - diciembre de 2023*  
*ISSN: 1794-161X - ISSN WEB: 2389-7864*  
*Santa Marta - Colombia*

---

# INTROPICA

**Volumen 18, No. 2 julio - diciembre 2023**

**/ 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**

Juan Carlos Narvaéz- Barandica, Universidad del Magdalena, Colombia

## **COMITÉ EDITORIAL**

Cesar Tamaris Turizo -Universidad del Magdalena, Colombia  
Saeko Gaitán-Universidad del Magdalena, Colombia  
Luis Manjarrés-Universidad del Magdalena, Colombia  
Pablo Gutiérrez-University of Puerto Rico Río Piedras, Puerto Rico  
Gladys Reinoso-Universidad del Tolima, Colombia  
Ernesto Otero-Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico  
Fernando Alzate-Universidad de Antioquia, Colombia  
Jairo Altamar-Universidad del Magdalena, Colombia  
Rosa Cerros-Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México  
Jose Carmelo Murillo-Universidad Nacional de Colombia, Colombia  
Gabriel Navas-Universidad de Cartagena, Colombia  
Carlos Iregui-Universidad Nacional de Colombia, Colombia  
Víctor Macías-Universidad del Magdalena, Colombia  
Carlos López-Universidad Técnica de Manabí, Ecuador  
María del Carmen Zúñiga-Universidad del Valle, Colombia  
Reinhard Schnetter - Universidad de Giessen, Alemania  
Jaiber J. Solano-Iguaran, Instituto de Fomento Pesquero  
Sergio Losada - Universidad del Tolima, Colombia  
Jorge Maldonado - Universidad de Los Andes, Colombia  
Francisco Guerrero - University of Wisconsin,, Estados Unidos  
Karim Erzini -Universidade Do Algarve, Portugal  
Juan Gutiérrez - Universidad de Huelva, España  
Mónica Lugo - Universidad Nacional de San Luis, Argentina  
Eduardo Domínguez - Instituto de Biodiversidad Neotropical (IBN), CONICET  
Carlos Molineri - Instituto de Biodiversidad Neotropical (IBN), CONICET  
Carlos García- Alzate- Universidad del Atlántico  
Florenci V. Gonzalez Adelantado -Universitat Jaume I  
Daniel Castañeda-Valbuena, Universidad de Chiapas  
Lennin Florez-Leiva, Universidad de Antioquia  
Nancy Yolimar Suárez-Mozo, Universidad Nacional Autónoma de México  
Brian Effer, Universidad de La Frontera  
Víctor Atencio-García, Universidad de Córdoba  
Juan Diego Gaitán-Espitia, University of Hong Kong  
Julián F. Quintero-Galvis, Universidad Austral de Chile  
Ana Carolina Torregroza Espinosa, Universidad de la Costa  
Alejandro Martínez García, Water Research Institute  
Juan Esteban Uribe, Museo Nacional de Ciencias Naturales

## **GESTOR EDITORIAL**

Ana Milena Lagos Universidad del Magdalena, Colombia

## **CORRECTOR DE ESTILO**

Juan Mikán

## **REVISIÓN DE IDIOMAS**

Gran Caribe, Pensamiento, Cultura, Literatura - Colombia

## **DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN**

Andrés Felipe Moreno Toro - Universidad del Magdalena, Colombia

## **FOTOGRAFÍA - IMAGEN - ILUSTRACIÓN DE PORTADA**

Páramo, autor Diana Lozano Zafra

## 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](mailto: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**

**Noel Antonio González Valdivia**  
Tecnológico Nacional de México

**Juliana Zuluaga Carrero**  
Universidad Nacional de Colombia

**Eliana Ximena Narvaez Parra**  
Universidad de Santander

**Jorge Alberto Luna Fontalvo**  
Universidad del Magdalena  
Universidad Austral de Chile

**Jennifer C. Girón**  
Museum of Texas Tech University

**Jorge Ari Noriega**  
Universidad El Bosque

**Arturo González**  
Universidade Federal de Mato Grosso

**Orlando Padilla**  
Corporación Autónoma Regional del Centro de  
Antioquia - CORANTIOQUIA

**Heimo Mikkola**  
Eastern Finland University

**Jesus Ballesteros Correa**  
Universidad de Córdoba

**Carolina Montes Cortés**  
Universidad Externado de Colombia

**Gloia E. Sánchez**  
Universidad de Magallanes

**Carolina Bustamante Gil**  
Tecnológico de Antioquia

**Mario Hernán Londoño Mesa**  
Universidad de Antioquia

**Oscar Díaz**  
Instituto Oceanográfico de Venezuela

**Juan Laverde**  
Universidad Jorge Tadeo Lozano

**Efren Insuasty Santacruz**  
Universidad de Nariño

**Paula Sepulveda Cano**  
Universidad del Magdalena

**Guillermo Funes**  
Consejo Nacional de Investigaciones  
Científicas y Técnicas (CONICET)

**Ana María Osorio Guzmán**  
Pontificia Universidade Católica do Paraná

## Contenido - Contents

---

### Artículo de investigación científica y tecnológica

#### **Aves en el área de importancia ecológica Madre de Agua del suroccidente de Bogotá, Colombia**

Birds in the area of ecological importance Madre de Agua southwest of Bogotá, Colombia

*Sergio Andres Torres-Ariza, Alicia Gil-T*.....131

#### **Diversidad de hifomicetos acuáticos en la cabecera de la quebrada Grande, estado Miranda, Venezuela**

Aquatic hyphomycetes from headwaters of the Grande stream, state Miranda, Venezuela

*Rafael Fernandez Da Silva, Gunta Smits Briedis* .....142

#### **Generación de imágenes digitales de alta resolución de artrópodos: soluciones pensadas para colecciones en Latinoamérica**

Generation of high-resolution digital images of arthropods: solutions designed for Latin American collections

*Camilo Flórez Valencia, Juliana Cardona Duque, Larry Jiménez* .....153

#### **Escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae, Aphodiinae) en una zona urbana del Caribe colombiano**

Dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae, Aphodiinae) in an urban area of the Colombian Caribbean Coast

*Carlos Sermeño-Correa, Carlos Taboada y Carlos Taboada*.....183

#### **Uso de hábitats del autillo de Santa Marta (Megascops gilesi) en el sector San Lorenzo, Sierra Nevada de Santa Marta**

Habitat use of the Santa Marta scops owl (Megascops gilesi) in the San Lorenzo sector, Sierra Nevada de Santa Marta

*Jorge Luis Gutiérrez-Guillén, Guido Riccardo Spinelli Giorgi, Diana Patricia Tamaris* ..... 192

### Artículo de revisión

#### **Análisis comparativo de la gestión ambiental urbana en Cartagena, Santa Marta y Barranquilla en 2020**

Comparative analysis of urban environmental management in Cartagena, Santa Marta and Barranquilla in 2020

*Samantha Yepes-Zabaleta, Javid Dovaes*.....208

### Nota científica

**Primer registro de Peridinium gatunense Nygaard 1925 (Dinophyceae: Peridiniales) en humedales del Caribe colombiano: ampliación geográfica en Colombia**

First record of Peridinium gatunense Nygaard 1925 (Dinophyceae: Peridiniales) in wetlands of the Colombian Caribbean: geographical expansion in Colombia

*Martha Judith Mogollón Arismendy, Ana Méndez Páez, Carlos Nisperuza Pérez, Efraín Hernández*

*Buevas*.....226

**Abundancia y distribución de familias de poliquetos (Annelida: Polychaeta) asociados a sustratos artificiales en la bahía de Cartagena, Caribe Colombiano**

Abundance and distribution of families of polychaetes (Annelida: Polychaeta) associated with artificial substrates in the bay of Cartagena, Colombian Caribbean

*Tatiana Marin Amado y Liseth Johana Arregocés Silva* .....232

**Melissopalynología en mieles de origen apícola comercializadas en Bucaramanga, Santander**

Melissopalynology in honeys of beekeeping origin commercialized in Bucaramanga, Santander

*Alberto Castellanos Riveros, Eliécer Pineda Ballesteros, Freddy Reynaldo Téllez Acuña*

.....239

## Aves en el área de importancia ecológica Madre de Agua del suroccidente de Bogotá, Colombia

## Birds in the area of ecological importance Madre de Agua southwest of Bogotá, Colombia

Sergio Torres-Ariza <sup>1\*</sup>  y Alicia Gil-T <sup>2</sup> 

1. Universidad Militar Nueva Granada, Sede Cajicá, Cundinamarca, Colombia
2. Investigador independiente, Boyacá, Colombia

### Resumen

El proceso de densificación y desarrollo urbano conduce a la degradación y fragmentación de los ecosistemas internos y periféricos dentro de las ciudades. La zona suroccidental de Bogotá se destaca como una de las más densamente pobladas, con una muy baja proporción de espacios verdes y árboles per cápita. A pesar de este fenómeno, un área de importancia ecológica conocida como Madre de Agua subsiste en medio del paisaje urbano. Este ambiente contiene una amplia gama de características, que incluyen una cobertura forestal, un relicto de humedal, zonas de árboles aislados y la ronda del río Fucha, todos situados a una altitud de 2 550 m. Con el fin de comprender la importancia ecológica del ecosistema, se elaboró un inventario que permitió evaluar la riqueza de especies de aves y de especies de interés para la conservación. Entre febrero de 2018 y diciembre de 2021, se realizaron transectos de observación, recorridos pedagógicos de ciencia ciudadana y registros incidentales que dieron como resultado un total de 80 especies de aves identificadas. Este conjunto de datos destaca la notable diversidad de aves en el área de estudio, que representa alrededor de un tercio de la avifauna reportada en la sabana de Bogotá. En particular, los hallazgos abarcan tres especies casi endémicas, cuatro especies con categoría de amenaza y 33 especies migratorias. Un registro significativo fue la observación de una subespecie de *Ixobrychus exilis*, endémica del altiplano cundiboyacense y clasificada en peligro crítico (CR), que no había sido registrada dentro de la ciudad desde 1995. Este estudio ofrece información valiosa que puede ayudar a las estrategias de gestión ambiental en Bogotá, mejorando las iniciativas de la capital para la conservación de la biodiversidad.

**Palabras clave:** inventario de aves; conservación de ecosistemas; paisaje urbano; ciencia ciudadana

### Abstract

The process of urban densification and development leads to the degradation and fragmentation of internal and peripheral ecosystems within cities. The southwest region of Bogotá stands out as one of the most densely populated areas, characterized by a notably low ratio of green spaces and trees per capita. Despite this phenomenon, an ecologically significant area known as Madre de Agua persists in the midst of this urban landscape. This environment comprises a diverse range of features, including forest cover, remnants of wetlands, isolated tree zones, and the Fucha riverbank, all situated at an altitude of 2 550 m. To understand the ecological significance of this region, an inventory was conducted to assess the bird species richness and species of conservation interest. Between February 2018 and December 2021, we conducted observation transects, organized citizen science educational tours, and compiled incidental records, resulting in the reporting of 80 bird species. This dataset highlights the site's remarkable specific bird diversity within the city, representing approximately one-third of the avifauna reported in the Bogotá savannah. Notably, our records encompass three near-endemic species, four threatened species, and 33 migratory species. An especially significant finding was the observation of a subspecies of *Ixobrychus exilis*, which is endemic to the Cundiboyacense high plateau and classified as critically endangered (CR), which had not been documented. Remarkably, this subspecies had not been documented within the city since 1995. This study provides valuable insights that can inform environmental management strategies in Bogotá, thus enhancing the city's efforts toward biodiversity conservation.

**Key words:** bird inventory; ecosystems conservation; urban landscape; citizen science

\*Autor de correspondencia: [sergio.torres.ariza@gmail.com](mailto:sergio.torres.ariza@gmail.com)

Editor: Sergio Losada Prado

Recibido: 21 de octubre de 2022

Aceptado: 09 de octubre de 2023

Publicación en línea: 07 diciembre de 2023

Citar como: Torres-Ariza, y Gil-T, A. (2023) Aves en el área de importancia ecológica Madre de Agua del suroccidente de Bogotá, Colombia. *Intropica*, 18(2): 131-141.

<https://doi.org/10.21676/23897864.4895>.



## Introducción

La expansión y la densificación de los asentamientos urbanos fomentan problemáticas ambientales como la desaparición de coberturas vegetales o, en su defecto, la fragmentación y reducción de sus tamaños, lo que disminuye considerablemente la diversidad de aves en zonas de alta urbanización (Tovar, 2019). En Colombia, la mitad de la población humana está asentada en la región andina (Murad, 2003), y en Bogotá, como ciudad capital, estos procesos de crecimiento urbano son mayores (Alfonso, 2022).

El suroccidente de Bogotá, en particular, es la zona más densamente poblada (Secretaría Distrital de Planeación, 2020), con déficit de áreas verdes y de arbolado (Scopelliti *et al.*, 2016) como consecuencia de las actividades de construcción sobre los ecosistemas andinos originales (García-Ubaque *et al.*, 2020). Pese a ello, algunas coberturas vegetales subsisten y se configuran como áreas con alta potencialidad para la conservación de la biodiversidad en el interior de la ciudad (Cortés, 2018). Tal es el caso de Madre de Agua, el área de importancia ecológica evaluada en este estudio y ubicada en dicho sector de la capital.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es determinar la riqueza de avifauna y de especies de interés para la conservación presentes en el área de estudio, con el fin de proporcionar información base para la ordenación territorial que promueva la persistencia de ecosistemas para la conservación de la biodiversidad en zonas densamente urbanizadas de Bogotá.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El área de importancia ecológica está ubicada al suroccidente de Bogotá, en la localidad de Kennedy, dentro de una matriz altamente urbanizada ( $4^{\circ}38'15,76''$  N,  $74^{\circ}7'42,74''$  W), a una altitud de 2 550 m. Está conformada por una cobertura forestal mixta con especies nativas denominada por la comunidad como Bosque Bavaria, un relicto de humedal, áreas de pastos arbolados y la ronda del río Fucha, que en conjunto abarcan un área total de 90 ha aproximadamente (figura 1). Al occidente se encuentran dos reservas distritales de humedal: Techo, a 0,8 km de distancia, y El Burro, a 1,3 km.



Figura 1. Área de importancia ecológica Madre de Agua.

La plantación forestal fue establecida sin fines comerciales hace aproximadamente 40 años como parte de una estrategia de mitigación de impactos ambientales de una antigua fábrica cervecera. Su tamaño aproximado es de 35 ha, con escasas prácticas silviculturales, y está dominada principalmente por *Eucalyptus globulus*. Esta especie forma una estructura con

diferentes estratos de vegetación —un dosel (entre 20-28 m) y un sotobosque (entre 1-6 m aproximadamente) — junto a otras como *Acacia melanoxylon*, *Fraxinus uhdei*, *Baccharis latifolia*, *Pittosporum undulatum*, *Cupressus lusitanica*, *Eugenia myrtifolia*, *Tecoma stans* y *Baccharis micrantha*.

El relicto de humedal se ubica al costado norte de la cobertura

forestal. El ecosistema original de esta zona era parte del meandro del río Fucha conocido como humedal La Chamicera (Velandia, 1983). La transformación generada por las edificaciones dejó un relicto que la ciudadanía nombró como Madre de Agua, con áreas de árboles aislados en medio de pasto *Cenchrus clandestinum* y una cobertura de juncos *Cyperus alternifolius*, *Cyperus papyrus*, *Blysmus rufus*, *Eleocharis acicularis*, *Eleocharis dombeyana* y *Carex* sp. (cortadera).

Finalmente, el área de pastos arbolados se extiende a lo largo de senderos peatonales, parques vecinales y zonas pertenecientes a la ronda del río Fucha que fue intervenida por procesos de revegetalización ecológica (Chaparro-Herrera y Camargo-Martínez, 2017). El río se encuentra canalizado con revestimiento en concreto.

Entre febrero de 2018 y diciembre de 2021 los autores realizaron 28 transectos de observación con ancho variable a lo largo de las diferentes coberturas vegetales del área de importancia ecológica, entre las 6:00 y las 8:00 de la mañana, a una velocidad promedio de 1 km/h (Villareal *et al.*, 2004). Se tomaron datos de fecha, coordenadas, horario del recorrido, especies y número de individuos.

Además, la lista de especies se complementó con 16 recorridos pedagógicos enfocados en ciencia ciudadana en horarios de la tarde y de la mañana, con asistencia promedio de cuatro personas, en los cuales siempre estuvo presente alguno de los autores (Silvertown, 2009) y que tuvieron una duración de alrededor de hora y media. También se hicieron registros incidentales a partir de observaciones oportunistas en diferentes horas del día y de la noche (Hussell y Ralph, 1998).

Entre los transectos y los recorridos pedagógicos se compiló un total de 84 horas de observación y se recorrieron indistintamente las diferentes coberturas vegetales a campo traviesa. Cabe aclarar que, debido a que no se pudo tener acceso al predio privado en donde se encuentra la cobertura forestal, los registros en este caso se realizaron desde la parte externa, con un margen de observación de aproximadamente 30 m desde el borde hacia el interior del ecosistema.

En los métodos de registro mencionados se utilizaron binoculares 8 x 42 y capturas fotográficas y auditivas. Para identificar a las especies se tomaron como referencia las guías de Ayerbe (2019) y Hilty y Brown (2009). En cuanto a la información sonora, se contempló la base de datos de la

fundación Xenocanto (xeno-canto.org), y para la taxonomía se tuvo en cuenta la base de datos de la *South American Classification Committee* (SACC.)

La representatividad del muestreo para los transectos y los recorridos pedagógicos se evaluó con estimadores no paramétricos usando la página iNext ([http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software\\_download/in-ext-online/](http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/in-ext-online/)).

Las especies de interés para la conservación se determinaron teniendo en cuenta los libros rojos de Colombia (Renjifo *et al.*, 2014, 2016), la Resolución 1912 de 2017 y las bases de datos de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por su sigla en inglés: iucnredlist.org). De igual forma se consideraron los listados de especies con endemismo de Chaparro-Herrera *et al.* (2013) y los de especies migratorias de Chaparro-Herrera y Ochoa (2015), Echeverry-Galvis *et al.* (2022) y Naranjo y Amaya (2009). También se categorizaron las aves en función de su dieta según la compilación de Stiles y Rosselli (1998) y Hilty y Brown (2009) para clasificarlas en los siguientes grupos: insectos e invertebrados pequeños (IP), insectos, invertebrados grandes y vertebrados muy pequeños (IV), vertebrados más grandes (V), carroña (C), frutos (F), semillas (S) y néctar (N).

## Resultados

Se hicieron, en suma, 816 registros (2 140 individuos) de 80 especies que pertenecen a 12 órdenes y 27 familias. Del total de especies, 44 fueron registradas en los transectos de observación, y las otras 36 se adicionaron con los recorridos pedagógicos y los registros incidentales (tabla 1). El orden de los Passeriformes es el mejor representado, con 47 especies y 13 familias, seguido de los Apodiformes. Las cuatro familias mejor representadas fueron Tyrannidae con 12 especies (15 %), Parulidae con 8 (10 %), Trochilidae y Thraupidae con 7 (8,7 %) cada una, Icteridae con 5 (6,2 %), y Accipitridae y Strigidae, cada una con 4 (4,9 %). Las especies más abundantes fueron *Zenaida auriculata*, *Turdus fuscater*, *Zonotrichia capensis*, *Spinus psaltria*, *Colibri coruscans*, *Tyrannus melancholicus* y *Spinus spinescens*, en ese orden, con más de 100 individuos cada una.

Teniendo en cuenta los estimadores no paramétricos, para el método de transectos de observación se alcanzó un valor de estimación de cobertura del muestreo del 0,99. Para los recorridos pedagógicos, este dato fue del 0,97 (figura 2).

## Aves en el área de importancia ecológica madre de agua

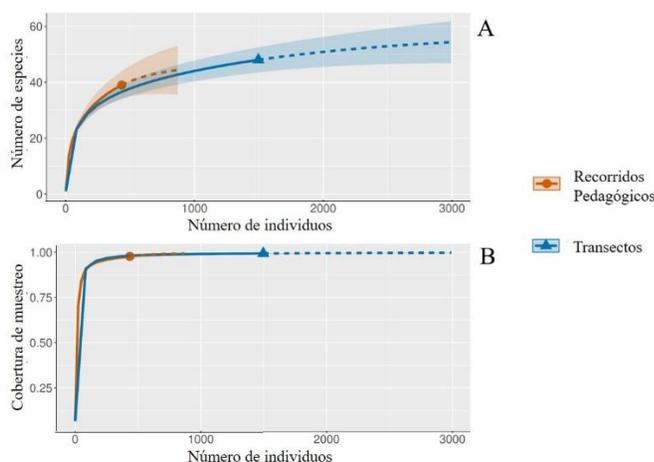


Figura 2. Curvas de rarefacción y extrapolación de las especies de aves registradas en el área de importancia ecológica Madre de Agua: A) tamaño de la muestra por método; B) cobertura de los muestreos por método.

Las especies registradas con interés para la conservación (tabla 1) fueron *Setophaga cerulea*, en categoría vulnerable (VU), y otras tres casi amenazadas (NT) (IUCN, 2022; Renjifo *et al.*, 2014). Asimismo, *Chaetocercus heliodor*, *Eriocnemis cupreiventris* y *Spinus spinescens* tienen distribución casi endémica (Chaparro-Herrera *et al.*, 2013). También se identificó una subespecie de *Ixobrychus exilis* con distribución endémica en el altiplano cundiboyacense (Stiles *et al.*, 2000) y en estado crítico de amenaza (Renjifo *et al.*, 2016).

Finalmente, se reportaron 33 especies con comportamiento migratorio (tabla 1); entre ellas, *Contopus virens*, *Tyrannus tyrannus*, *Tyrannus savana*, *Piranga rubra*, *Vireo olivaceus* y *Piranga olivacea* fueron, en ese orden, las de mayor abundancia.

Con respecto a los grupos de dieta, las especies que se alimentan de insectos e invertebrados pequeños (IP) predominan con amplio margen sobre aquellas que se alimentan de frutas (F) y de vertebrados más grandes (V), que fueron las siguientes en orden descendente (figura 3).

Tabla 1. Lista de especies de aves registradas en el corredor biológico Madre de Agua. (R) Residente, (M) Migratoria; (R) Residente, (M) Migratoria. \* = Distribución endémica o casi endémica según Hilty y Brown (2009) o Chaparro-Herrera *et al.* (2013). \* = Distribución endémica o casi endémica según Hilty y Brown (2009) o Chaparro-Herrera *et al.* (2013). – = Con categoría de amenaza según los libros rojos de aves de Colombia (Renjifo *et al.*, 2014, 2016), Resolución 1912 de 2017 o IUCN. Grupos de dieta: insectos e invertebrados pequeños (IP), insectos, invertebrados grandes y vertebrados muy pequeños (IV), vertebrados más grandes (V), carroña (C), frutos (F), semillas (S) y néctar (N).

Familia	Especie	Transectos	Recorridos pedagógicos	Incidental	Grupos de dieta (Stiles y Rosselli, 1998)
Columbidae	<i>Columba livia</i> (R)	71	20		S
	<i>Zenaida auriculata</i> (R)	235	72		S
Cuculidae	<i>Coccyzus americanus</i> (M)	2		4	IP
Caprimulgidae	<i>Chordeiles minor</i> (M)			3	IP
	<i>Systerulla longirostris</i> (R)			2	IP
Trochilidae	<i>Chaetocercus heliodor</i> (R)*			1	N - IP
	<i>Chaetocercus mulsant</i> (R)	6			N - IP
	<i>Colibri coruscans</i> (R)	102	25		N - IP
	<i>Colibri cyanotus</i> (R)			1	N - IP
	<i>Ensifera ensifera</i> (M)			1	N - IP
	<i>Eriocnemis cupreiventris</i> (R)*		2		N - IP
	<i>Eriocnemis vestita</i> (R)	2	2		N - IP
Rallidae	<i>Porphyrio martinicus</i> (M)			1	S

Familia	Especie	Transectos	Recorridos pedagógicos	Incidental	Grupos de dieta (Stiles y Rosselli, 1998)
Charadriidae	<i>Vanellus chilensis</i> (M)	23	3		IP - IV
Scolopacidae	<i>Tringa solitaria</i> (M)			1	IP
Ardeidae	<i>Bubulcus ibis</i> (R)	1		1	IV
Threskiornithidae	<i>Butorides striata</i> (R)	1			IV
	<i>Ixobrychus exilis</i> (R)			1	IV
	<i>Phimosus infuscatus</i> (R)			1	IP
Cathartidae	<i>Cathartes aura</i> (M)			1	C
	<i>Coragyps atratus</i> (R)	46	15		C
Accipitridae	<i>Buteo brachyurus</i> (R)			1	V
	<i>Buteo platypterus</i> (M)	2		3	V
	<i>Elanus leucurus</i> (R)	5	2	9	V
	<i>Rupornis magnirostris</i> (R)	23	7	2	V
Strigidae	<i>Asio clamator</i> (R)			4	V
	<i>Asio flammeus</i> (R)			2	V
	<i>Asio stygius</i> (R)		1	4	V
	<i>Megascops choliba</i> (R)			4	IV
Tytonidae	<i>Tyto alba</i> (R)		1	4	V
Falconidae	<i>Falco peregrinus</i> (M)			1	V
	<i>Falco sparverius</i> (R)			2	V
Tyrannidae	<i>Contopus cooperi</i> (M) <sup>-</sup>	1		1	IP
	<i>Contopus virens</i> (M)	78	12	3	IP
	<i>Elaenia frantzii</i> (R)		1	1	IP - F
	<i>Empidonax</i> sp.			1	IP
	<i>Mecocerculus leucophrys</i> (R)	1		1	IP
	<i>Myiarchus tyrannulus</i> (M)	1			IP - F
	<i>Myiodynastes luteiventris</i> (M)	4	2	2	IP
	<i>Myiodynastes maculatus</i> (M)		1		IP
	<i>Pyrocephalus rubinus</i> (R)	15		1	IP
	<i>Tyrannus melancholicus</i> (R)	86	22	1	IP - F
	<i>Tyrannus savana</i> (M)		37	39	IP - F
	<i>Tyrannus tyrannus</i> (M)	18	39	47	IP - F
Cotingidae	<i>Ampelion rubrocristatus</i> (R)	1			F
Vireonidae	<i>Vireo flavoviridis</i> (M)	1	1		F
	<i>Vireo olivaceus</i> (M)	23	9		F
Hirundinidae	<i>Hirundo rustica</i> (M)			1	IP
	<i>Orochelidon murina</i> (R)	56	2	17	IP
	<i>Progne tapera</i> (M)	6		1	IP
Troglodytidae	<i>Troglodytes aedon</i> (R)	43	4		IP
Turdidae	<i>Catharus ustulatus</i> (M)	7	1	1	IP - F
	<i>Turdus fuscater</i> (R)	130	29		IP - F - IV
Mimidae	<i>Mimus gilvus</i> (R)	12	1		IP - F

Familia	Especie	Transectos	Recorridos pedagógicos	Incidental	Grupos de dieta (Stiles y Rosselli, 1998)
Thraupidae	<i>Diglossa albilatera</i> (R)		2		N - IP
	<i>Diglossa cyanea</i> (R)			1	N - IP
	<i>Diglossa humeralis</i> (R)	2		2	N - IP
	<i>Diglossa sittoides</i> (R)	9	3	1	N - IP
	<i>Sicalis flaveola</i> (R)	5	1	2	S
	<i>Thraupis episcopus</i> (R)	3	4		IP - F
	<i>Thraupis palmarum</i> (M)	16	2	8	IP - F
Emberizidae	<i>Zonotrichia capensis</i> (R)	129	24		S - IP
Cardinalidae	<i>Piranga flava</i> (R)			1	IP - F
	<i>Piranga olivacea</i> (M)	14	14		IP - F
	<i>Piranga rubra</i> (M)	52	13	1	IP - F
Parulidae	<i>Cardellina canadensis</i> (M)			1	IP
	<i>Leiothlypis peregrina</i> (M)			1	IP - F
	<i>Mniotilta varia</i> (M)			1	IP
	<i>Myiothlypis nigrocristata</i> (R)			1	IP
	<i>Setophaga cerulea</i> (M) <sup>-</sup>			4	IP
	<i>Setophaga fusca</i> (M)	15	1	1	IP
	<i>Setophaga petechia</i> (M)	3		1	IP
Icteridae	<i>Setophaga ruticilla</i> (M)	1		2	IP
	<i>Chrysomus icterocephalus</i> (R)			1	S - IP
	<i>Icterus chrysater</i> (R)			1	IP - F
	<i>Molothrus bonariensis</i> (R)	67	8		S - IP
	<i>Quiscalus lugubris</i> (R)			2	IV - F - S
Fringillidae	<i>Sturnella magna</i> (R) <sup>-</sup>			1	S - IP
	<i>Spinus psaltria</i> (R)	92	34	5	S
	<i>Spinus spinescens</i> (R)*	86	18		S

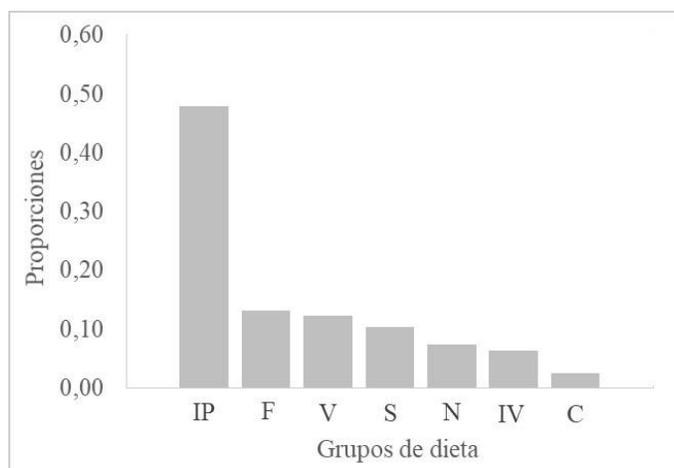


Figura 3. Proporción de los grupos de dieta de las aves presentes en el área de importancia ecológica Madre de Agua. Grupos de dieta: insectos e invertebrados pequeños (IP), frutos (F), vertebrados más grandes (V), semillas (S), néctar (N), insectos, invertebrados grandes y vertebrados muy pequeños (IV) y carroña (C).

## Discusión

Los dos métodos usados obtuvieron coberturas de muestreo por encima del 95 %, con una mejor representatividad en los transectos debido al esfuerzo de muestreo aplicado. Cabe resaltar que los registros incidentales contribuyeron a obtener una muestra más completa de la diversidad del área de estudio ya que compiló hallazgos en diferentes horarios, incluyendo aves con hábitos crepusculares y nocturnos, como las de las familias Caprimulgidae, Strigidae y Tytonidae.

La riqueza de avifauna hallada es equiparable a las reportadas en otros ecosistemas ubicados dentro de la matriz urbana de Bogotá (Stiles *et al.*, 2021). También es semejante a la registrada por Botero-Delgado *et al.* (2006) y Sánchez *et al.* (2015) en el paisaje rural del altiplano cundiboyacense, más favorable para las aves en comparación con áreas altamente urbanizadas (Isaksson, 2018; Stiles *et al.*, 2021). En el área de estudio evaluada se registró al menos la tercera parte de las especies observadas en la sabana de Bogotá (Stiles *et al.*, 2021).

Las especies más frecuentes, como *Z. auriculata*, *T. fuscater*, *Z. capensis* y *T. melancholicus*, también fueron reportadas con dominancia en parques urbanos, zonas verdes y humedales de Bogotá (Tovar, 2017; Stiles *et al.*, 2021), lo que refleja la influencia de la matriz urbanizada en especies oportunistas como las nombradas. Sin embargo, el mosaico de coberturas vegetales parece ser el factor que contribuye a la disponibilidad y variedad de recursos para las aves ya que el incremento de la diversidad estructural es fundamental para la conservación de la avifauna que hace uso de estos ecosistemas (Echeverry-Galvis *et al.*, 2023; Zuluaga-Carrero, 2023). Se requieren futuros estudios de comparativa de hábitats para confirmar el aporte en términos de especies por cada cobertura.

La familia Tyrannidae fue la que mayor riqueza obtuvo, con 12 especies. Este hallazgo coincide con lo reportado en la sabana de Bogotá (Rosselli *et al.*, 2017; Sánchez *et al.*, 2015; Zuluaga-Carrero, 2023) debido a que esta familia se destaca por su alta diversidad en el neotrópico (Hilty y Brown, 2009). Asimismo, el aumento de las tasas de desarrollo de algunos artrópodos, asociado al cambio climático (Robinet y Roques, 2010), estaría teniendo efectos en la distribución geográfica de este grupo de aves principalmente insectívoras, como es el caso de *T. tyrannus*, con altas abundancias en este estudio a diferencia de lo reportado por Stiles *et al.* (2021). De hecho, el patrón de incremento poblacional debido al calentamiento global sí ha sido confirmado para *Rupornis magnirostris*, *Asio clamator*, *Elanus leucurus*, *Vanellus chilensis* y *Mimus gilvus*.

Por otra parte, en el relicto de humedal se registraron especies típicas de ecosistemas acuáticos como *Porphyrio martinicus*, *Phimosus infuscatus*, *Tringa solitaria*, *Butorides striata* e *I. exilis* (figura 4). De esta última, en particular, se observó una subespecie endémica del altiplano cundiboyacense (Stiles *et al.*, 2000) que se encuentra en peligro crítico de extinción (Renjifo *et al.*, 2016). En efecto, la última vez que se había reportado una población de esta ave, conocida como garza mirasol, fue en la laguna La Herrera en zonas rurales del municipio de Mosquera (Rosselli y Stiles, 2012), y se le atribuye una extinción local en Bogotá debido a que sus últimos registros han sido en zonas periféricas de la ciudad (Stiles *et al.*, 2021; Zuluaga-Carrero, 2023). Por lo tanto, la detección de esta especie en el área evaluada es muy relevante ya que corresponde a una zona altamente urbanizada del interior de la capital.



Figura 4. Garza mirasol (*I. exilis*) registrada en el relicto de humedal Madre de Agua.

Como se ha evidenciado, el área de estudio mantiene una significativa variedad de avifauna, incluyendo cuatro especies amenazadas y tres casi endémicas. Se recomienda a las entidades institucionales encargadas de la planificación del territorio generar estrategias para fortalecer la habitabilidad y sostenibilidad ecológica que permitan la coexistencia entre humanos y estas aves silvestres amenazadas por los procesos urbanizadores (Beuf *et al.*, 2023). En ese sentido, cabe llamar la atención sobre ciertas dinámicas que persisten en el suroccidente de Bogotá y presionan la expansión de la infraestructura urbana (Romero, 2010), generando impactos negativos sobre ecosistemas de importancia (Quimbayo-Ruiz, 2016). Un claro ejemplo de este fenómeno es la construcción de una avenida que desde el año 2021 ha venido destruyendo parte de la zona de pastos arbolados y el relicto de humedal Madre de Agua evaluados en este estudio (*obs. pers.*).

El 40 % del total de las aves registradas en el inventario tienen

comportamientos migratorios, lo que se explica en parte por la localización geográfica de Bogotá sobre la ruta migratoria. Esto también puede deberse a que estas especies requieren hábitats de calidad en sus sitios de parada, y el área evaluada parece poseer precisamente las características apropiadas para brindarles alimento. Así lo sugiere el hecho de que las familias más representativas de Madre de Agua (Parulidae y Tyrannidae respectivamente) coinciden con las más representativas del total de especies según grupo dietario registradas en este estudio y a su vez con las más representativas de las aves migratorias de los humedales de Bogotá (Bayly y Chaparro-Herrera, 2015).

El grupo de dieta con mayor número de especies fue el de aquellas que se alimentan de insectos e invertebrados pequeños (IP), el cual mantiene una diferencia considerable frente al resto de grupos, una misma disimilitud encontrada en los bosques altoandinos de los cerros orientales de Bogotá (Stiles y Rosselli, 1998). Esto puede deberse a que los invertebrados son un recurso alimenticio y proteínico muy común, variado y bastante abundante, por lo que muchas aves complementan su dieta con estos organismos (Levey y Stiles, 1994; Muñoz *et al.*, 2017), además de lo ya mencionado para los atrapamoscas de la familia Tyrannidae, particularmente en las ciudades.

Por otra parte, el segundo grupo de dieta más representativo fueron las frugívoras (F), lo cual es un hallazgo relevante que evidencia la complementariedad de la comunidad de aves promovida por el área de importancia ecológica Madre de Agua, ubicada en una zona altamente urbanizada. Según Echeverry-Galvis *et al.* (2023), las especies que se alimentan de frutos se encuentran asociadas a zonas periurbanas debido a los efectos negativos generados por la urbanización.

El tercer grupo de dieta mejor representado, con 10 especies, fueron las rapaces que se alimentan de vertebrados más grandes (V), las cuales son consideradas indicadores de biodiversidad e integridad ecosistémica (Roth y Weber, 2008; Sergio *et al.*, 2004, 2006). Este tipo de aves se hallaron principalmente en la cobertura forestal (obs. pers.), dominada por especies arbóreas de porte alto y aledañas a edificaciones abandonadas, lo que sugiere una relación entre la composición de esta vegetación y los requerimientos de estructura para anidación y captura de presas potenciales.

El de los granívoros fue el cuarto grupo en representatividad, aunque contiene especies con alta dominancia como *S. spinescens* y *S. psaltria*, las cuales se observaron frecuentemente

asociadas a la cobertura forestal, volando en bandadas y alimentándose de las semillas de eucalipto (obs. pers.). La disminución de *S. spinescens* en Bogotá reportada por Stiles *et al.* (2017) contrasta con la alta abundancia evidenciada en el presente estudio, lo que indica una posible relación de las especificidades de la cobertura forestal con esta dinámica poblacional. Es pertinente seguir investigando las tendencias encontradas en este grupo de dieta y el anterior.

Por último, entre los nectarívoros cabe resaltar a la familia Trochilidae, cuyas siete especies suman el mayor número reportado en comparación con varios parques, humedales y zonas verdes del interior de la ciudad (Echeverry-Galvis *et al.*, 2023; Stiles *et al.*, 2021). Esta riqueza de colibríes está probablemente relacionada con la alta oferta alimenticia aportada sobre todo por *E. globulus*, que se destaca por el néctar que provee a las aves antófilas (Hingston *et al.*, 2004).

Las proporciones halladas en los grupos de dieta y las especies dominantes del género *Spinus* sugieren que el mosaico de coberturas vegetales del área de estudio promueve un ensamblaje de la comunidad de aves comparable a sitios periurbanos de Bogotá. En zonas boscosas de Sudamérica con composición arbórea de *E. globulus* con sotobosque nativo, similares a la cobertura forestal conocida como Bosque Bavaria, se han evidenciado efectos benéficos en la diversidad de la avifauna nativa (Fontúrbel *et al.*, 2016). Por lo tanto, se sugiere que en dicho bosque se lleven a cabo estrategias de manejo enfocadas en restauración ecológica por medio diversificación arbórea y el reemplazo paulatino de árboles de eucaliptos y acacias, sin llegar a la erradicación total de dichas especies, como se ha venido efectuando en la Reserva Forestal Protectora de los Cerros Orientales de Bogotá (Rojas, 2017). De hecho, la reforestación realizada por personas de la comunidad y organizaciones no gubernamentales (ONG) ha sido significativa para mejorar el componente paisajístico y la variedad arbórea a lo largo del área de estudio (obs. pers.). Así las cosas, es aconsejable continuar con estas actividades que benefician la abundancia y la riqueza de la avifauna en la sabana de Bogotá (Stiles *et al.*, 2021).

Finalmente, la ciencia ciudadana tiene un papel cada vez más relevante en el avance de la investigación sobre la avifauna presente en los diferentes ecosistemas de las ciudades colombianas (Cediel y Lozano-Flórez, 2020; Stiles *et al.*, 2021; Zuluaga-Carrero, 2023). La acción de múltiples actores, organizaciones y ciudadanos ha impulsado la apropiación social del ambiente y la biodiversidad (Quimbayo-Ruiz, 2016). Para el caso específico del área de importancia ecológica Madre de

Agua, los habitantes de los barrios aledaños y los colectivos ambientales vienen fomentando su reconocimiento y dando a conocer su valor ecosistémico a través de prácticas cotidianas para su cuidado y diversificación, lo cual ha llevado incluso a generar procesos jurídicos que pretenden garantizar la conservación del Bosque Bavaria (*obs. pers.*). Sin embargo, aunque este ecosistema posee características claves para promover la biodiversidad y la preservación de especies dentro de la ciudad, no está cobijado bajo ninguna figura de protección legal que consolide su conservación para garantizar su provisión de servicios ecosistémicos.

Finalmente, la ciencia ciudadana tiene un papel cada vez más relevante en el avance de la investigación sobre la avifauna presente en los diferentes ecosistemas de las ciudades colombianas (Cediel y Lozano-Flórez, 2020; Stiles *et al.*, 2021; Zuluaga-Carrero, 2023). La acción de múltiples actores, organizaciones y ciudadanos ha impulsado la apropiación social del ambiente y la biodiversidad (Quimbayo-Ruiz, 2016). Para el caso específico del área de importancia ecológica Madre de Agua, los habitantes de los barrios aledaños y los colectivos ambientales vienen fomentando su reconocimiento y dando a conocer su valor ecosistémico a través de prácticas cotidianas para su cuidado y diversificación, lo cual ha llevado incluso a generar procesos jurídicos que pretenden garantizar la conservación del Bosque Bavaria (*obs. pers.*). Sin embargo, aunque este ecosistema posee características claves para promover la biodiversidad y la preservación de especies dentro de la ciudad, no está cobijado bajo ninguna figura de protección legal que consolide su conservación para garantizar su provisión de servicios ecosistémicos.

### Conflicto de intereses

El autor declaró no tener ningún conflicto de interés.

### Contribución de los autores

Sergio Torres Ariza y Alicia Gil: conceptualización, escritura y edición, desarrollo del diseño metodológico, toma y análisis de datos, adquisición de la financiación.

### Agradecimientos

En primer lugar, los autores agradecen a Guaiá Sie por permitirles encontrar y enmarañarse con el territorio; sin ella no hubiesen sido posibles la constancia y la fuerza para llevar a cabo esta investigación. A los colectivos comunitarios Somos

Bosque, Salvemos el Bosque Bavaria y Huerta Pacatá, por su colaboración con los registros de especies; en especial, a José Torres y Daniela Bernal. Además, a Daniel Ruiz por su apoyo en la confirmación taxonómica y a José Romero por la elaboración del mapa del área de estudio. Finalmente, gracias a los evaluadores por sus valiosas correcciones.

### Referencias

- Alfonso, O. (2022). La primacía poblacional urbana de escala metropolitana de Bogotá: profundización, ensanche y desborde de las relaciones de metropolización. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 15. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.015.e20230031>.
- Ayerbe, F. (2019). *Guía ilustrada de avifauna colombiana* (segunda edición). WCS Colombia.
- Bayly, N. y Chaparro-Herrera, S. (2015). Capítulo 3. Aves migratorias presentes en los humedales de Bogotá. En S. Chaparro-Herrera y D. Ochoa (Eds.), *Aves de los humedales de Bogotá, aportes para su Conservación* (pp. 39-56). Asociación Bogotana de Ornitología (ABO).
- Beuf, A., Quimbayo-Ruiz, G. y Jasso, O. (2023). Between Greens and Grays: Urbanization and Territorial Destruction in the Sabana de Bogotá. En F. Carrión y P. Cepeda (Eds.), *Urbicide. The Urban Book Series* (pp. 293-314). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-25304-1\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-031-25304-1_15).
- Botero-Delgadillo, E., Aguilera-González, A. y Verhelst, J. (2006). Abundancia, riqueza y diversidad de la avifauna presente en la estación experimental de la Facultad de Ciencias de la Universidad Militar Nueva Granada (Cajicá, Colombia). *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 2(1), 165-175.
- Cediel, F. y Lozano-Flórez, A. (2020). Aves urbanas en zonas verdes del área metropolitana de Bucaramanga, Santander, Colombia. *Ornitología Colombiana*, 18, 1-20.
- Chaparro-Herrera, S. y Camargo-Martínez, P. (2017). Avifauna a lo largo del río Fucha en la ciudad de Bogotá. *Biota Colombiana*, 18(2), 212-227. <https://doi.org/10.21068/c2017.v18n02a14>.
- Chaparro-Herrera, S. y Ochoa, D. (2015). *Aves de los humedales de Bogotá, aportes para su conservación*. ABO.
- Chaparro-Herrera, S., Echeverry-Galvis, M., Córdoba-Córdoba, S. y Sua-Becerra, A. (2013). Listado actualizado de las aves endémicas y casi-endémicas de Colombia. *Biota Colombiana*, 14(2), 235-272.
- Chaparro-Herrera, S., Echeverry-Galvis, M., Córdoba-Córdoba, S.

- y Sua-Becerra, A. (2013). Listado actualizado de las aves endémicas y casi-endémicas de Colombia. *Biota Colombiana*, 14(2), 235-272.
- Cortés, L. (2018). Aproximación al paisaje de los humedales urbanos de Bogotá dentro de la estructura ecológica principal de la ciudad. Cuadernos de Geografía: *Revista Colombiana de Geografía*, 27. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v27n1.60584>.
- Echeverry-Galvis, M., Acevedo-Charry, O., Avendaño, J., Gómez, C., Stiles, G., Estela, F. y Cuervo, A. (2022). Lista oficial de las aves de Colombia 2022: Adiciones, cambios taxonómicos y actualizaciones de estado. *Ornitología Colombiana*, (22), 25-51.
- Echeverry-Galvis, A., Lozano, P. y Amaya-Espinel, J. D. (2023). Long-term Christmas Bird Counts describe neotropical urban bird diversity. *PLOS ONE*, 18(2).
- Echeverry-Galvis, A., Lozano, P. y Amaya-Espinel, J. D. (2023). Long-term Christmas Bird Counts describe neotropical urban bird diversity. *PLOS ONE*, 18(2).
- Fontúrbel, E., Candia, B. y Castaño-Villa, J. (2016). Are abandoned eucalyptus plantations avifauna-friendly? A case study in the Valdivian rainforest. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(4), 1402-1406. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.09.011>.
- García-Ubaque, C., Ladino-Moreno, E. y Zamudio-Huertas, E. (2020). Exploratory Study on Wetlands Area Decrease in Bogota due to Construction Activity: 1950-2016. *Revista Facultad de Ingeniería*, 29(54). <https://doi.org/10.19053/01211129.v29.n54.2020.10891>.
- Hilty, S. y Brown, W. (2009). Guía de las aves de Colombia (segunda Impresión ed.). *Asociación Colombiana de Ornitología (ACO)*.
- Hingston, B., Potts, M. y McQuillan, B. (2004). Pollination services provided by various size classes of flower visitors to *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* (Myrtaceae). *Australian Journal of Botany*, 52(3), 353-369.
- Hussell, D. y Ralph, J. (1998). Recommended methods for monitoring bird populations by counting and capture of migrants. Intensive Sites Technical Committee of the Migration Monitoring Council.
- Isaksson, C. (2018). Impact of Urbanization on Birds. En D. Tietze (Ed.), *Bird Species. Fascinating Life Sciences*. Springer.
- Levey, D. y Stiles, G. (1994). Birds: ecology, behavior, and taxonomic affinities. En L. McDade, K. Bawa, H. Hespeneide y G. Hartshorn (Eds.), *La Selva: Ecology and natural history of a neotropical rainforest* (pp. 217-228). University of Chicago.
- Muñoz, C., Ippi, S., Celis-Diez, J., Salinas, D. y Armesto, J. (2017). Arthropods in the diet of the bird assemblage from a forested rural landscape in northern Chiloé Island, Chile: a quantitative study. *Ornitología Neotropical*, 28, 191-199.
- Murad, R. (2003). *Estudio sobre la distribución espacial de la población en Colombia*. Cepal Press.
- Naranjo, L. G. y Amaya, J. D. (2009). *Plan nacional de las especies migratorias: diagnóstico e identificación de acciones para la conservación y el manejo sostenible de las especies migratorias de la biodiversidad en Colombia*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; WWF Colombia.
- Quimbayo-Ruiz, A. (2016). Gestión integral de la biodiversidad en el Distrito Capital: aportes para una gobernanza urbana. *Biodiversidad en la Práctica*, 1(1), 44-76.
- Renjifo, M., Gómez, F., Velásquez-Tibatá, J., Amaya-Villarreal, M., Kattan, 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*. Editorial Pontificia Universidad Javeriana; Instituto Alexander von Humboldt.
- Renjifo, M., Amaya-Villarreal, 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; Instituto Alexander von Humboldt.
- Robinet, C. y Roques, A. (2010). Direct impacts of recent climate warming on insect populations. *Integrative Zoology*, 5, 132-142.
- Rojas, L. (2017). Estructura y composición florística de la vegetación en proceso de restauración en los Cerros Orientales de Bogotá (Colombia). *Caldasia*, 39(1), 124-139. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v39n1.60084>.
- Romero, A. (2010). Transformación urbana de la ciudad de Bogotá, 1990-2010: efecto espacial de la liberalización del comercio. *Perspectiva Geográfica*, 15, 85-112.
- Rosselli, L. y Stiles, G. (2012). Wetland habitats of the Sabana de Bogotá Andean Highland Plateau and their birds. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 22(3), 303-317. <https://doi.org/10.1002/aqc.2234>.
- Rosselli, L., De La Zerda, S. y Candil, J. (2017). Cambios en la

- avifauna de un relicto de bosque en la franja periurbana de Bogotá a lo largo de catorce años. *Acta Biológica Colombiana*, 22(2), 181-190. <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v22n2.60688>.
- Roth, T. y Weber, D. (2008). Top predators as indicators for species richness? Prey species are just as useful. *Journal of Applied Ecology*, 45(3), 987-991. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01435.x>.
- Sánchez, F., Habibe, M., Díaz, S., Medina, N., Riaño, J. y Paqui, M. F. (2015). Biodiversidad en un campus universitario en la Sabana de Bogotá: inventario de plantas y tetrápodos. *Boletín Científico Centro de Museos de Historia Natural*, 19(2), 186-203. <https://doi.org/10.17151/bccm.2015.19.2.11>.
- Scopelliti, M., Carrus, G., Adinolfi, C., Suárez, G., Colangelo, G., Laforteza, R., Panno, A. y Sanesi, G. (2016). Staying in touch with nature and well-being in different income groups: The experience of urban parks in Bogotá. *Landscape and Urban Planning*, 148, 139-148. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.002>.
- Sergio, F., Rizzolli, F., Marchesi, L. y Pedrini, P. (2004). The importance of interspecific interactions for breeding-site selection: peregrine falcons seek proximity to raven nests. *Ecography*, 27(6), 818-826. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2004.04030.x>.
- Sergio, F., Newton, I., Marchesi, L. y Pedrini, P. (2006). Ecologically justified charisma: preservation of top predators delivers biodiversity conservation. *Journal of Applied Ecology*, 43(6), 1049-1055. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01218.x>.
- Silvertown, J. (2009). A new dawn for citizen science. *Trends in Ecology and Evolution*, 24(9), 467-471. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.017>.
- Stiles, G. y Rosselli, L. (1998). Inventario de las aves de un bosque altoandino: comparación de dos métodos. *Caldasia*, 20(1), 29-43.
- Stiles, G., Bohórquez, I. y Cadena, D. (2000). *Aves de la Sabana de Bogotá: guía de campo*. ABO.
- Stiles, G., Rosselli, L. y De La Zerda, S. (2017). Changes over 26 Years in the Avifauna of the Bogotá Region, Colombia: Has Climate Change Become Important? *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5(58). 10.3389/fevo.2017.00058.
- Stiles, G., Rosselli, L. y De La Zerda, S. (2021). Una avifauna en cambio: 26 años de conteos navideños en la Sabana de Bogotá, Colombia. *Ornitología Colombiana*, 19, 1-65.
- Tovar, G. (2019). Manejo de la avifauna como parte de la gestión del arbolado urbano en Bogotá D. C. *Territorios*, (40), 83-117. <http://dx.doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.6253>.
- Velandia, R. (1983). Fontibón: pueblo de la Real Corona. Imprenta Distrital.
- Zuluaga-Carrero, J. (2023). Aves de un Parque Regional en los límites de Bogotá: comparación entre diferentes coberturas urbanas y áreas en proceso de restauración ecológica. *Ornitología Colombiana*, (23), 48-65. <https://doi.org/10.59517/oc.e558>.

## Diversidad de hifomicetos acuáticos en la cabecera de la quebrada Grande, estado Miranda, Venezuela

### Aquatic hyphomycetes from headwaters of the Grande stream, state Miranda, Venezuela

Rafael Fernández Da Silva<sup>\*1</sup>  y Gunta Smits Briedis<sup>2</sup> 

1. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología, Departamento de Biología, Centro de Biotecnología Aplicada, Universidad de Carabobo, Venezuela

2. Laboratorio de Fitopatología, Facultad de Ciencias, Instituto de Biología Experimental, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela

#### Resumen

En los ecosistemas dulceacuícolas, en particular en sistemas lóticos como ríos y quebradas prístinos, se encuentran los hifomicetos acuáticos: hongos anamórficos que degradan material vegetal alóctono o autóctono, facilitando el flujo de nutrientes y energía a niveles tróficos superiores. La presencia de estos microorganismos fúngicos es importante desde el punto de vista ecológico ya que pueden ser bioindicadores de calidad ambiental. Este grupo es ecológicamente heterogéneo y se clasifica en tres tipos: a) ingoldianos, cuyas esporas, mayoritariamente hialinas y tetradradiadas, se desarrollan exclusivamente en el agua; b) aeroacuáticos, de forma helicoidal, cuyo desarrollo se presenta entre el agua y el aire; c) transicionales, de esporas generalmente de forma variable y de color pardo, con desarrollo tanto en el agua como en el suelo. A partir de muestras de espuma natural y mediante microscopía de luz, se registraron mensualmente, durante un año, la riqueza y la diversidad de estas especies en la cabecera de la quebrada Grande, cerca de una represa de agua para la comunidad aledaña. Se identificaron 73 especies: 41 ingoldianas, 4 aero-acuáticas y 28 transicionales, incluyendo 22 nuevos registros para el país: tres ingoldianos (*Tetracladium apiense*, *Tetracladium breve* y *Tetracladium furcatum*), un aero-acuático (*Helicodendron intestinale*) y 18 transicionales (*Acrodictys septosporioides*, *Acumispora uniseptada*, *Bactrodesmium fruticosum*, *Blodgettia indica*, *Dactylaria acerina*, *Dactylaria echinophila*, *Dactylaria humicola*, *Dactylaria pyricularoides*, *Endophragmiella pallescens*, *Fusariella curvata*, *Fusariella hughesii*, *Fusarium phragmitis*, *Mirandina corticola*, *Sporidesmium acutifusiforme*, *Sporidesmium casuarinae*, *Stenella doliiformis*, *Stenella ocoteae* y *Stenella variabilis*). Entre ellos, el aero-acuático y 17 transicionales, excepto *Blodgettia indica*, son nuevos reportes para América neotropical. Se encontró que los hifomicetos acuáticos son muy diversos, en particular los ingoldianos y transicionales. Solo algunas especies dominan ampliamente en cada categoría.

**Palabras clave:** hongos acuáticos; espuma; neotrópico; diversidad

#### Abstract

In freshwater ecosystems, particularly in lotic systems, such as rivers and streams, are aquatic hyphomycetes, which are anamorphic fungi that degrade allochthonous or indigenous plant material, facilitating the flow of nutrients and energy to higher trophic levels, through which the presence of these fungal microorganisms is ecologically important, since they can be possible bioindicators of environmental quality. This group of fungi is ecologically heterogeneous, being classified into three types: a) Ingoldian, whose spores are mostly hyaline and tetradradiated, develop exclusively in water, b) aero-aquatic, helical in shape, whose development occurs between water and air and c) transitional, with spores generally variable in shape and brown in color, developing both in water and in soil. Therefore, from samples of natural foam and by means of light microscopy, the richness and diversity of species was recorded monthly for a year at the head of the Grande stream, near a water dam for the neighboring community. A total of 73 species were identified, 41 Ingoldian, 4 Aero-aquatic, and 28 transitional, including 22 new reports for the country: three Ingoldian (*Tetracladium apiense*, *Tetracladium breve* and *Tetracladium furcatum*), one Aero-aquatic (*Helicodendron intestinale*) and eighteen transitional (*Acrodictys septosporioides*, *Acumispora uniseptada*, *Bactrodesmium fruticosum*, *Blodgettia indica*, *Dactylaria acerina*, *Dactylaria echinophila*, *Dactylaria humicola*, *Dactylaria pyricularoides*, *Endophragmiella pallescens*, *Fusariella curvata*, *Fusariella hughesii*, *Fusarium phragmitis*, *Mirandina corticola*, *Sporidesmium acutifusiforme*, *Sporidesmium casuarinae*, *Stenella doliiformis*, *Stenella ocoteae* and *Stenella variabilis*), of which, the Aero-aquatic and 17 transitionals, except *Blodgettia indica*, are new reports for neo-tropical America. Aquatic hyphomycetes were found to be very diverse, particularly the Ingoldian and Transitional types, with only a few species in each group dominating widely.

**Key words:** Aquatic fungi; foam; neotropic; diversity

\*Autor de correspondencia: [rafaelfer21031970@gmail.com](mailto:rafaelfer21031970@gmail.com)

Editor: Víctor Macías

Recibido: 14 de diciembre de 2022

Aceptado: 18 de agosto de 2023

Publicación en línea: 27 diciembre de 2023

Citar como: Fernández-Da Silva, R y Smits Briedis G. (2023).

Diversidad de hifomicetos acuáticos en la cabecera de la quebrada grande, estado Miranda, Venezuela, 18 (2), 142-152.

<https://doi.org/10.21676/23897864.4980>



## Introducción

En el ecosistema acuático, los hifomicetos son organismos fúngicos anamórficos (basidiomicetos y ascomicetos asexuales) que desempeñan un papel fundamental en la descomposición de materia vegetal sumergida, especialmente en sistemas lóticos. Gracias al potencial enzimático conformado por amilasas, glucanasas, celulasas y ligninasas, transforman la materia orgánica en estados más digeribles para otras comunidades acuáticas presentes en ríos y riachuelos (Bärlocher, 1992). Esta misma función la pueden cumplir, aunque en menor dimensión, en sistemas lénticos como lagos y lagunas (Da Silva *et al.*, 2019) debido a su versátil capacidad adaptativa para crecer, reproducirse y dispersarse en dichos ambientes.

Aparte de la clasificación taxonómica clásica, estos microorganismos fúngicos pueden catalogarse ecológicamente en tres grupos: a) hongos Ingoldianos, cuyo nombre es atribuido honoríficamente a Ingold, investigador pionero en el estudio de estos hongos hialinos y tetradados, que cumplen todo su ciclo de vida en el agua (Descals, 2005); b) hongos aeroacuáticos, que desarrollan hifas vegetativas exclusivamente en el agua y esporas solo al contacto con el aire, principalmente en áreas estancadas (Michaelides y Kendrick, 1982); c) hongos transicionales, también denominados lignícolas o dematiáceos, que son de carácter facultativo ya que pueden desarrollarse tanto en el ambiente terrestre como en el acuático en restos vegetales sumergidos (Descals y Moralejo, 2001).

En los sistemas lóticos, estos hongos colonizan diferentes tipos de restos vegetales. Así, constituyen un significativo eslabón en la cadena alimenticia del ecosistema dulceacuícola esencialmente, entre el complicado armazón de material vegetal sumergido y los insectos acuáticos, conformado por los conidios libres en el cuerpo de agua y por los conidióforos desarrollados en la superficie de los sustratos (Descals y Moralejo, 2001).

Desde el punto de vista ambiental, la biomasa fúngica, medida a través del contenido de ergosterol, es un sustancial indicador ecológico en sistemas acuáticos. Por otra parte, en el área biotecnológica, estos hongos acuáticos son muy importantes ya que algunas especies producen enzimas hidrolíticas útiles para las actividades industriales y biorremediadoras (Fernández *et al.*, 2010). Asimismo, pueden catalogarse como bioindicadores de calidad del agua ya que su riqueza de especies o concentración

de esporas se suele relacionar con óptimas condiciones microbiológicas (bajos niveles de bacterias coliformes) y fisicoquímicas (pH neutro a levemente básico y altos niveles de oxígeno disuelto) (Fernández *et al.*, 2017; Fernández y Smits, 2020, 2021) y a su vez son sensibles a pequeños cambios antropogénicos tales como la cantidad de nutrientes, metales pesados (Kumar y Pachauri, 2022) y nanoplasticos (Du *et al.*, 2022; Seena *et al.*, 2022; Seena *et al.*, 2022). De este modo, estos organismos representan un sistema de alerta del ecosistema dulceacuícola a la sociedad humana (Seena *et al.*, 2022).

A pesar de que este tipo de hongos se distribuyen en todas las latitudes, la mayor proporción de estos se ha reportado en las zonas templadas (Ingold, 1975; Jabiol *et al.*, 2013), donde las especies son similares de acuerdo a regiones climáticas parecidas (Duarte *et al.*, 2016). Sin embargo, al hallarse pocos trabajos en las regiones tropicales, no se puede corroborar dicha aseveración. De hecho, la zona neotropical se caracteriza por ser la de mayor diversidad biológica, por lo que cabe suponer que la reducida intensidad investigativa en hifomicetos acuáticos es lo que ha determinado los aparentes bajos registros (Schoenlein-Crusius y Grandi, 2003). En efecto, en los últimos años algunos investigadores de Argentina (Kravetz *et al.*, 2023; Tarda *et al.*, 2019), Brasil (Farias *et al.*, 2023a; Farias *et al.*, 2023b; Fiuza *et al.*, 2022; Gomes *et al.*, 2023) y Venezuela (Fernández y Smits, 2020, 2021) han publicado trabajos que han permitido incrementar significativamente la diversidad de estos hongos en la región de América Latina.

Estos microorganismos fúngicos también varían según la estación del año. La mayor cantidad de conidios se puede encontrar en otoño y en el inicio del invierno en la zona templada (Iqbal, 1997), mientras que en la tropical esto se vincula con las etapas de sequía y lluvia (Tsui *et al.*, 2016), oscilando de acuerdo con: a) el tipo de sustrato (Justiniano y Betancourt, 1989), b) la naturaleza química del tejido foliar (Ferreira *et al.*, 2016), c) interacciones interespecíficas (Chauvet, 1991), y d) factores climatológicos y características fisicoquímicas del agua (Justiniano y Betancourt, 1989).

Ahora bien, más allá de las recientes publicaciones de hifomicetos acuáticos en Argentina (Kravetz *et al.*, 2023) y Brasil (Farias *et al.*, 2023a; Farias *et al.*, 2023b; Gomes *et al.*, 2023), aún son escasos los trabajos en hifomicetos acuáticos en sistemas lóticos en esta zona neotropical del mundo y específicamente en Venezuela. Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo registrar este tipo de hongos en la cabecera de la quebrada Grande, una fuente importante de agua para las zonas rurales aguas abajo, a las afueras de la ciudad de Los Teques

(capital del Estado Miranda), con miras a proseguir la investigación del papel bioindicador de estos organismos en el diagnóstico de perturbación ambiental.

## Materiales y métodos

La investigación se realizó durante un año (enero-diciembre de 2021) en la cabecera de la quebrada Grande (sin afectación antropogénica), del municipio Guaicaipuro, estado Miranda, Venezuela (10° 22' 34,654" N y 67° 3' 37,463" O, 1217 m.s.n.m.). Los datos se tomaron en cercanías de la represa de agua de Hidrocapital (empresa hidrológica estatal), que surge al caserío Las Cadenas de las afueras de la ciudad de Los Teques (capital del estado), dedicado al cultivo y a la cría de subsistencia.

El riachuelo en estudio presenta principalmente una cobertura vegetal ribereña de tipo selva hidrófila megatérmica (Huber y Alarcón, 1988), aunque algunos sectores habían sido reforestados con *Eucalyptus urograndis* y *Pinus caribaea*, sin predominio de alguna especie en el aporte de hojarasca al sistema. Morfométricamente, el cuerpo de agua es del tipo step-pool o de tramos en secuencias escalonadas, con rocas de tamaño medio, en conjunto con arena y arcilla. Su ancho se encuentra entre 1,5 y 2 m; la profundidad, de 10,7 -12,5 cm; la velocidad de la corriente, de 5,0 - 5,5 cm/s; y la media de descarga, de 23,5-24,8 m<sup>3</sup>/s. Las características fisicoquímicas de esta parte de la quebrada son: 22,8 °C de temperatura promedio anual, 3,1 mS/cm de conductividad, 7,3 de pH (levemente básico), incolora (1,2 g/L de materia orgánica en suspensión y 0,2 NTU de turbidez) y bien oxigenada (7,5 mg/L de oxígeno disuelto).

Los hifomicetos acuáticos se recolectaron por un año (sequía: diciembre a abril; lluvias: mayo a noviembre), en los remansos de la quebrada, a un ritmo de 30 muestras al azar de 1 mL de espuma natural por semana. Para procesarlos, se siguió la metodología descrita por Smits *et al.* (2007). La observación y el registro fotográfico de las esporas, a un aumento de 400X, se hicieron mediante un microscopio de luz Leika DM 1000 con cámara digital del Centro de Biotecnología Aplicada (CBA). La identificación taxonómica a nivel de especie se basó en la clave para hifomicetos del neotrópico de Santos-Flores y Betancourt-

López (1997), así como en la de hongos dematiáceos de Ellis (1971) y (1976), en la de microhongos de Matsushima (1971) y en las memorias micológicas de Matsushima (1980, 1982, 1983, 1985, 1987, 1989, 1993, 1995, 1996, 2001). La nomenclatura se validó a través de los bancos de datos Index Fungorum (<http://indexfungorum.org>) y Mycobank (<http://mycobank.org>).

Además, las especies encontradas se catalogaron según la clasificación ecológica planteada por Descals y Moralejo (2001) y Descals (2005) en ingoldianas (I), aeroacuáticas (A) y transicionales (T). Finalmente, se establecieron el número de especies (riqueza) por mes y la frecuencia relativa (número de meses en que aparecía la especie) de estas. De tal modo, se distribuyeron en tres grupos de acuerdo con la escala propuesta por Fernández y Smits (2013): a) <25 %= rara o poco frecuente, b) 25-75 %= frecuente y c) >75 %= muy frecuente).

Los datos de riqueza y número de individuos encontrados por mes durante el año de estudio, para los tres grupos ecológicos de hifomicetos acuáticos, se analizaron a fin de determinar la diversidad de estos organismos. Para dicho propósito se calcularon los índices de Shannon (H') y Simpson (D), así como de dominancia, utilizando los programas estadísticos Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) v.18 y PAST v.2.17 (Hammer *et al.*, 2001).

## Resultados

En este estudio se registró una riqueza de hifomicetos acuáticos de 73 especies, todas del *phylum* Ascomycota, lo que reafirma que la mayoría de este tipo de organismos fúngicos en sistemas lóticos son del grupo de los ascomicetos. Los hongos hallados se agrupan en 22 familias: Acrodictyaceae (1), Aliquandostipitaceae (1), Amniculicolaceae (3), Beltraniaceae (1), Calloriaceae (5), Capnodiaceae (1), Discinellaceae (3), Dermateaceae (2), Helotiaceae (8), Halosphaeriaceae (2), Helminthosphaeriaceae (1), Hypocreomycetidae *incertae sedis* (3), *Incertae sedis* (16), Leotiaceae (3), Lunulosporaceae (2), Melanommataceae (3), Nectriaceae (3), Sporidesmiaceae (2), Tubeufiaceae (3), Tricladiaceae (3), Tetraplophaeriaceae (4) y Wiesneriomycetaceae (3). También, según la clasificación ecológica de especies de hifomicetos acuáticos, se encontraron 56 % ingoldianas (41), 38 % transicionales (28) y 6 % aero-acuáticas (4) (tabla 1).

Tabla 1. Registro mensual de especies de hifomicetos acuáticos en la quebrada Grande (municipio Guaicaipuro, estado Miranda). Familia: Acrodityaceae (Ac), Aliquandostipitaceae (Al), Amniculicolaceae (Am), Beltraniaceae (B), Calloriaceae (Cl), Capnodiaceae (Cp), Discinellaceae (Dc), Dermateaceae (De), Helotiaceae (H), Halosphaeriaceae (Ha), Helminthosphaeriaceae (He), Hypocreomycetidae *incertae sedis* (Hy), *Incertae sedis* (IN), Leotiaceae (L), Lunulosporaceae (Lu), Melanommataceae (Me), Nectriaceae, (N), Sporidesmiaceae (S), Tubeufiaceae (T), Tricladaceae (Tc), Tetraplospheariaceae (Te), Wiesneriomycetaceae (W). TH: tipo de hifomicetos acuáticos: ingoldiano (I), aeroacuático (A), transicional (T). FR (%): frecuencia relativa de especies: ▲: >75 %, ▼: 25-75 %; ►: <25 %. E: enero; F: febrero; M: marzo; A: abril; Ma: mayo; Ju: junio; J: julio; Ag: agosto; S: septiembre; O: octubre; N: noviembre; D: diciembre.

Especies	F	TH	Meses												Fr		
			E	F	M	A	Ma	Ju	J	Ag	S	O	N	D			
<i>Acrodictys septosporioides</i>	Ac	T				•											►
<i>Acumispora fragmospora</i>	De	T				•											►
<i>Acumispora uniseptada</i>	De	T						•									►
<i>Alatospora acuminata</i>	L	I				•						•					►
<i>Alatospora constricta</i>	L	I								•							►
<i>Anguillospora crassa</i>	Am	I	•						•				•				▼
<i>Anguillospora filiformis</i>	Am	I		•							•					•	▼
<i>Amniculicola longissima</i>	Am	I				•		•				•			•		▼
<i>Articulospora tetracladia</i>	H	I		•			•			•						•	▼
<i>Beltrania rhombica</i>	B	T	•						•								►
<i>Bactrodesmium fruticosum</i>	IN	T						•									►
<i>Bactrodesmium indica</i>	IN	T														•	►
<i>Brachiosphaera tropicalis</i>	Al	I	•	•		•	•	•			•		•	•	•	•	▼
<i>Camposporidium</i> spp.	Me	T		•				•					•				▼
<i>Camposporium antennatum</i>	Me	T	•	•		•		•	•			•	•		•		▼
<i>Campylospora chaetocladia</i>	Hy	I	•					•								•	▼
<i>Campylospora filicladia</i>	Hy	I	•	•		•		•	•	•			•	•	•		▲
<i>Campylospora parvula</i>	Hy	I		•			•		•	•			•		•		▼
<i>Clavatospora stellata</i>	Ha	I		•								•					►
<i>Clavatospora tentacula</i>	Ha	I	•			•			•	•		•	•	•	•	•	▲
<i>Culicidospora gravida</i>	H	I				•		•	•				•			•	▼
<i>Dactylaria acerina</i>	H	T					•										►
<i>Dactylaria echinophila</i>	H	T					•										►
<i>Dactylaria humicola</i>	H	T					•										►
<i>Dactylaria pyricularoides</i>	H	T					•										►
<i>Dendrospora erecta</i>	H	I									•						►
<i>Diplocladiella longibrachiata</i>	IN	T				•			•			•			•	•	▼
<i>Diplocladiella</i> sp.	IN	T		•						•	•						▼
<i>Endophragmiella pallescens</i>	He	T					•										►
<i>Flabellospora acuminata</i>	IN	I	•					•	•				•	•			▼
<i>Flabellospora verticillata</i>	IN	I						•									►
<i>Flabellocladia tetracladia</i>	IN	I				•				•							►
<i>Flagellospora curvula</i>	L	I						•									►
<i>Fusariella curvata</i>	IN	T						•									►
<i>Fusariella hughesii</i>	IN	T														•	►
<i>Fusarium phragmitis</i>	N	T					•										►
<i>Helicodendron intestinale</i>	H	A					•										►
<i>Helicomycetes colligatus</i>	T	A		•					•				•	•	•		▼
<i>Helicomycetes</i> spp.	T	A				•		•				•					▼
<i>Helicomycetes torquatus</i>	T	A	•					•				•					▼
<i>Heliscus lugdunensis</i>	N	I					•										►

Especies	F	TH	Meses											Fr		
			E	F	M	A	Ma	Ju	J	Ag	S	O	N		D	
<i>Heliscus submersus</i>	N	I		•							•		•		•	▼
<i>Isthmotricladia gombakiensis</i>	IN	I			•				•							▼
<i>Lemonniera aquatica</i>	Dc	I		•												▼
<i>Lunulospora curvula</i>	Lu	I		•		•	•				•			•		▼
<i>Lunulospora cymbiformis</i>	Lu	I				•										▼
<i>Margaritispora monticola</i>	IN	T						•								▼
<i>Phalangispora constricta</i>	W	I		•					•					•		▼
<i>Phalangispora nawawii</i>	W	I		•							•				•	▼
<i>Scorpiosporium angulatum</i>	Tc	I				•				•						▼
<i>Scorpiosporium chaetocladium</i>	Tc	I						•				•				▼
<i>Scorpiosporium</i> spp.	Tc	I			•											▼
<i>Scutisporus brunneus</i>	IN	T						•				•				▼
<i>Speiropsis pedatospora</i>	W	I			•											▼
<i>Sporidesmium acutifusiforme</i>	S	T				•										▼
<i>Sporidesmium casuarinae</i>	S	T						•								▼
<i>Sporidesmium filiferum</i>	S	T									•			•		▼
<i>Stenella doliiformis</i>	Te	T				•										▼
<i>Stenella ocoteae</i>	Te	T						•								▼
<i>Stenella variabilis</i>	Te	T				•										▼
<i>Tetrachaetum elegans</i>	Dc	I								•						▼
<i>Tetracladium apiense</i>	Cl	I	•													▼
<i>Tetracladium breve</i>	Cl	I						•								▼
<i>Tetracladium furcatum</i>	Cl	I		•												▼
<i>Tetracladium marchalianum</i>	Cl	I	•					•				•				▼
<i>Tetracladium setigerum</i>	Cl	I		•						•					•	▼
<i>Tetraploa</i> cf. <i>aristata</i>	Te	T						•				•				▼
<i>Tripospermum myrti</i>	Cp	T			•											▼
<i>Triscelophorus acuminatus</i>	IN	I	•		•	•			•	•		•	•			▼
<i>Triscelophorus curviramiifer</i>	IN	I						•								▼
<i>Triscelophorus monosporus</i>	IN	I		•	•	•	•	•	•	•	•		•	•		▲
<i>Triscelophorus ponapensis</i>	IN	I						•								▼
<i>Varicosporium delicatum</i>	Dc	I					•									▼
N° especies ingoldianas (I)			9	14	11	9	15	10	12	9	5	11	10	11		
N° especies transicionales (T)			2	3	2	12	8	5	2	2	3	3	3	3		
N° especies aeroacuáticas (A)			1	1	1	1	2	1	0	0	2	1	1	1		
N° especies total			12	18	14	22	25	16	14	11	10	15	14	15		
Resumen	Total		73			I:	41		T:	28			A:	4		

Asimismo, se reportan 22 especies nuevas para el país: tres ingoldianas (*Tetracladium apiense* Sinclair & Eicker, 1981, *Tetracladium breve* Roldán, 1989 y *Tetracladium furcatum* Descals 1983, una aeroacuática (*Helicodendron intestinale* Abdullah, 1979) y 18 transicionales (*Acrodictys septosporioides* Matsush., 1983, *Acumisporea uniseptata* Matsush., 1980, *Bactrodesmium fruticosum* Matsush., 1993, *Blodgettia indica* Subram., 1954, *Dactylaria acerina* Matsush., 1983, *Dactylaria echinophila* Matsush., 1983, *Dactylaria humicola* Matsush., 1985, *Dactylaria pyricularoides* Matsush., 1980, *Endophragmiella pallescens* Sutton, 1973, *Fusariella*

*curvata* Lin, Wang & Hyde, 2016, *Fusariella hughesii* Matsush., 1982, *Fusarium phragmitis* Arnaud & Matsush., 1975, *Mirandina corticola* Matsush., 1987, *Sporidesmium acutifusiforme* Matsush., 1993, *Sporidesmium casuarinae* Matsush., 1987, *Stenella doliiformis* Matsush., 1983, *Stenella ocoteae* Dornelo-Silva & Dianse, 2008, y *Stenella variabilis* Matsush., 1987). De ellas, la especie aero-acuática y 17 de las transicionales, excepto *Blodgettia indica*, son nuevos registros para América neotropical (figura 1).

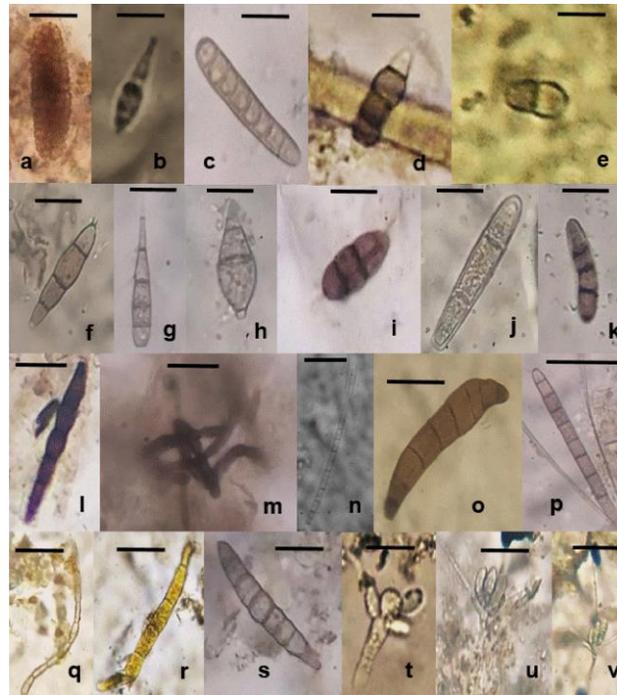


Figura 1. a) *A. septosporioides*, b) *A. uniseptada*, c) *B. fruticosum*, d) *B. indica*, e) *D. acerina*, f) *D. echinophila*, g) *D. humicola*, h) *D. pyricularoides*, i) *E. pallescens*, j) *F. curvata*, k) *F. hughesii*; l) *F. phragmitis*, m) *H. intestinalis*, n) *M. corticola*, o) *S. acutifusiforme*, p) *S. casuarinae*, q) *S. doliiformia*, r) *S. ocoteae*, s) *S. variabilis*, t) *T. apiense*, u) *T. breve*, v) *T. furcatum*. Escala de 10  $\mu$ m.

El número total de especies por mes también fue muy variable en el año de muestreo, oscilando entre 10 y 25, con fluctuaciones máximas en febrero (18), abril (22) y mayo (25), mientras que las mínimas se hallaron en enero (12), agosto (11) y septiembre (10). Una tendencia similar se presentó para los tres grupos considerados desde el punto de vista ecológico, con variaciones de 5 a 15 en el Ingoldiano, de 2 a 12 en el transicional y de 1 a 2 e incluso sin reporte en los meses de julio y agosto para el aero-acuático (tabla 1).

Asimismo, se observa una elevada riqueza de especies, que ejerce un rol importante en los altos índices de diversidad de Shannon (H') y de Simpson (D), determinados tanto de manera general (H': 3,7 y D: 0,97) como en particular por grupo ecológico, durante los doce meses de estudio. En el caso del índice de Shannon, se hallaron valores superiores de dos, excepto en el grupo de los

hifomicetos aero-acuáticos (H': 1,1). Este último resultó ser el menos diverso al tener pocos individuos de pocas especies reportadas en solo algunos meses del año de investigación. El Ingoldiano, en cambio, fue el más diverso (H': 3,2), seguido por el transicional (H': 2,9).

La tendencia anterior se reafirma con el índice de Simpson, que también mide dominancia de especies. Los valores hallados para este parámetro fueron cercanos a uno, tanto en el grupo Ingoldiano (D: 0,94) como en el transicional (D: 0,91), mientras que el aero-acuático tuvo un resultado de 0,64. De este modo se evidencia una elevada diversidad de especies ingoldianas, seguidas de las transicionales y, finalmente, las aero-acuáticas. Igualmente, se pudo determinar que ciertas especies dominan ampliamente en cada grupo, en particular en el Ingoldiano y en el transicional, lo cual se ratifica con el registro superior a 0,80 en el valor general, por grupos y por mes (tabla 2).

Tabla 2. Riqueza, diversidad y dominancia de los hifomicetos acuáticos en la quebrada Grande (municipio Guaicaipuro, estado Miranda) en 12 meses. Tipo de hongo. Ing: Ingoldiano; trans: transicional; A-A: Aero-acuático. Meses: En: enero; Feb: febrero; Mar: marzo; Abr: abril; May: mayo Jun: junio; Jul: julio; Ag: agosto; Sept: septiembre; Oct: octubre; Nov: noviembre y Dic: diciembre.

Índices	Tipo de hongo				Meses											
	General	Ing	Trans	A-A	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sept	Oct	Nov	Dic
Riqueza	73	41	28	4	12	18	14	22	25	16	14	11	10	15	14	15
Shannon	3,7	3,2	2,9	1,1	2,4	2,7	2,5	3,0	3,1	2,6	2,6	2,3	2,1	2,6	2,5	2,6
Simpson	0,97	0,94	0,91	0,64	0,90	0,93	0,91	0,94	0,95	0,92	0,92	0,89	0,86	0,91	0,91	0,92
Dominancia	0,86	0,86	0,85	0,82	0,96	0,95	0,94	0,98	0,96	0,94	0,98	0,95	0,92	0,94	0,96	0,95

## Discusión

Con este trabajo se incrementan los registros de riqueza de hifomicetos acuáticos en América tropical, y en particular en Venezuela. Así, tras la actualización de 89 especies de estos hongos realizada por Fernández y Smits (2015) y los subsecuentes reportes en los ríos Guáquira (Fernández y Smits, 2018), Vigirima (Fernández y Smits, 2020) y Borburata y Patanemo (Fernández y Smits, 2021), se ha llegado a un total de 150 especies halladas en Venezuela, de las cuales 139 han sido agregadas en los últimos 27 años luego de seis décadas de investigación en torno a este tipo de microorganismos fúngicos en diferentes cuerpos de agua venezolanos, donde en un principio Nilsson (1962) había descrito tan solo 11 especies.

La riqueza de hifomicetos acuáticos en Venezuela (Fernández y Smits, 2015) se ratifica en especial en cuerpos de agua no impactados ambientalmente. De esta forma se corrobora entonces la alta calidad ambiental en el área prístina de la quebrada Grande estudiada, lo cual puede alentar la realización de nuevas investigaciones en ese ámbito en otros cuerpos de agua del país y en América Latina.

Siguiendo la clasificación ecológica de los hifomicetos acuáticos en tres grupos, los hongos Ingoldianos se caracterizan por poseer conidias hialinas de morfología hidrodinámica, cuyo desarrollo se da exclusivamente en el agua; los transicionales, por su parte, presentan esporas sin morfología hidrodinámica y de color generalmente marrón, de desarrollo tanto en el agua como en el suelo; por último, los aero-acuáticos cuentan con esporas de forma helicoidal y carecen de estructuras de anclaje al sustrato, como los del primer grupo, por lo que se desarrollan en la transición agua-aire (Descals, 2005; Descals y Moralejo, 2001). En consecuencia, era de esperarse que el mayor porcentaje de hifomicetos acuáticos encontrado en este estudio fueran los Ingoldianos, dadas las características morfológicas ventajosas para su desarrollo en el ambiente acuático en estudio.

Con relación a los nuevos reportes para el país, es importante resaltar que las tres especies del género *Tetracladium* halladas confirman la amplia distribución de los hongos Ingoldianos en el mundo gracias a su carácter cosmopolita, que les permite desarrollarse tanto en el agua como en raíces de ciertas especies vegetales, con hábito endofítico (Lazar *et al.*, 2022). Por su parte, *H. intestinale*, considerada aero-acuática, se ha encontrado colonizando restos vegetales sumergidos del género *Quercus* (Abdullah *et al.*, 1979) y en especies de zona templada tales

como el pino o el eucalipto, árboles introducidos en la zona de estudio. Finalmente, se registraron por primera vez para la región 17 especies de hifomicetos acuáticos de tipo transicional. Estos organismos, en particular, no poseen adaptaciones morfológicas para su flotabilidad y dispersión en el agua y por ello son difíciles de captar mediante la técnica de espuma natural o de agua; generalmente, pueden observarse en material vegetal incubado *in vitro* (Fiuza *et al.*, 2017). Por lo tanto, la presencia de más de un tercio de este grupo fúngico puede deberse a que, en la zona de remansos donde se formó la espuma natural recolectada, se amontona de manera sumergida gran cantidad de residuos vegetales de diferente tipo y de distintas especies, lo que facilita la acumulación de esporas de estos hongos, aumentando su riqueza.

Las mismas especies muy frecuentes o frecuentes encontradas en este trabajo se han descrito en Venezuela, en los ríos Cabriales (Fernández y Smits, 2005; Fernández y Smits, 2009), Cupira (Pinto *et al.*, 2009; Storaci *et al.*, 2013, 2014), Guárico (Fernández y Smits, 2011), Cata, Cumboto y Cuyagua (Pinto y Smits, 2012), y en las quebradas Pinetes, El Vino (Cressa y Smits, 2007), Guatopo y Martinera (Smits *et al.*, 2007) y La Estación (Fernández y Smits, 2013). Se destaca que la mayoría de estos hongos presentan conidias de forma tetra radiada, lo cual es una ventaja en los ensamblajes de hifomicetos acuáticos con respecto a especies con esporas de morfologías no hidrodinámicas del tipo sigmoideas o compactas (Dang *et al.*, 2007). De igual manera, es usual que algunas especies aparezcan con poca frecuencia o raramente durante la investigación, tal como ocurrió en el presente estudio y en los trabajos en ríos de Puerto Rico (Betancourt *et al.*, 1987) y de Venezuela (Fernández y Smits, 2016, 2018, 2020, 2021; Fernández *et al.*, 2017).

Asimismo, la oscilación en el número de especies por mes es una constante en estos trabajos ya que, ecológicamente, estos microorganismos fúngicos son cosmopolitas, de cuerpos de agua lóticos translúcidos, de mediana turbulencia y buena aireación (Ingold, 1975), independientemente de la altitud y la latitud (Koske y Duncan, 1974), asociados a algún tipo de vegetación ribereña, con interacciones intraespecíficas o interespecíficas y con condiciones fisicoquímicas particulares (Ferreira *et al.*, 2016). La estacionalidad también tiene un papel notable, ya sea en regiones templadas con las cuatro estaciones o en zonas tropicales con dos periodos de precipitación. En el primer caso, la riqueza de especies y la concentración de esporas son mayores en el otoño y en el invierno (Gönczöl y

Revey, 1999), mientras que en verano predominan las especies características de la región tropical (Chauvet, 1991). En el trópico la variación en la cantidad de especies, aunque escasa, se relaciona principalmente a cambios en los parámetros climáticos, biológicos y fisicoquímicos (Betancourt *et al.*, 1987), de forma que la riqueza aumenta con las lluvias (Paliwal y Sati, 2009).

No obstante, las fluctuaciones mensuales en el número de especies de hifomicetos acuáticos en la quebrada Grande no permiten concluir un patrón entre el periodo de lluvias o de sequía ya que no se observó una tendencia clara en la disminución o el incremento de estos organismos fúngicos. En contraste, Schoenlein-Crusius *et al.* (2015), al evaluar la riqueza de hongos Ingoldianos y transicionales en cuerpos de agua del Parque Municipal da Aclimação, en São Paulo-Brasil, región tropical, pudieron determinar que las pequeñas variaciones en riqueza de especies estaban asociadas a cambios climáticos, fisicoquímicos del agua y de la biota (Betancourt *et al.*, 1987), presentando mayores valores en periodos lluviosos (Paliwal y Sati, 2009). En todo caso, los resultados en este trabajo concuerdan con los descritos en otros ríos venezolanos como Guárico (Fernández y Smits, 2011), Chirgua (Fernández y Smits, 2016) y Guáquira (Fernández y Smits, 2018), que presentan similares características climáticas, fisicoquímicas y biológicas a las de la zona de estudio.

Asimismo, en esta investigación se corrobora por primera vez la elevada diversidad de especies de hifomicetos acuáticos en sistemas dulceacuícolas prístinos de Venezuela, independientemente del periodo de precipitación del año. En ese sentido, se destaca el grupo Ingoldiano como el más diverso, seguido del transicional y, por último, el aeroacuático. Este aporte representa una novedad frente a trabajos previos en el país, que se habían limitado a reportar el número de especies encontradas en un año de muestreo (Fernández y Smits, 2005, 2009, 2011, 2013, 2016, 2018, 2020, 2021) sin discriminar el grupo de especies desde el punto de vista ecológico.

Ahora bien, en otras zonas del América del Sur, concretamente en Brasil, sí se ha señalado una alta diversidad de hifomicetos Ingoldianos y facultativos, en particular en época lluviosa, al trabajar con muestras vegetales incubadas (Schoenlein-Crusius *et al.*, 2015). En este caso, la diversidad osciló en función de la región geográfica, según variaciones en los parámetros climatológicos y de cobertura vegetal (Farias *et al.*, 2023). Cabe anotar, sin embargo, que la riqueza de especies en función del grupo ecológico puede variar dependiendo del tipo de recolección. Así, Faria *et al.* (2023) informan sobre mayores

valores en los hongos transicionales, seguidos de los ingoldianos y los aero-acuáticos, al emplear muestras vegetales incubadas en cuerpos de agua de Río Grande del Norte, en Brasil, ya que estas son propicias para el desarrollo de especies facultativas, mientras que en la recolección por espuma natural, utilizada en el presente trabajo, es mayor la captura de especies de formas hidrodinámicas, que son típicamente Ingoldianas, tal como se describió en los ríos Borburata y Patanemo en Venezuela (Fernández y Smits, 2021).

Finalmente, los resultados descritos en este estudio en cuanto a los elevados valores de riqueza y diversidad de hifomicetos acuáticos, incluyendo nuevos reportes para el país, ratifican la gran biodiversidad de estos organismos en el neotrópico. En esa medida, estos hongos pueden representar un patrón bioindicador de calidad ambiental, tal como se ha planteado en reportes previos en cuerpos de agua venezolanos que dan cuenta de especies tolerantes o sensibles a la perturbación antropogénica (Fernández y Smits, 2020, 2021; Storaci *et al.*, 2013), así como otras investigaciones en el arroyo Gutiérrez (afluente del río Luján) de Argentina (Kravetz *et al.*, 2023), el río Acaciitas de Colombia (Kravetz y Pardo, 2020) y doce ríos de tercer orden tributarios del río Uruguay en Brasil (Breda *et al.*, 2021). Por lo tanto, es clave impulsar el desarrollo de nuevos trabajos en otros ríos venezolanos y de América Latina, a fin de incrementar la cantidad de registros de estos hongos tan importantes tanto en el ámbito ecológico como en el biotecnológico.

### **Agradecimientos**

Al Sr. Jesús Acosta, bombero del estado Miranda, por el traslado en vehículo a la zona de estudio, así como al Br. Juan José Bermúdez, que facilitó la toma de muestras durante el año de muestreo.

### **Conflicto de intereses**

Los autores declararon no tener ningún conflicto de intereses.

### **Contribución de los autores**

Rafael Fernández Da Silva y Gunta Smits Briedis: conceptualización, escritura y edición, desarrollo del diseño metodológico, adquisición de la financiación, toma de datos, análisis de datos.

### **Referencias**

Abdullah, S., Fisher, J. y Webster, J. (1979). Two new species of aero-aquatic hyphomycete. *Transactions of the British*

- Mycological Society*, 72(2), 324-329. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(79\)80052-2](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(79)80052-2).
- Bärlocher, F. (1992). Community Organization. En F. Bärlocher (Ed.), *The Ecology of Aquatic Hyphomycetes* (pp. 38-76). Springer-Verlag.
- Betancourt, C., Cruz, J. y Garcia, J. (1987). Los hifomicetos acuáticos de la Quebrada Doña Juana en el Bosque Estatal de Toro Negro, Villalba, Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*, 23(2), 278-284.
- Breda, M., Binotto, A., Biasi, C. y Hepp, U. (2021). Influence of environmental predictors on hyphomycete assemblages in subtropical streams. *Acta Oecologica*, 113, 103778.
- Chauvet, E. (1991). Aquatic Hyphomycete Distribution in South-Western France. *Journal of Biogeography*, 18(6), 699-706. <https://doi.org/10.2307/2845551>.
- Cressa, C. y Smits, G. (2007). Aquatic hyphomycetes in two blackwater streams of Venezuela. *Ecotropicos*, 20(2), 82-85.
- Da Silva, C. R., Castañeda, R. y Malosso, E. (2019). Comparison of aquatic hyphomycetes communities between lotic and lentic environments in the Atlantic rain forest of Pernambuco, Northeast Brazil. *Fungal Biology*, 123(9), 660-668. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2019.05.013>.
- Dang, C., Gessner, M. y Chauvet, E. (2007). Influence of conidial traits and leaf structure on attachment success of aquatic hyphomycetes on leaf litter. *Mycologia*, 99(1), 24-32. <https://doi.org/10.3852/mycologia.99.1.24>.
- Descals, E. (2005). Diagnostic characters of propagules of Ingoldian fungi. *Mycological Research*, 109(5), 545-555. <https://doi.org/10.1017/S0953756205002728>.
- Descals, E. y Moralejo, E. (2001). El agua y la reproducción asexual en los hongos ingoldianos. *Botánica Complutensis*, 25, 13-71.
- Du, J., Qv, W., Niu, Y., Qv, M., Jin, K., Xie, J. y Li, Z. (2022). Nanoplastic pollution inhibits stream leaf decomposition through modulating microbial metabolic activity and fungal community structure. *Journal of Hazardous Materials*, 424, 127392.
- Duarte, S., Bärlocher, F., Pascoal, C. y Cássio, F. (2016). Biogeography of aquatic hyphomycetes: Current knowledge and future perspectives. *Fungal Ecology*, 19, 169-181. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2015.06.002>.
- Ellis, M. B. (1971). *Dematiaceous Hyphomycetes*. Commonwealth Mycological Institute.
- Ellis, M. B. (1976). *More Dematiaceous Hyphomycetes*. Commonwealth Mycological Institute.
- Farias, H., Assuncao, A., Souza, D., Rodrigues, F. y Fiuza, P. (2023). Aquatic hyphomycetes associated with plant debris in freshwater ecosystems of the Atlantic Forests of Rio Grande do Norte, Brazil. *New Zealand Journal of Botany*, 61(1). <https://doi.org/10.1080/0028825X.2023.2201456>.
- Farias, H., De Souza, D., Souza, J., Araujo, L., Rodrigues, F. y Fiuza, P. (2023). Diversity and composition of asexual ascomycetes associated with aquatic and terrestrial forest plant debris in Rio Grande do Norte (Brazil) revealed by direct observation. *Nova Hedwigia*, 116(1-2), 89-104. [https://doi.org/10.1127/nova\\_hedwigia/2023/0724](https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2023/0724).
- Fernández, R. y Smits, G. (2005). Estudio preliminar de los hongos acuáticos en el río Cabriales (Parque San Esteban, Edo. Carabobo). *Saber*, 17, 147-149.
- Fernández, R. y Smits, G. (2009). Registro de la presencia de hifomicetos en ríos de la cordillera de la costa, Venezuela. *Interciencia*, 34(8), 589-592.
- Fernández, R. y Smits, G. (2011). Hifomicetos acuáticos en la cabecera del río Guárico en el Estado Carabobo, Venezuela. *Interciencia*, 36(11), 831-834.
- Fernández, R. y Smits, G. (2013). Diversidad de hifomicetos acuáticos en la quebrada "La Estación" de la Hacienda Ecológica "La Guáquira", Yaracuy, Venezuela. *Interciencia*, 38(7), 496-501.
- Fernández, R. y Smits, G. (2015). Actualización de inventario de especies de hifomicetos acuáticos en Venezuela. *Gestión y Ambiente*, 18(2), 153-180.
- Fernández, R. y Smits, G. (2016). Hifomicetos acuáticos en la cabecera del río Chirgua, Carabobo, Venezuela. *Interciencia*, 41(2), 110-113.
- Fernández, R. y Smits, G. (2018). Registro de hifomicetos acuáticos en el río Guáquira de la Reserva Ecológica Guáquira (San Felipe, Venezuela). *Gestión y Ambiente*, 21(1), 121-128. <https://doi.org/10.15446/ga.v21n1.71778>.
- Fernández, R. y Smits, G. (2020). Hifomicetos acuáticos como bioindicadores de calidad ambiental en el río Vigirima (Guacara, Carabobo-Venezuela). *Gestión y Ambiente*, 23(2), 165-181. <https://doi.org/10.15446/ga.v23n2.95686>.

- Fernandez, R. y Smits, G. (2021). Hifomicetos acuáticos en los ríos Borburata y Patanemo (Puerto Cabello, Carabobo-Venezuela) como bioindicadores de calidad ambiental. *Gestión y Ambiente*, 24(2), 98607. <https://doi.org/10.15446/ga.v24n2.98607>.
- Fernández, R., Smits, G. y Pinto, M. (2010). Características e importancia de los hifomicetos acuáticos y registro de especies en Venezuela. *Revista Faraute de Ciencias y Tecnología*, 5(2), 1-15.
- Fernández, R., Storaci, V. y Smits, G. (2017). Evaluación de los hifomicetos acuáticos como bioindicadores de calidad ambiental en el río Chirgua (Bejuma, Venezuela). *Gestión y Ambiente*, 20(1), 82-94. <https://doi.org/10.15446/ga.v20n1.62241>.
- Ferreira, M., Raposeiro, P., Pereira, A., Cruz, A., Costa, A., Graça, M. y Gonçalves, V. (2016). Leaf litter decomposition in remote oceanic island streams is driven by microbes and depends on litter quality and environmental conditions. *Freshwater Biology*, 61(5), 783-799. <https://doi.org/10.1111/fwb.12749>.
- Fiuzza, P., Cantillo, T., Monteiro, J., Gulis, V. y Gusmão, L. (2017). Rare hyphomycetes from freshwater environments from Chapada Diamantina, Bahia, Brazil. *Nova Hedwigia*, 104(4), 451-466. [https://doi.org/10.1127/nova\\_hedwigia/2016/0375](https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2016/0375).
- Fiuzza, P., Barbosa, F., Medeiros, A. y Gusmão, L. (2022). Ingoldian fungal assemblages from Brazilian rainforests, shrubland and savanna. *New Zealand Journal of Botany*, 60(3), 297-313. <http://dx.doi.org/10.1080/0028825X.2021.2023197>.
- Gomes, Ubiratan, L., De Souza, R., Gonçalves, J., Da Silva, M., Moretto, Y., Chaves, R., Restello, R. y Medeiros, A. (2023). The cooler the better: Increased aquatic hyphomycete diversity subtropical streams along a neotropical latitudinal gradient. *Fungal Ecology*, 62, 101223. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2022.101223>.
- Gönczöl, J. y Révay, A. (1999). Studies on the aquatic hyphomycetes of the Morgò stream, Hungary. II. Seasonal periodicity of conidial populations. *Archiv Fur Hydrobiologie*, 144(4), 495-508. <https://doi.org/10.1127/archivhydrobiol/144/1999/495>.
- 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), 4.
- Huber, O. y Alarcón, C. (1988). Mapa de vegetación de Venezuela. 1:2.000.000. MARNR. The Nature Conservancy.
- Ingold, C. T. (1975). An Illustrated Guide to Aquatic and Water-Borne Hyphomycetes (Fungi Imperfecti) with Notes on Their Biology. Freshwater Biological Association.
- Iqbal, S. H. (1997). Species diversity of freshwater hyphomycetes in some streams of Pakistan. II. Seasonal differences of fungal communities on leaves. *Annales Botanici Fennici*, 34(3), 165-178.
- Jabiol, J., Bruder, A., Gessner, M., Makkonen, M., Mckie, B., Peeters, E., Vos, V. y Chauvet, E. (2013). Diversity patterns of leaf-associated aquatic hyphomycetes along a broad latitudinal gradient. *Fungal Ecology*, 6(5), 439-448. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2013.04.002>.
- Justiniano, J. y Betancourt, C. (1989). Hongos ingoldianos presentes en el río Maricao, Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*, 25, 111-114.
- Koske, R. y Duncan, I. (1974). Temperature effects on growth, sporulation and germination of some "aquatic" hyphomycetes. *Canadian Journal of Botany*, 52(6), 1387-1391. <https://doi.org/10.1139/b74-180>.
- Koske, R. y Duncan, I. (1974). Temperature effects on growth, sporulation and germination of some "aquatic" hyphomycetes. *Canadian Journal of Botany*, 52(6), 1387-1391. <https://doi.org/10.1139/b74-180>.
- Kravetz, S. y Pardo, Y. (2020). Presencia de hongos ingoldianos productores de esporas sigmoideas y tetraradiadas en dos tramos del río Acaciitas (Acacias, Meta-Colombia). III Congreso Internacional de Ciencias Básicas e Ingeniería, Villavicencio-Meta, Universidad de los Llanos, Colombia.
- Kravetz, S., Rodríguez, C., Vilches, C., Huta, F. y Giorgi, A. (2023). Hongos y algas como indicadores de la calidad del agua de un arroyo urbano. *Ecología Austral*, 33(2), 314-640.
- Kumar, G. y Pachauri, S. (2022). Fungi: The indicators of pollution. En S. Bandh y S. Shafi (Eds.), *Freshwater Mycology. Perspectives of fungal dynamics in freshwater ecosystems* (pp. 277-296).
- Lazar, A., Mushinski, R. y Bending, G. (2022). Landscape scale ecology of Tetracladium spp. fungal root endophytes. *Environmental Microbiome*, 17(40). <https://doi.org/10.1186/s40793-022-00431-3>.
- Matsushima, T. (1971). Microfungi of the Solomon Islands and Papua-New Guinea.
- Matsushima, T. (1980). Saprophytic microfungi from Taiwan. Part. 1. Hyphomycetes. *Matsushima Mycological Memoirs* No 1.

- Matsushima Fungus Collection.  
Matsushima, T. (1982). *Matsushima Mycological Memoirs* No 2. Matsushima Fungus Collection.
- Matsushima, T. (1983). *Matsushima Mycological Memoirs* No 3. Matsushima Fungus Collection.
- Matsushima, T. (1985). *Matsushima Mycological Memoirs* No 4. Matsushima Fungus Collection.
- Matsushima, T. (1987). *Matsushima Mycological Memoirs* No 5. Matsushima Fungus Collection.
- Matsushima, T. (1989). *Matsushima Mycological Memoirs* No 6. Matsushima Fungus Collection.
- Matsushima, T. (1993). *Matsushima Mycological Memoirs* No 7. Matsushima Fungus Collection.
- Matsushima, T. (1995). *Matsushima Mycological Memoirs* No 8. Matsushima Fungus Collection.
- Matsushima, T. (1996). *Matsushima Mycological Memoirs* No 9. Matsushima Fungus Collection.
- Matsushima, T. (2001). *Matsushima Mycological Memoirs* No 10. Matsushima Fungus Collection.
- Michaelides, J. y Kendrick, B. (1982). The bubble-trap propagules of *Beverlykella*, *Helicoon* and other aeroaquatic fungi. *Mycotaxon*, 14, 247-260.
- Nilsson, S. (1962). Some aquatic hyphomycetes from South America. *Svensk Botanisk Tidskrift*, 56, 351-361.
- Paliwal, P. y Sati, S. (2009). Distribution of Aquatic Fungi in Relation to Physicochemical Factors of Kosi River in Kumaun Himalaya. *Nature Science*, 7(3), 70-74.
- Pinto, M. y Smits, G. (2012). Evaluación preliminar de la riqueza de especies de hifomicetos acuáticos en ríos de la vertiente norte de la cordillera de la costa, Estado Aragua-Venezuela. *Intropica*, 7, 31-36.
- Pinto, M., Fernández, R. y Smits, G. (2009). Comparación de métodos en la caracterización de la biodiversidad de hifomicetos acuáticos en el río Cúpira, Estado Carabobo, Venezuela. *Interciencia*, 34(7), 497-501.
- Santos-Flores, C. y Betancourt-López, C. (1997). Aquatic and water-borne hyphomycetes (Deuteromycotina) in streams of Puerto Rico (Including records from other Neotropical locations). *Caribbean Journal of Science* (Spec. Publ. 2).
- Schoenlein-Crusius, I. y Grandi, R. (2003). The diversity of aquatic Hyphomycetes in South America. *Brazilian Journal of Microbiology*, 34(3), 183-193. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822003000300001>.
- Schoenlein-Crusius, I., Moreira, C. y Gomes, E. (2015). Riqueza dos fungos ingoldianos e dos fungos aquáticos facultativos do Parque Municipal da Aclimação, São Paulo, SP, Brasil. *Hoehnea*, 42(2), 239-251. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-52/2014>.
- Seena, S., Baschien, C., Barros, J., Sridhar, K., Graca, M., Mykra, H. y Bundschuh, M. (2022). Ecosystem services provided by fungi in freshwaters: a wake-up call. *Hydrobiologia*, 850, 2779-2794. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05030-4>.
- Seena, S., Gutiérrez, I., Barros, J., Nunes, C., Marques, J., Kumar, S. y Goncalves, A. (2022). Impacts of low concentrations of nanoplastics on leaf litter decomposition and food quality for detritivores in streams. *Journal of Hazardous Materials*, 429, 128320. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128320>.
- Smits, G., Fernández, R. y Cressa, C. (2007). Preliminary study of aquatic hyphomycetes from Venezuelan streams. *Acta Botánica Venezuelica*, 30(2), 345-355.
- Storaci, V., Fernández, R. y Smits, G. (2013). Evaluación de la calidad de agua del río Cúpira (La Cumaca, Estado Carabobo, Venezuela) mediante bioindicadores microbiológicos y parámetros fisicoquímicos. *Interciencia*, 38(7), 480-487.
- Storaci, V., Fernández, R. y Smits, G. (2014). Hifomicetos acuáticos en el río Cúpira (La Cumaca, Estado Carabobo, Venezuela). *Ciencia*, 22(1), 21-27.
- Tarda A., Nazareno, M. y Gómez, N. (2019). Assemblage of dematiaceous and Ingoldian fungi associated with leaf litter of decomposing *Typha latifolia* L. (Typhaceae) in riverine wetlands of the Pampean plain (Argentina) exposed to different water quality. *Journal of Environmental Management*, 250, 109409. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109409>.
- Tsui, C., Baschien, C. y Goh, T. (2016). Biology and Ecology of Freshwater Fungi. En D. W. Li (Ed.), *Biology of Microfungi* (pp. 285-313). Springer Verlag.

## Generación de imágenes digitales de alta resolución de artrópodos: soluciones pensadas para colecciones en Latinoamérica

## Generation of high-resolution digital images of arthropods: solutions designed for Latin American collections

Camilo Flórez-V<sup>1,2,\*</sup>  Juliana Cardona-Duque<sup>1,3</sup>  y Larry Jiménez-Ferbans<sup>4</sup> 

1. Grupo Biología CES, Universidad CES, Medellín, Colombia
2. Department of Entomology, The Pennsylvania State University, United States of America
3. Facultad de Ciencias y Biotecnología, Universidad CES; Colecciones Biológicas de la Universidad CES (CBUCES), Medellín, Colombia
4. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia

### Resumen

Las colecciones biológicas son importantes reservorios del patrimonio biológico. Estas instituciones desarrollan esfuerzos constantes para preservar y estudiar los especímenes que custodian, así como para hacer disponible la información que acompaña a dichos ejemplares. Los avances tecnológicos recientes les han brindado a las colecciones científicas una enorme capacidad para producir imágenes que facilitan alcanzar los objetivos de preservación y divulgación. Sin embargo, la generación de imágenes de alta resolución es vista como un proceso con alta demanda de equipos y elevada inversión presupuestal, lo que dificulta su implementación. Por ello, en este trabajo se sintetizan los requerimientos y los pasos necesarios para obtener, procesar y almacenar imágenes de artrópodos, proponiendo soluciones de diferentes costos que pueden ajustarse a las necesidades y realidades de las colecciones entomológicas latinoamericanas y de sus potenciales usuarios.

**Palabras clave:** fotografía; colecciones biológicas; digitalización; especímenes

### Abstract

Biological collections are important reservoirs of biological heritage. As such, these institutions make constant efforts to preserve and study the specimens in their custody, as well as to make available the information that accompanies them. Scientific collections have benefited from recent technological advances that make available an enormous capacity for the generation of images that facilitate the achievement of preservation and dissemination objectives. However, the generation of high-resolution images is seen as a process with a high demand for equipment and a high budget investment, which hampers its implementation. For this reason, in this work we synthesize the requirements and steps necessary to obtain, process, and store images of arthropods, proposing solutions of different costs, which can be adjusted to the needs and realities of Latin American entomological collections and their potential users.

**Key words:** photography, biological collections, digitization, specimens

\*Autor de correspondencia: [cx5395@psu.edu](mailto:cx5395@psu.edu)

Editor: Juan Carlos Narváez Barandica

Recibido: 23 de junio de 2023

Aceptado: 10 de julio de 2023

Publicación en línea: 30 de diciembre de 2023

Citar como: Flórez V, C., Cardona-Duque J. y Jiménez-Ferbans, L. (2023). Generación de imágenes digitales de alta resolución de artrópodos: soluciones pensadas para colecciones en Latinoamérica. *Intropica*, 18 (2), 153- 182. <https://doi.org/10.21676/23897864.4762>.



## Introducción

Las colecciones biológicas se han convertido en instituciones que albergan una muestra histórica y científicamente importante del patrimonio biológico, a través del trabajo continuo de décadas e incluso siglos (Holovachov *et al.*, 2014). Debido a las dinámicas actuales y las demandas de la sociedad, preservar, estudiar y dar acceso a este acervo de información se han convertido en las metas más importantes de los museos y colecciones biológicas (Brecko y Mathys, 2020). Para ese fin, se han incorporado constantemente procesos y herramientas que facilitan el manejo, la preservación y la disposición del material biológico.

Sin embargo, la tarea de preservar, catalogar y sistematizar, para posteriormente presentar y divulgar la información depositada en las colecciones, no es fácil, sobre todo si se tiene en cuenta el volumen de material que por lo general se almacena. Por ejemplo, en Colombia existen 290 colecciones biológicas registradas de forma oficial ante entidades gubernamentales (Registro Nacional de Colecciones: <http://rnc.humboldt.org.co>), entre las que se conservan más de 60 millones de especímenes (Sistema de Información de Biodiversidad de Colombia: SiB Colombia). La mayoría de estos son invertebrados, para los cuales solo el 12,2 % está catalogado y cerca del 10 % está publicado de manera abierta a través del SiB Colombia (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt [IAvH] y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2023: RNC en Cifras).

Consecuentemente, además del esfuerzo que se requiere para catalogar y sistematizar, se deben implementar soluciones de digitalización, tanto de datos de etiquetas como de los especímenes (*i. e.*, fotografías). De tal manera es posible optimizar el proceso y generar estrategias para el intercambio eficiente de información con especialistas locales y alrededor del mundo, entidades tomadoras de decisiones y el público en general.

Los avances tecnológicos recientes han puesto a disposición de las colecciones científicas una enorme capacidad para producir imágenes, lo que las convierte en importantes herramientas para apoyar investigaciones de muy diversas índoles. Así, pocas tecnologías están más extendidas en los laboratorios biológicos modernos que las enfocadas a la generación de estos recursos visuales (Eliceiri *et al.*, 2012). Para el caso de las colecciones biológicas, entre las aplicaciones de las fotografías se encuentran: referenciar material tipo, promover la consulta remota (evitando envíos innecesarios y exponer el material a

daños por transporte), facilitar la identificación taxonómica y apoyar estudios taxonómicos (v. g., consulta de caracteres morfológicos y análisis morfométricos).

Uno de los limitantes para generar fotografías de alta calidad de artrópodos, debido a su tamaño pequeño, es la profundidad de campo. Usualmente, con una sola fotografía no es posible enfocar por completo al espécimen, por lo que se ha desarrollado la técnica de apilamiento de enfoque, en la que se toman fotografías, cada una con una profundidad focal distinta (figura 1A), y todas se unen (apilan) en una imagen final (apilada) (figuras 1B, 1C, 2) por medio de un programa que detecta las áreas enfocadas de cada foto. Esta técnica, junto con una iluminación adecuada, ofrece muchas ventajas ya que con ella es posible obtener imágenes con mucho detalle de las diferentes estructuras de los organismos.

Los equipos y métodos necesarios para implementar apilamiento de enfoque son muy diversos, por lo que se deben tener en cuenta algunos aspectos en el momento de adquirirlos y usarlos, al igual que para obtener imágenes con ciertos requisitos de calidad y disponibilidad (Brecko y Mathys, 2020). Por esto, es conveniente que las colecciones establezcan protocolos con miras a obtener fotografías que garanticen la transmisión de información y respondan a las demandas de los usuarios. Teniendo en cuenta las necesidades y el presupuesto, es preciso que estos protocolos consideren el equipamiento requerido, la selección del material por digitalizar, los pasos y las consideraciones para la captura de imágenes (incluyendo selección y preparación de los especímenes, tipos de iluminación, software para el control de la cámara y el apilamiento de las imágenes), la edición y la difusión de las imágenes y la disposición de archivos.

En muchos casos, la implementación del apilamiento de enfoque en las colecciones se ve limitada por razones presupuestales. Sin embargo, esta técnica puede requerir una inversión mucho menor de lo que se piensa originalmente y, aunque muchas colecciones cuentan con los equipos básicos para generar imágenes de alta resolución, en bastantes ocasiones desconocen la utilidad de estos y la simpleza de las necesidades adicionales. Por ello, en este trabajo se sintetizan los requerimientos y pasos necesarios para obtener, procesar y almacenar imágenes de artrópodos usando el apilamiento de enfoque, a la vez que se proponen soluciones de diferentes costos que pueden ajustarse a los requerimientos y las realidades de las colecciones entomológicas latinoamericanas y sus usuarios potenciales.

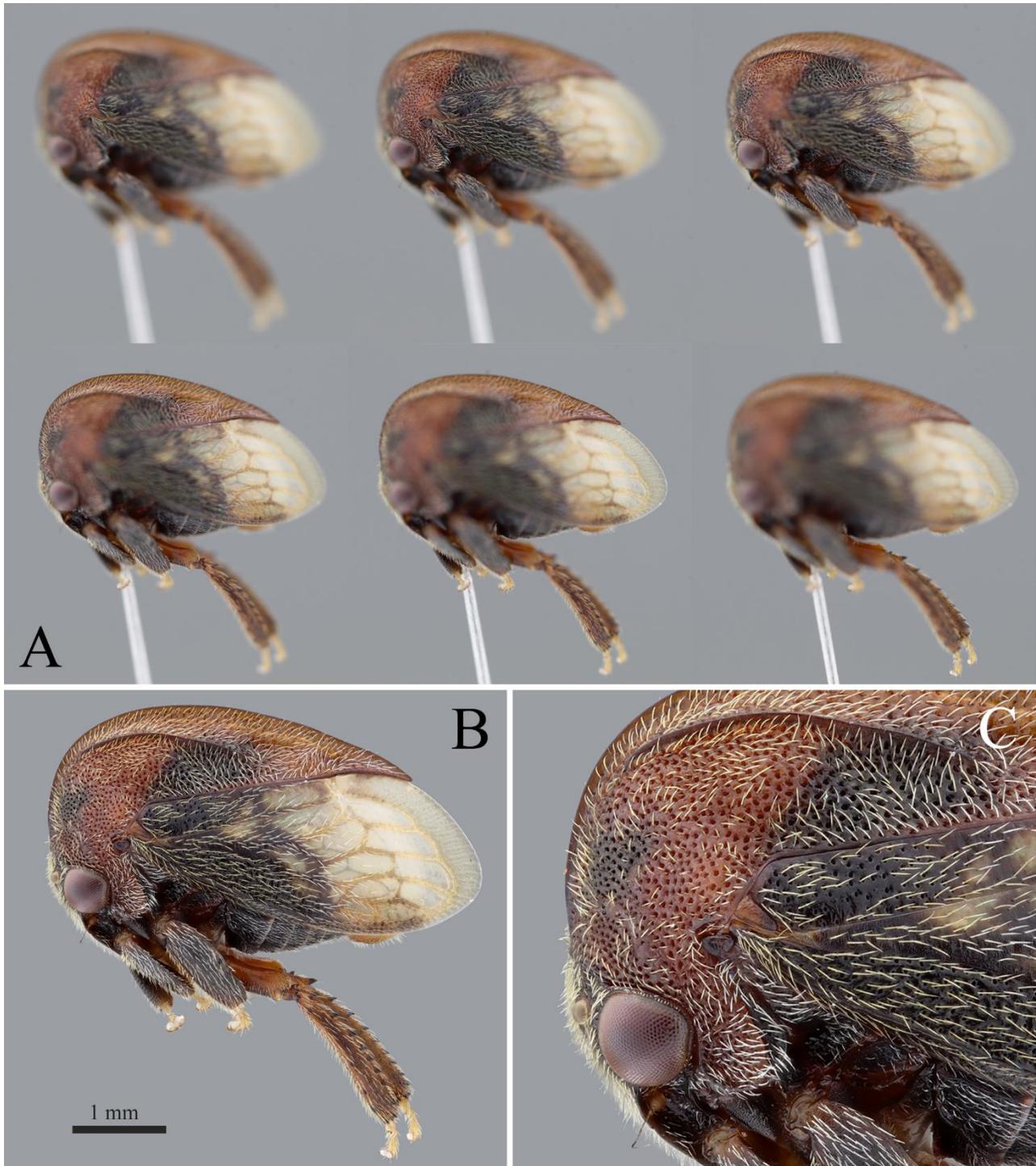


Figura 1. Demostración del proceso de apilado de imágenes: (A) Imágenes secuenciales a diferentes distancias focales, (B) imagen apilada compuesta a partir de la secuencia de imágenes, (C) Acercamiento de la imagen. El número de imágenes digitales que se generan en la secuencia dependerá del tamaño del espécimen, de manera que se pueda cubrir la estructura de interés completamente sin perder detalles importantes de la cutícula y la cobertura del cuerpo del espécimen. Fotos: C. Flórez-V.

### Materiales y métodos

Los protocolos descritos en este documento condensan la

experiencia acumulada por los autores, durante años, en la búsqueda de estrategias para generar imágenes digitales en distintas colecciones entomológicas en Brasil (Museu de

Zoología da Universidade de São Paulo), Colombia (principalmente en las Colecciones Biológicas de la Universidad CES [CBUCES] y la Universidad del Magdalena [Unimagdalena]), Estados Unidos (The Frost Entomological Museum de Pennsylvania State University) y Puerto Rico (Invertebrate Collection de la Universidad de Puerto Rico).

Las fotos de ejemplo de los insectos aquí presentados fueron

tomadas con un sistema de apilamiento de enfoque (*focus stacking*). Esta técnica consiste en capturar una secuencia de múltiples imágenes del espécimen en la misma posición, cambiando la distancia de enfoque de la cámara (ver el resumen de la secuencia en la figura 1). Posteriormente, esta serie de registros se apilan en uno solo, en el que todos los planos de enfoque alcanzan la mayor nitidez (figuras 1B, 2), usando programas informáticos.

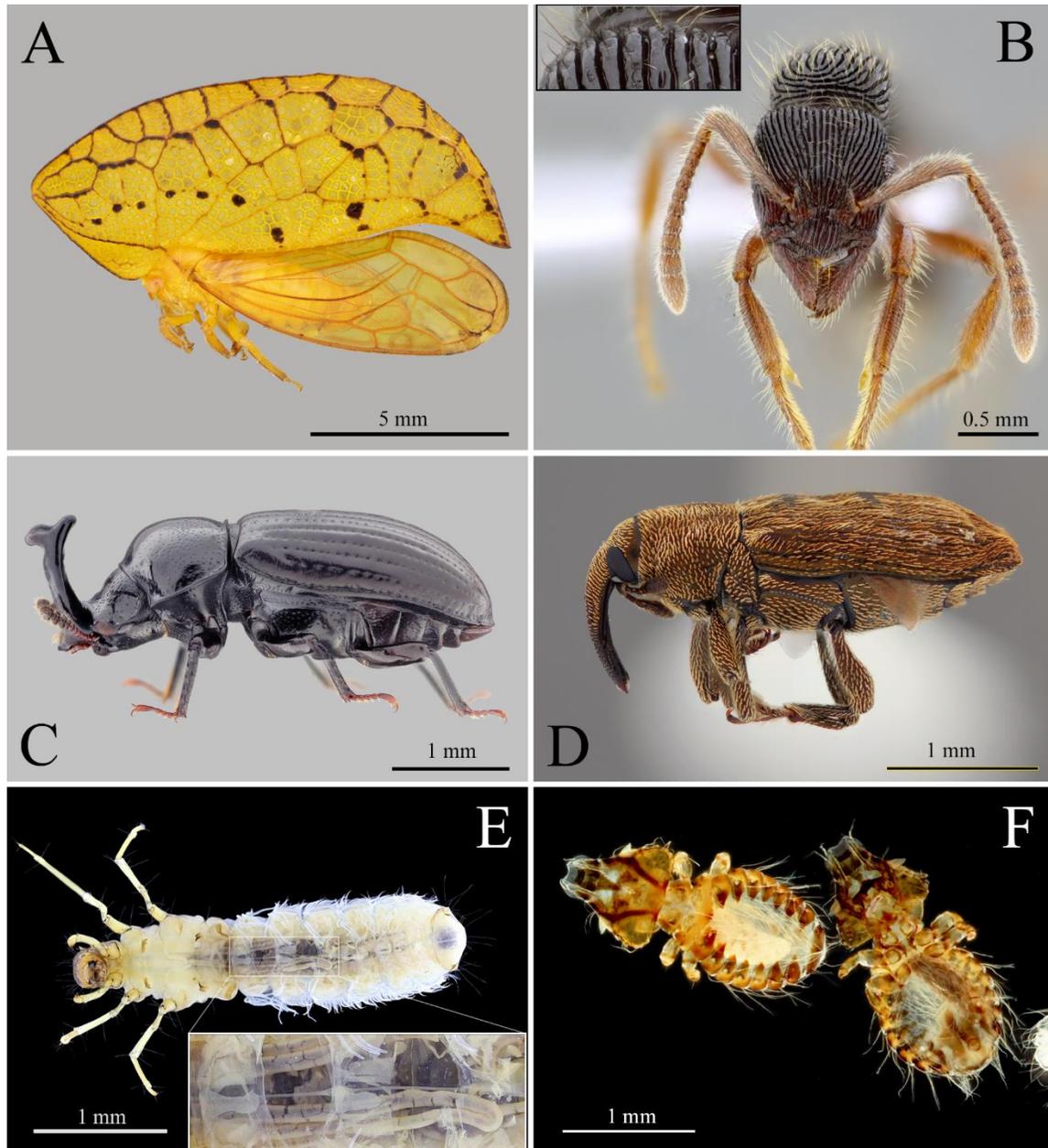


Figura 2. Fotos de insectos tomadas siguiendo el protocolo aquí descrito. A) *Oeda inflata* (Hemiptera: Membracidae). B) *Gnamptogenys strigata*. (Hymenoptera: Formicidae). C) Tenebrionidae (Coleoptera). D) Baridinae (Coleoptera: Curculionidae). E) *Phylloicus* sp. (Trichoptera: Calamoceratidae). F) Phthiraptera (Psocodea). Las fotos E y F corresponden a especímenes fotografiados en líquido y fondo negro. Fotos: C. Flórez-V.

Las fotografías empleadas fueron tomadas con un lente Canon MP-E 65 mm, montado en una cámara Canon EOS Rebel T7i. Se usaron dos métodos para desplazar estos dispositivos hacia el espécimen que sería fotografiado: en el primero se utilizaron una base y un soporte de estereomicroscopio para sostener y desplazar la cámara, moviendo el sistema de forma manual a

intervalos relativamente iguales (figura 3; ampliación en la sección de resultados). El segundo consistió en un mecanismo automatizado, con un riel StackShot 3X Macro Rail (Cognisys: cognisys-inc.com) que se desplazó a distancias preestablecidas, controlado desde un computador a través del programa Helicon Remote v. 4.3.1 (Helicon Soft; www.heliconsoft.com) (figura 4).

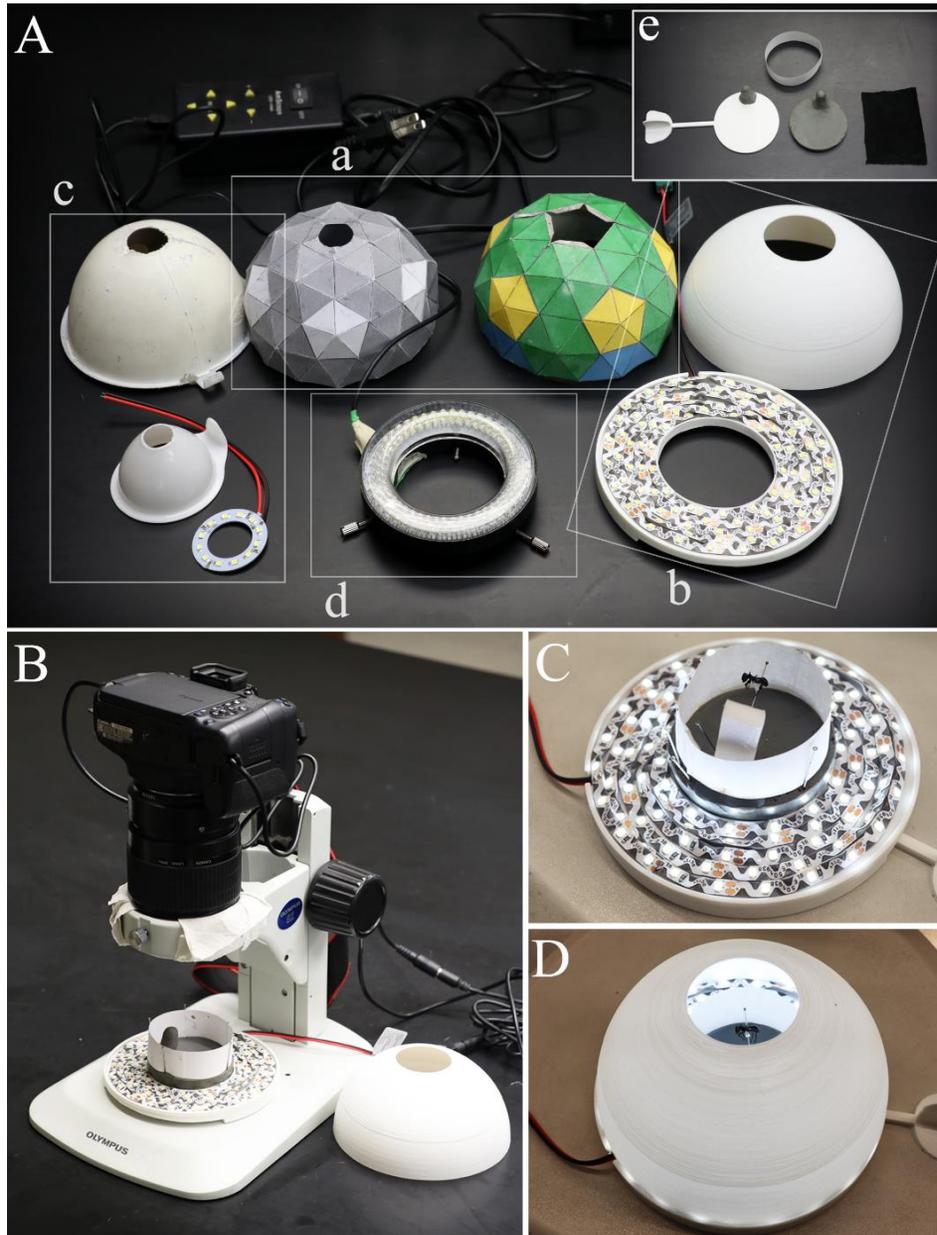


Figura 3. Equipos relacionados con iluminación: A) Domos, luces LED y tipos de fondo usados en el sistema de fotografía aquí descrito. (a) Domos diseñados siguiendo la plantilla de Kawada y Buffington (2016); (b) Domo en impresión 3D y luz LED construida según las indicaciones de Bäumler *et al.* (2020); (c) Domos construidos a partir de embudos y luz LED ojo de ángel de 40 mm de diámetro; d. anillo AM Scope 144 LED Four-Zone; (e) tipos de fondo (blanco opaco, gris estándar, negro opaco), plastilina moldeable y anillo difusor. B) Sistema de fotografía a partir del desplazamiento de cámara y lente a partir de un soporte de estereomicroscopio, para la generación de múltiples imágenes secuenciales. C) La plastilina se usa para posicionar el espécimen, el anillo difusor (señalado con la flecha) no permite que la luz del anillo LED incida directamente en el espécimen. D) El domo refleja la luz del anillo LED de forma homogénea. Fotos: C. Flórez-V.

Para la iluminación, se usó un anillo de luces LED (AM Scope 144 LED Four-Zone Microscope Ring Light), cubierto con un domo de papel construido a partir de la plantilla de Kawada y Buffington (2016). Asimismo, se utilizó un sistema compuesto por cinta SMD LED 2835 (Demasled: [www.demasled.us](http://www.demasled.us)) y un domo obtenido en impresión 3D con base en la plantilla de Bäumlér *et al.* (2020). Además, se elaboró un anillo deflector mediante papel bond de 90 g, papel pergamino o papel mantequilla (Kawada y Buffington, 2016), con el fin de reducir los brillos y permitir una iluminación más uniforme del ejemplar.

Los computadores empleados para todas las fases fueron: iMac Chip M1, de 8 GB de memoria, con CPU de ocho núcleos y GPU de ocho núcleos; MacBook Air M1, de 8GB de memoria, con CPU de ocho núcleos y GPU de ocho núcleos; y portátil Asus FX506LI-HN039 CI5 10300H, de 16 GB de memoria y con disco duro de estado sólido/90NR03T1-M04530 y tarjeta de video 1.650 ti de 4 GB.

Las imágenes fueron apiladas mediante el programa Helicon Focus v. 8.2.3 (Helicon Soft: [www.heliconsoft.com](http://www.heliconsoft.com)) y posteriormente editadas en Adobe Photoshop®. En la sección de resultados se indicará la notación utilizada durante la edición para especificar las herramientas, los usos y los comandos en Photoshop para los sistemas operativos de Windows y MacOS. Las funciones avanzadas de las herramientas se pueden

consultar en la guía de usuario de Photoshop.

## Resultados

A continuación, se presenta un protocolo general y recomendaciones para realizar apilamiento de enfoque usando como iluminación la luz de un anillo LED difuminada por un domo geodésico (Bäumlér *et al.*, 2020; Kawada y Buffington, 2016) y dos sistemas de movimiento de la cámara, por medio de rieles motorizados (automatizado) o manualmente, con ayuda de un soporte de estereomicroscopio.

Para asegurar buena calidad y la utilidad de la secuencia de imágenes generadas con diferentes distancias focales (figura 1A) que se usaron en la composición final (figuras 1C, 2), se plantean algunas consideraciones con respecto a la selección y preparación de los especímenes, la iluminación, los fondos de las imágenes, la configuración de la cámara y el manejo de los distintos softwares y sistemas de apilamiento. También se presentan algunas recomendaciones generales acerca del procesamiento posterior de las imágenes generadas (v. g., edición y almacenamiento) y acerca de la infraestructura y los costos de los equipos y software. Asimismo, se hacen algunas consideraciones sobre el tiempo de personal necesario. Para navegar el documento, puede usarse como referencia la tabla 1.

Tabla 1. Contenidos del protocolo presentado, donde se incluyen los aspectos generales de preparación, el procedimiento de toma de fotografías para especímenes montados en alfiler entomológico y otros aspectos importantes para la aplicación del protocolo incluido en este artículo.

1. Aspectos generales de preparación para el protocolo
1.1. Iluminación
1.2. Configuración de la cámara
1.3. Sistemas de apilamiento de enfoque
1.3.1. Manual
1.3.2. Automatizado con uso de rieles motorizados
1.3.3. Otras consideraciones sobre la selección del sistema de apilamiento
1.4. Programas para controlar la cámara y apilar las imágenes
2. Protocolo de toma de fotografías para especímenes montados en alfiler entomológico
2.1. Preparación de los equipos, preparación y limpieza de los especímenes, y verificación de las conexiones
2.2. Configuración de la cámara desde el computador para generar imágenes a diferentes distancias focales
2.3. Generación de la secuencia de imágenes a diferentes distancias focales
2.3.1. Soporte de estereomicroscopio
2.3.2. Riel <i>StackShot</i>
2.4. Apilamiento de la secuencia de fotos
2.5. Recomendaciones al nombrar el archivo de la imagen final apilada
2.6. Generación de la escala de la imagen
3. Otros aspectos para tener en cuenta durante la aplicación del protocolo
3.1. Selección, limpieza y preparación de los especímenes
3.2. Posicionamiento de los especímenes
3.3. Fondo de la imagen

- 
- 3.4. Fotografías para especímenes en líquido
  - 3.5. Edición de las imágenes finales
  - 3.6. Manejo posterior de imágenes digitales de alta resolución con diferentes fines
  - 3.7. Espacios físicos destinados para la digitalización
  - 3.8. Equipos recomendados: tamaño de los especímenes y presupuesto
  - 3.9. Costo y tiempo de toma de fotografías
  - 4.0. Glosario
- 

## 1. Aspectos generales de preparación para el protocolo

### 1.1 Iluminación

Para la fotografía de artrópodos, es indispensable que la luz no llegue directamente de la fuente, sino que sea difuminada o llegue de forma indirecta. Para dicho fin, se usan anillos LED, concentrando y difuminando la luz a través de un domo geodésico (Kawada y Buffington, 2016). Estos dos dispositivos son opciones económicas respecto a los sistemas de iluminación con flashes que ofrecen resultados iguales o superiores.

De hecho, Kawada y Buffington (2016) establecieron un sistema de iluminación escalable y modular que permite construir domos y anillos de LED de distintos tamaños según las necesidades (figura 3a). También existen otras opciones de bajo costo compuestas por domos obtenidos a partir de impresión 3D y luces LED moldeables, como las propuestas por Bäumlér *et al.* (2020) (figura 3 A, b).

Los sistemas mencionados permiten que, dependiendo del tamaño de los especímenes, se puedan crear domos y anillos LED que concentren más la luz. Cuanto más pequeño sea el insecto, más luz se necesitará ya que se requerirá una mayor magnificación, que a su vez reduce la cantidad de luz que llega al sensor de la cámara para capturar la imagen. Asimismo, a mayor magnificación, menor debe ser la distancia de enfoque (en el caso del lente Canon MP-E 65 mm), lo cual va a exigir que el lente esté más cerca del ejemplar.

Lo anterior se hace mucho más importante a la hora de recurrir a magnificaciones muy altas ya que las distancias de enfoque son muy cortas y, por ende, se requerirán domos y anillos más pequeños. Afortunadamente, Kawada y Buffington (2016) y Bäumlér *et al.* (2020) ofrecen soluciones para tamaños pequeños de dichos elementos, que pueden usarse, en efecto, con altas magnificaciones como las ofrecidas por los objetivos de microscopio (figura 3A).

Si la iluminación es homogénea y difuminada, es posible que algunas zonas de la escultura del tegumento se vean aplanadas

y no se logren distinguir ciertos relieves. Esto puede deberse a la falta de una luz direccionada, lo que constituye una desventaja de este sistema. Sin embargo, esta puede ser solucionada parcialmente mediante domos con porciones pintadas de negro opaco (Kerr *et al.*, 2008), lo cual permite una distribución desigual de la luz en el interior del domo y crea algunas sombras.

El anillo deflector de papel es muy importante para no permitir el paso directo de la luz del anillo LED al espécimen. De esta forma es posible mantener la textura y las setas de los bordes, además de impedir la pérdida de detalles, especialmente en ejemplares muy lisos y brillantes. Este dispositivo puede hacerse con papel bond blanco de distintos gramajes, aunque se recomiendan en particular aquellos que eviten el paso directo de la luz, pero a su vez permitan difuminarla (entre 75-90 g) (figura 3 A, e).

Los sistemas que emplean flashes también permiten una buena iluminación de los especímenes, si se acompañan con algún dispositivo de difusión de la luz. En estos casos se puede sacar provecho si además se usan en conjunto cámaras de luz. Una de las ventajas de esta alternativa respecto a los domos es que la luz es direccionada, lo cual permite ver relieves y esculturas en el tegumento. También pueden ser más beneficiosos en la fotografía de insectos en líquido ya que reducen la manipulación de estos y el movimiento alrededor de ellos. Sin embargo, los flashes generalmente tienen un costo mayor, se deben dejar descansar entre secuencias de fotos, requieren ser reemplazados en el tiempo debido a su vida útil y demandan inversión en baterías y sistemas de recarga.

### 1.2 Configuración de la cámara

En esta sección se explican algunos aspectos básicos de la fotografía, importantes a la hora de configurar la cámara para obtener imágenes de buena calidad y con una iluminación y un color correctos.

El ISO, la apertura del diafragma y el tiempo de exposición son los elementos de la cámara que permiten manejar la luz en la fotografía. El ISO es la sensibilidad que tiene el sensor de la cámara para captar la luz. Así, a mayor número de ISO, mayor

sensibilidad y mejor capacidad para capturar luz. Sin embargo, esto se traduce en una pérdida de calidad de la imagen (generando ruido, un efecto de granulación). Por lo tanto, a pesar de que a ISO menores el sensor es menos sensible para capturar la luz, la imagen queda con menos ruido y una mayor calidad.

La apertura del diafragma permite aumentar o disminuir la profundidad de campo (i. e., la parte enfocada dentro de la imagen). En el primer caso, se debe cerrar más el diafragma (mayores números de f-), lo que hace que entre menos luz al sensor de la cámara. En el segundo caso, se abre el diafragma (menores valores de f-) para que la cámara capte más luz.

El tiempo de exposición se refiere al lapso en que el obturador está abierto, permitiendo que la luz pase hasta el sensor para captar la imagen. Por lo tanto, a medida que aumente este periodo, la cámara logrará captar más luz. Sin embargo, si hay movimiento de la cámara o del objeto por fotografiar, la imagen quedará movida y poco definida. Al contrario, si el obturador se abre menos tiempo, la cámara logra captar menos luz, pero en caso de movimientos de la cámara o del objeto por registrar que no sean perceptibles la imagen quedará definida.

Con estos aspectos del manejo de la luz se puede lograr un balance para obtener una buena calidad de imagen. En la fotografía de colecciones, los objetos están inmóviles y la cámara está acoplada a un soporte estático (ver abajo recomendaciones para reducir las vibraciones en el sistema); por ello, se pueden tomar fotos con tiempos de exposición relativamente altos (hasta 1/15), manteniendo idealmente el ISO entre 100-200, con el fin de conseguir una imagen de buena calidad.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que, a medida que la magnificación aumenta, la luz que capta la cámara es menor y el efecto de la vibración o movimientos en el sistema de fotografía se hacen más evidentes. Así, se puede compensar la necesidad de disminuir el tiempo de exposición abriendo el diafragma (el menor f- posible), por lo que la profundidad de campo se verá disminuida y se deberán tomar más fotos, y a menor distancia, para lograr capturar el detalle de la superficie.

Asimismo, el balance de blancos es muy importante para mantener los colores reales o naturales de los especímenes (Allen y Triantaphillidou, 2012). Este equilibrio va a depender mucho de la fuente de iluminación y de la temperatura del color que emita (e. g., luz cálida —amarilla— o fría —azulada—). Las cámaras tienen opciones para realizar este balance de forma

automática, y en algunas se puede hacer manual o escoger entre varias opciones para neutralizar la temperatura del color. Lo recomendable es tener fuentes de iluminación con una temperatura del color neutra entre 5.200-6.000 k (estas especificaciones se encuentran en la mayoría de las fuentes de iluminación) ya que así las imágenes preservarán los colores naturales y se ahorrará tiempo en el proceso de edición después de generar la imagen final. Otra opción es crear perfiles de color usando cartas de color, lo cual permite configurar y obtener un color preciso dada una forma estandarizada de iluminación.

### 1.3. Sistemas de apilamiento de enfoque

Hay diferentes formas de realizar el apilamiento de enfoque, dependiendo del lente y de la cámara que se tenga. En los lentes con distancia de enfoque fijo o manual (según la magnificación) como el Canon MP-E 65 mm, el Laowa 60 mm o el Laowa 25 mm, es necesario que la cámara o el objeto se alejen y acerquen para tomar fotos enfocando diferentes áreas del espécimen. Este movimiento de aproximación y distanciamiento puede hacerse de forma manual (empleando un soporte de estereomicroscopio) o automatizada (mediante un riel motorizado).

#### 1.3.1. Manual

En este sistema, la cámara se acopla al soporte de un estereoscopio, y el movimiento de la cámara se hace a través del tornillo de enfoque. En este caso se requiere un estereoscopio cuyo cabezal pueda separarse de la base (figuras 3B, 3C). Al igual que para el sistema automatizado, es necesario que el soporte del estereoscopio esté firme y que la cámara quede bien acoplada a él.

Los tornillos de enfoque se pueden aflojar o afirmar, según las preferencias del usuario, para que el movimiento entre cada foto sea más suave. Normalmente, esto se logra girando los dos lados del tornillo en direcciones opuestas, en cuyo caso se recomienda revisar las características de la base del estereomicroscopio. Para lograr un buen acople de la cámara al soporte se pueden usar papeles (figuras 3B, 3C) o incluso el parasol del lente.

Una ventaja de este sistema es que, con cierta destreza, es posible hacer movimientos suaves entre cada foto sin generar vibración. Esto es conveniente para tomar registros de especímenes pequeños (menores a 8 mm) que requieren mayor aumento (4X-5X) y por tanto más luz o tiempos de exposición más largos.

Por otro lado, una de las desventajas es que requiere destreza y experiencia para lograr que los ajustes del tornillo de enfoque sean iguales (o sea, se use la misma distancia en cada paso) y cortos. Además, el movimiento de dicho tornillo debe ser mucho más fino a medida que se aumenta la magnificación. Sin embargo, durante algunas pocas horas de práctica es posible alcanzar la pericia necesaria para este proceso, aunque, a diferencia del riel motorizado, en general se tiende a sobreestimar el número de fotos que se toman (más pasos de los necesarios, lo que lleva a una mayor inversión de tiempo y espacio utilizado en los discos duros).

### 1.3.2. Automatizado con uso de rieles motorizados

En este sistema se usan rieles movidos por un motor programado para realizar desplazamientos (pasos) de distancias iguales, desde la parte más cercana del insecto respecto al lente hasta la más alejada. Cada una de las fotos tiene un área que se traslapa con la anterior, de tal forma que el software pueda apilar las fotos. Entre los rieles más usados están los de Cognysis StackShot y los de Wemacro Rail ([www.wemacro.com](http://www.wemacro.com)), que generalmente son instalados en un soporte firme (v. g., stand copy), donde quedan en posición vertical, mientras que el espécimen se pone en la base del soporte (figuras 4A, 4E).



Figura 4. Sistema automatizado de desplazamiento de cámara y lente por medio de un riel motorizado, para la generación de múltiples imágenes secuenciales: A) Soporte para el sistema para posicionamiento vertical. (a) anillo de luz led; (b) Disposición de cables y accesorios del sistema. B) Detalle del acoplamiento del riel (Macro Rail) al soporte. (c) Riel en disposición horizontal. C) Detalle del soporte en el punto de anclaje del riel. (d) Tornillo de ensamble del soporte al riel; (e) Posición retraída del brazo del soporte para disminuir el torque. D) Disposición horizontal del sistema. E) Alternativa para la disposición vertical del sistema, con (f) soporte de prensa de mesa con tornillo. Fotos: J. Cardona-Duque (A-C), L. Jiménez-Ferbans (D) y C. Flórez-V (E).

Alternativamente, el riel puede apoyarse en un soporte horizontal, colocando el espécimen de forma vertical y enfrente del lente (figura 4D). En esta última forma de instalación, sin embargo, es un poco más difícil usar el sistema de iluminación con el domo, pero también es posible usar otras opciones (v. g., flashes, cajas de luz). Asimismo, existen más posibilidades de instalación de este sistema, donde la cámara permanece inmóvil, mientras que el espécimen se desplaza por medio del riel.

Una ventaja del sistema automatizado es que permite optimizar el número de pasos entre cada foto, además de dar la posibilidad de ajustar la distancia del movimiento entre los registros. Esto puede hacer que sea más eficiente la toma de fotografías, además de no requerir mayor destreza respecto al sistema manual. Asimismo, resulta particularmente útil con especímenes grandes (mayores a 8 mm) ya que requieren poco aumento, hay más iluminación y la cámara se puede configurar con tiempos de exposición menores.

Sin embargo, como desventaja se encuentra que este montaje puede generar vibraciones con el movimiento del motor, por lo que se recomienda usar un soporte para este último que sea muy estable y robusto, además de aumentar el tiempo de pausa entre fotografías a medida que se incrementa la magnificación. También se pueden modificar las configuraciones del riel para ajustar la fuerza y velocidad con la que este se mueve con el fin de suavizar el desplazamiento y reducir vibraciones (ver en el manual de StackShot [cognisys-inc.com] las propiedades de *Tramp*, *Torque* y *Hi Precision*).

Igualmente, esta alternativa automatizada es relativamente portátil, dependiendo del soporte, por lo que puede ser transportada (figura 4E) a otras colecciones e incluso a sitios en campo con acceso a electricidad. Esto da cierta independencia a los investigadores frente al sistema de fotografía cuando se desplazan a revisar material a otros museos. Sin embargo, tiene un costo mayor al manual.

Para calcular la distancia y el número de pasos, es necesario consultar la profundidad de campo del lente en cada magnificación (Brecko y Mathys, 2020). Esta información se encuentra en los manuales de cada uno de los lentes. En un principio, lo ideal es mantener la apertura (f-) efectiva. Sin embargo, dado que el tipo de fotografía aquí tratado requiere mayor entrada de luz para mantener un ISO de 100-200, la apertura oscilaría entre 2,8 y 5,6, dependiendo de la intensidad del sistema de iluminación. Según el manual del Canon MP-E 65

mm, por ejemplo, la profundidad de campo a 1X de magnificación y una apertura de 2,8 es de 396  $\mu\text{m}$ . De esta forma, se deberían escoger pasos más pequeños para asegurarse de que haya cierto solapamiento entre cada uno de ellos. En este caso, entonces, se seleccionarían pasos de 300-350  $\mu\text{m}$ . Asimismo, la profundidad de campo a 4X de magnificación y una apertura de 2,8 es de 62  $\mu\text{m}$ , por lo que se debería usar una distancia de paso de 40-50  $\mu\text{m}$ .

La distancia de los pasos se puede configurar en Preferencias > Disparo > StackShot en "Tamaño de un paso de enfoque". Enseguida a esto, después de seleccionar la zona más cercana al lente (A) y la más lejana (B), Helicon Focus calculará automáticamente el número de disparos que hay entre estos dos puntos. Como indican Brecko y Mathys (2020), el promedio de número de pasos para generar una imagen final apilada está entre 15 y 40, si se siguen estas recomendaciones.

Otro método alternativo es usar el enfoque automático de algunas cámaras y los lentes sin necesidad de mover todo el sistema (Mertens *et al.*, 2017). Esto se puede lograr, por ejemplo, con el Canon 100 mm Macro IS USM y empleando Helicon Remote para escoger el lugar más cercano del espécimen y el más lejano, y configurar la cantidad de pasos-fotos que se tomarán. Sin embargo, en este artículo no se profundizará en esta técnica ya que los autores no han probado los resultados de las imágenes obtenidas con ella. En ese sentido, cabe precisar que no es posible recurrir a este método con los lentes de distancia de enfoque fijo mencionados anteriormente ya que el enfoque en ese caso es manual. Mertens *et al.* (2017) discuten en detalle el uso de este sistema, incluso usando cámaras compactas de un precio mucho menor.

#### 1.4 Programas para controlar la cámara y apilar las imágenes

También existen diferentes programas para ajustar las configuraciones de la cámara desde el computador (figura 5) y realizar el apilamiento de enfoque (figura 6). Una opción gratuita para Windows es Combine ZP, el cual permite alinear las imágenes y apilarlas usando distintos métodos. Asimismo, es preciso mencionar que esta alternativa solo realiza el apilamiento de las imágenes y no permite controlar la cámara desde el computador, por lo cual se necesita usar el programa para la cámara (v. g., Canon EOS Utility). Además, Combine ZP no funciona adecuadamente con archivos muy pesados (v. g., fotos en RAW) o con lotes grandes de fotos.

Desde Canon EOS Utility es posible cambiar las configuraciones de la cámara (v. g., tiempo de exposición, ISO, apertura) y tomar vistas previas y fotografías. Sin embargo, no permite programarlo para que tome fotografías de forma automática, sin tener que hacer clic para cada foto. Si se usa el riel de StackShot, se puede configurar la cámara desde Canon EOS Utility y programar la toma de fotografías directamente desde el riel.

Por otro lado, hay programas que permiten controlar y configurar la cámara desde el computador (cambios en el tiempo de exposición, ISO, apertura del diafragma) y apilar las imágenes. Adquirir la licencia de uso en este caso representa un costo, pero es a perpetuidad, con derecho a actualizaciones, y en algunas oportunidades da la posibilidad de instalar el programa en más de un computador. Unos de los más usados de este tipo son Helicon Focus y Zerene Stacker ([www.zerene.com](http://www.zerene.com)), mediante los cuales se pueden controlar y configurar la cámara y el riel StackShot, además de importar y apilar las fotos.

Helicon Focus es más veloz que Zerene Stacker en el apilamiento de enfoque; sin embargo, este último permite alinear las fotos antes de apilar, lo cual puede ser muy conveniente para tomar fotografías a especímenes en líquido, en donde hay leves movimientos (Brecko y Mathys, 2020). Ambos programas también tienen la opción de editar la imagen después de apilar el grupo de fotos (figura 6C). Asimismo, cada uno tiene distintos métodos de apilamiento con diferentes fines; en particular, el Método C (Pirámide) en Helicon Focus y el PMax en Zerene Stacker son los que dan mejores resultados para capturar imágenes de especímenes (Brecko *et al.*, 2014). A pesar de su costo, estas dos opciones facilitan notablemente el registro visual de artrópodos en las colecciones y realizan un apilamiento mucho más limpio y definido que Combine ZP.

Finalmente, estos programas se pueden configurar para hacer múltiples apilamientos por lotes (*batch*) (figura 6B), por lo que se pueden obtener secuencias de fotos de distintos especímenes o distintas vistas, y no necesariamente apilarlas todas inmediatamente. Este método tiene la ventaja de que al final del día se puede dejar el computador ejecutando los apilamientos y optimizar así el tiempo en la toma de fotografías, lo que resulta conveniente si se está completamente seguro de que las capturas de imagen se están realizando de forma adecuada.

## 2. Protocolo de toma de fotografías para especímenes montados en alfiler entomológico

Para seguir el protocolo a continuación, se requieren los siguientes equipos y materiales:

- 1) Cámara Canon Rebel T7i (o cualquier cámara Canon de lentes intercambiables con sensor APS-C).
- 2) Lentes Canon MP-E 65 mm (para ejemplares entre 2-25 mm) o Canon EF 100 mm f/2.8L Macro IS USM (para ejemplares mayores a 25 mm, en enfoque manual).
- 3) Anillo LED para microscopio AM Scope 144 LED Four-Zone (o cualquier sistema de iluminación a partir de luces o anillos LED; ver sección de iluminación y figura 3A).
- 4) Riel motorizado StackShot 3X Macro Rail (Cognysis) o soporte de estereomicroscopio (una alternativa de bajo costo para el riel, figura 3).
- 5) Computador MacBook Air M1 2020 (o cualquier computador con suficiente capacidad de procesamiento; ver las especificaciones para Helicon Focus en [www.heliconsoft.com](http://www.heliconsoft.com)).
- 6) Domo geodésico del tamaño estándar, diseñado según lo propuesto por Kawada y Buffington (2016) (figura 3 A, a) o Bäumlér *et al.* (2020) (figura 3 A, b), aunque una alternativa puede ser un embudo semiesférico con el interior blanco (figura 3 A, c).
- 7) Dos cables USB A a Mini B.
- 8) Plastilina color gris estándar (lo más cercano al gris 18 % de las tarjetas de fotografía; figura 3 A, e) y una placa (puede ser una caja de Petri pequeña) para alojar la plastilina y moldearla según las necesidades.
- 9) Anillo deflector (de papel bond de 90 g, papel pergamino o papel mantequilla; figura A, e).
- 10) Para el sistema que usa riel motorizado, soporte de fotografía (figura 4a) o base para la disposición horizontal del riel (figura 4d).

Para cada actividad del protocolo se describen los pasos en orden secuencial en las siguientes subsecciones.

### 2.1 Preparación de los equipos, preparación y limpieza de los especímenes, y verificación de las conexiones

Preparación de los equipos, preparación y limpieza de los especímenes, y verificación de las conexiones

- 1) Limpiar los equipos y asegurarse de que el lente y el sensor de la cámara estén limpios.
- 2) Asegurarse de que la batería de la cámara esté cargada (existen también adaptadores que permiten conectar la cámara a corriente alterna).

- 3) Instalar el anillo LED, procurando que los cables no interfieran con otros equipos (figura 4a).
- 4) Colocar la placa con plastilina gris (verificando que, en la medida de lo posible, la base esté limpia y la superficie sea homogénea, particularmente en la zona donde quedará el fondo de la foto) y disponer el anillo deflector cerca de la iluminación.
- 5) Preparar y limpiar los especímenes, como se describe más adelante en esta metodología.
- 6) Para conectar los equipos, se recomienda seguir los pasos, de acuerdo con el soporte que usará para desplazar la cámara, como se describe en la tabla 2.

Tabla 2. Pasos para la conexión de equipos de acuerdo con el tipo de soporte con el que cuenta la colección, para movilizar la cámara durante la generación de imágenes secuenciales.

Si se emplea soporte de estereomicroscopio	Si se emplea un riel StackShot
i) Acoplar la cámara al soporte del estereomicroscopio, asegurarse que quede firme para evitar vibraciones (figura 3B–C).	i) Acoplar el riel al soporte (si se usa soporte se recomienda que el brazo esté recogido, para disminuir el torque; figura 4C) y asegurarlo firmemente (Figura 4C); se recomienda además verificar con un nivel que está completamente vertical (Figura 4B).
ii) Conectar el cable de la cámara al computador (cable USB A a Mini B).	ii) Acoplar la cámara al riel y asegurarla firmemente.
iii) Colocar el anillo LED junto con la placa con plastilina gris debajo de la cámara.	iii) Conectar el cable del controlador del riel al computador y el cable de la cámara al computador (cables USB A a Mini B). Conectar el cable del riel al controlador del riel. Conectar el cable del adaptador del riel a la electricidad.
	iv) Encender el riel (este paso antes de abrir Helicon Remote permite que la conexión del riel al computador sea reconocida).
	v) Colocar el anillo LED junto con la placa con plastilina gris en frente de la cámara.

## 2.2. Configuración de la cámara desde el computador para generar imágenes a diferentes distancias focales

- 1) Abrir Helicon Remote en el computador (figura 5).
- 2) Encender la cámara y esperar que el programa la detecte. En caso de que esto no suceda, podrá buscarla manualmente en el menú "Ajustes de la cámara", en la esquina superior derecha de la ventana del programa. Esto permitirá cambiar la configuración de la cámara (v. g., ISO, apertura del diafragma, tiempo de exposición) desde el computador (no será posible modificar estos parámetros desde la cámara).
- 3) Activar la visión en directo.
- 4) Configurar la cámara en ISO automático para poder observar el espécimen mientras se ajusta la posición (este ISO se podrá modificar más adelante).
- 5) Ubicar el insecto y ajustarlo en la vista deseada usando la plastilina gris. Este debe quedar lo más al centro posible (trazando la circunferencia de los anillos LED). Usando el riel, se puede enfocar el espécimen acercando o alejando la cámara mediante las flechas en la sección "Horquillado de enfoque" del

programa. En caso de emplear el soporte del estereomicroscopio, esta aproximación o distanciamiento de la cámara se pueden hacer ajustando el tornillo de enfoque.

- 6) Ajustar la magnificación del lente. Se debe intentar que el espécimen quede lo más magnificado posible, pero dejando cierto espacio libre en los bordes.
- 7) Configurar la calidad de la imagen en fina (el más alto detalle en JPEG) o en RAW según la preferencia (tenga en cuenta que, si bien en RAW es posible obtener mejor calidad, la necesidad de espacio de almacenamiento puede ser enorme).
- 8) Instalar el anillo deflector, cerciorándose de que no pase luz directa desde los anillos LED (figura 3C).
- 9) Colocar el domo para cubrir el anillo LED, la plastilina y el espécimen, teniendo cuidado de no tocar a este último (figura 3D).
- 10) Encender los anillos LED.
- 11) Cambiar el ISO a 100 y configurar el tiempo de exposición y la apertura del diafragma. Para evitar que las vibraciones generen fotos movidas, se puede dejar el diafragma lo más abierto posible, es decir, f- bajos, y tiempos de

exposición de más de 1/15, si se usa el sistema manual, o de más de 1/25 si se usa el riel (1/40 para especímenes pequeños, menores a 8 mm). Considerando que el aumento de la apertura del diafragma disminuye la distancia focal, en estos casos se recomienda tomar un mayor número de imágenes, es decir, reducir la cantidad de pasos entre capturas (ver sección de

apilamiento). Además, si no se cuenta con suficiente luz para mantener estos tiempos de exposición, es preferible usar un ISO de 200, pero conservar la velocidad de obturación alta.

12) Configurar el balance de blancos intentando obtener una temperatura de color neutro (figura 5 A, k).

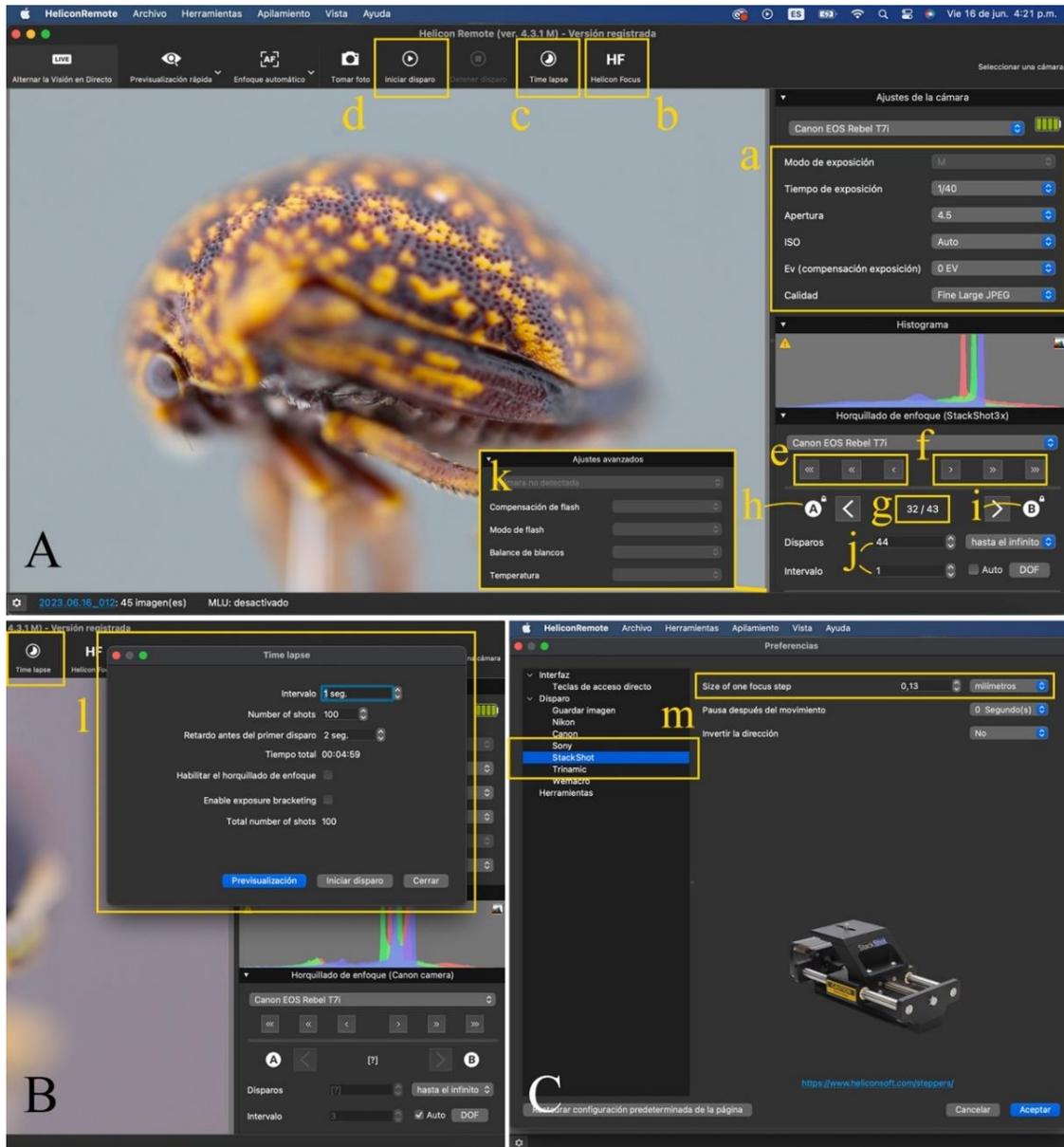


Figura 5. Espacio de trabajo de Helicon Remote. A) Espacio de trabajo predeterminado, B) Panel de la opción 'Time Lapse', C) Panel de configuración del riel StackShot (Helicon Remote > Preferencias > StackShot). (a) Configuraciones del tiempo de exposición, Apertura, ISO y Calidad. (b) Opción 'Time Lapse' para abrir el panel 'l'. (c) Opción de abrir Helicon Focus para apilar la secuencia de fotos; d. opción 'Iniciar disparo' con la cual el programa toma las fotos y desplaza el riel automáticamente según las configuraciones del 'Horquillado de Enfoque'. (e y f) Controles de desplazamiento del riel para alejar o acercar la cámara al espécimen, respectivamente. (g) Número de pasos establecidos por el programa según la configuración del tamaño de paso en 'm', y la distancia entre el punto más cercano (h) y más lejano (i). (j) número de disparos o tomas que tomará el programa y el intervalo de distancia entre cada foto; se recomienda que el intervalo sea 1 y que el número de disparos sea igual o un poco mayor a 'g'. (k) Panel de 'Ajustes Avanzados' donde se puede configurar el Balance de Blancos y la Temperatura. (l) Panel de 'Time Lapse' para configurar el número de disparos y el intervalo de tiempo cuando se emplea el soporte de estereomicroscopio. Fotos: C. Flórez-V.

## 2.3. Generación de la secuencia de imágenes a diferentes distancias focales

### 2.3.1. Empleando el soporte de estereomicroscopio

(Figura 3, 5; ver video en [anexo 1](#))

- 1) Mover el tornillo de enfoque del soporte de estereomicroscopio para visualizar las partes del espécimen que están más cercanas y las que se encuentran más alejadas del plano focal de la cámara.
- 2) Subir la cámara hasta que se desenfocó completamente el espécimen y bajarla lentamente hasta enfocar la parte más cercana al plano focal de la cámara.
- 3) Dar clic en "Time Lapse" (figura 5A, b). En principio, se podrían seleccionar entre 70-90 fotos, una cantidad en realidad sobreestimada ya que no es posible saber cuántas capturas son necesarias. Asimismo, asignar un tiempo entre disparos de 1 s (si aún no se tiene destreza, se sugiere configurar en 2-3 s) y otro para el primer registro de 2 o 3 s, de manera que disponga de un momento para colocar la mano en el tornillo de enfoque del estereomicroscopio (figura 5 A, k).
- 4) Dar clic en "Empezar", y la cámara tomará automáticamente las fotografías. Después de cada disparo, mover suavemente (y en tramos lo más cortos posibles) el tornillo de enfoque (a mayor magnificación, el movimiento debe ser más suave). Después de tomar la fotografía en el lugar más lejano del espécimen, dar clic en parar y cerrar.
- 5) Dar clic en Helicon Focus (figura 5A, c).

### 2.3.2. Riel *StackShot*

(Ver video en [anexo 2](#))

- 1) Dada la magnificación del lente, se configura la distancia de cada paso (ver sección 1.3.2., Figura 5C, m)
- 2) Determinar la parte del espécimen que está más cercana al lente 'A' (más arriba si el soporte es vertical) y la parte más lejana al lente 'B' (más abajo si el soporte es vertical). Se recomienda subir el riel hasta que se desenfocó el espécimen y después bajar lentamente hasta enfocar la parte más arriba y ahí dar clic en 'A' (figura 5A, h). Igualmente, para la parte más baja y establecer dando clic en 'B' (figura 5A, i). Helicon Remote establece automáticamente el número de pasos, dada la distancia de paso de enfoque configurada ver sección Stacking, Figura 5A, g).
- 3) Dar click en 'Iniciar disparo' (figura 5A, d). El riel irá hasta A (la zona configurada como la más cercana) y comenzará

la toma de fotografías automáticamente, desplazándose cada vez que realice un disparo. El programa tomará la última foto en el momento en B (la zona configurada como la más lejana).

- 4) Dar click en Helicon Focus (figura 5A, c).

## 2.4. Apilamiento de la secuencia de fotos

Estos pasos aplican de la misma forma para cualquiera de los dos sistemas empleados anteriormente (figura 6).

- 1) Con el programa Helicon Focus abierto, deberá hacer el apilamiento de las fotos de la secuencia generadas en los pasos anteriores. Estas capturas por lo general se cargan cuando se da clic en "Helicon Focus" después de haber tomado los registros en Helicon Remote. Ahora bien, en caso de que no carguen automáticamente, será necesario abrir la carpeta donde quedaron guardadas las fotografías, seleccionarlas y arrastrarlas desde la carpeta hasta Helicon Focus o usar el menú "Agregar imágenes" (figura 6).
- 2) Se debe asegurar que todas las fotos estén seleccionadas en el programa.
- 3) Seleccionar el "Método C (Pirámide)" (verifique que el suavizado esté en 2) (para detalles acerca de los métodos de apilamiento, ver Brecko *et al*, 2014);
- 4) Dar clic en "Renderizar". El programa mostrará cómo se van apilando las zonas enfocadas en cada fotografía.
- 5) Al finalizar el proceso de apilamiento, se puede dar clic en la imagen para visualizar un acercamiento. Revisar que las diversas estructuras estén enfocadas, para saber si es necesario volver a tomar la secuencia de fotos.
- 6) Si hay zonas sobrepuestas por el apilamiento (figura 6C), es posible editar la foto en la pestaña "Retoque", donde se selecciona la imagen que se desea que permanezca enfocada y se configuran el tamaño del pincel, la tolerancia del color y la dureza.
- 7) Guardar la foto en formato TIFF seleccionando la carpeta y dándole nombre al archivo (ver la siguiente sección, de recomendaciones para nombrar el archivo de la imagen final apilada).
- 8) Prestar atención a la magnificación con la que fueron tomadas las fotos en el caso de usar el lente Canon MP-E 65 mm, con el fin de generar posteriormente la escala (ver sección de generación de la escala de la imagen, más adelante). Si se utiliza el lente Canon EF 100 mm, preferiblemente tomar una fotografía de solo una reglilla sin mover el enfoque.

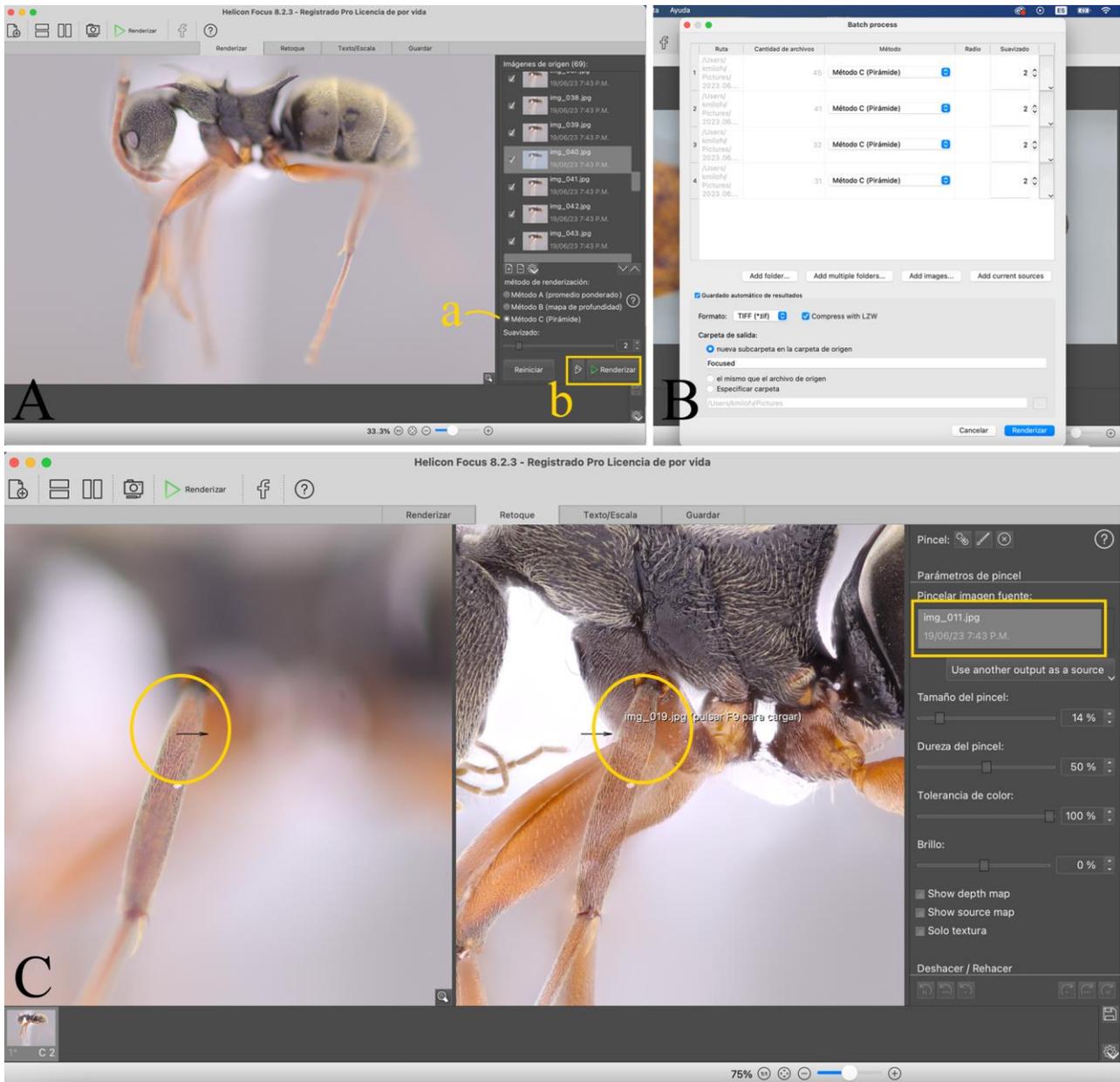


Figura 6. Espacio de trabajo de Helicon Focus. A) Espacio de trabajo predeterminado; (a) Método de apilamiento recomendado ('Pirámide'); (b) Inicia el proceso de apilamiento de las imágenes. B) Panel para realizar el proceso de apilamiento por lotes (Archivo > Batch Process). C) Espacio de trabajo de la opción de edición 'Retoque' donde es posible escoger la imagen enfocada para zonas que quedan superpuestas en el proceso de apilamiento. Fotos: C. Flórez-V.

## 2.5. Recomendaciones al nombrar el archivo de la imagen final

Una vez obtenida la imagen apilada, se debe guardar el archivo. De manera general se recomienda que los especímenes fotografiados ya tengan un número de catálogo en la colección depositaria. Este número, con el respectivo acrónimo de la colección, debe incluirse obligatoriamente en el nombre del archivo de salida. Además, se sugiere que dicho nombre no

contenga espacios ni signos de puntuación o caracteres especiales diferentes al guion medio o el guion bajo (figura 7).

De otro lado, en caso de tener una identificación previa o definitiva del espécimen, se recomienda incluirla en el nombre del archivo. Igualmente, conviene agregar información como: la orientación del insecto en la imagen (*v. g.*, lateral, frontal) o la estructura morfológica específica (*v. g.*, tibia posterior derecha), el aumento del lente al que fue generada la imagen (*v. g.*, 1X,

4X) y las iniciales de quien genera la imagen (*v. g.*, CFV). Este último dato en particular se sugiere porque, en general, en países como Colombia las normas de propiedad intelectual consideran que los derechos morales sobre una obra son inalienables, imprescriptibles e inembargables (artículo 30 de la Ley 23 de 1982). Por esta razón, un autor de una obra del intelecto humano, como lo es en efecto la fotografía, tiene derecho a que siempre se mencione su nombre al usar su

producción.

En cuanto al manejo de las iniciales en la colección, conviene contar con un archivo (mínimo, en Excel) que permita vincular estas letras con los nombres completos de los generadores de las fotos. Así, el nombre del archivo asignado será mantenido, con variaciones en las modificaciones posteriores. También se recomienda que las colecciones almacenen un archivo donde se puedan rastrear los especímenes que han sido fotografiados.



Figura 7. Nomenclatura recomendada para la asignación de los nombres de los archivos de imagen generados Elaborado por: J. Cardona-Duque.

## 2.6 Generación de la escala de la imagen

Es necesario indicar la escala del insecto en la imagen apilada pues de esta forma se brinda información del tamaño y la proporción del ejemplar, lo cual permite realizar comparaciones con otros especímenes o estructuras. Para esto, Brecko y Mathys (2020) sugieren dos métodos a partir de un lente con distancia de enfoque fija.

La primera opción es tomar una fotografía de una reglilla en las diferentes magnificaciones usadas. De tal modo se tendría el equivalente del número de píxeles de una medida dada en cada magnificación (figura 8). El otro método es calcular el número de píxeles que corresponden a 1 mm usando la ecuación  $(m/t)*a$ , donde  $m$ = la magnificación;  $t$ = el tamaño del sensor (mm); y  $a$ = el ancho máximo de la imagen, en píxeles (esta característica se puede buscar en las especificaciones de cada cámara como la "resolución máxima de la imagen"). Así, en un programa de edición de fotos es posible crear una barra del número de píxeles deseados que correspondan al tamaño que se requiere (figura 8)

Es importante seleccionar especímenes completos, montados de forma adecuada, y que no estén quebrados. En el caso de que se hayan recolectado insectos recientemente, es importante montarlos de tal modo que muchos de sus caracteres diagnósticos puedan ser observados en la fotografía. Este montaje puede ser similar al de las indicaciones generales que hay para cada grupo de estudio como el de Martin (1977).

Asimismo, la limpieza de los ejemplares que van a ser fotografiados es esencial ya que permite observar con mayor detalle ciertas características (i. e., setas, escamas, suturas) y disminuye considerablemente el tiempo de edición de las fotos. Para remover el polvo de los especímenes en seco, se pueden usar pinceles finos previamente mojados en agua destilada o etanol al 70 % y después esperar a que el insecto se seque por completo.

Ahora bien, la limpieza va a depender de la fragilidad del artrópodo o de la zona de este que se vaya a tratar, ya que las patas y las antenas de muchos de estos organismos pueden ser muy quebradizas, incluso al contacto con pinceles finos. En estos casos es preferible no limpiar el espécimen e invertir un poco más de tiempo en la edición final de la fotografía. Esta opción es importante particularmente para insectos de los cuales hay pocos individuos o ejemplares de alto valor taxonómico (*v. g.*, tipos)..

## 3. Otros aspectos para tener en cuenta durante la aplicación del protocolo

### 3.1. Selección, limpieza y preparación de los especímenes

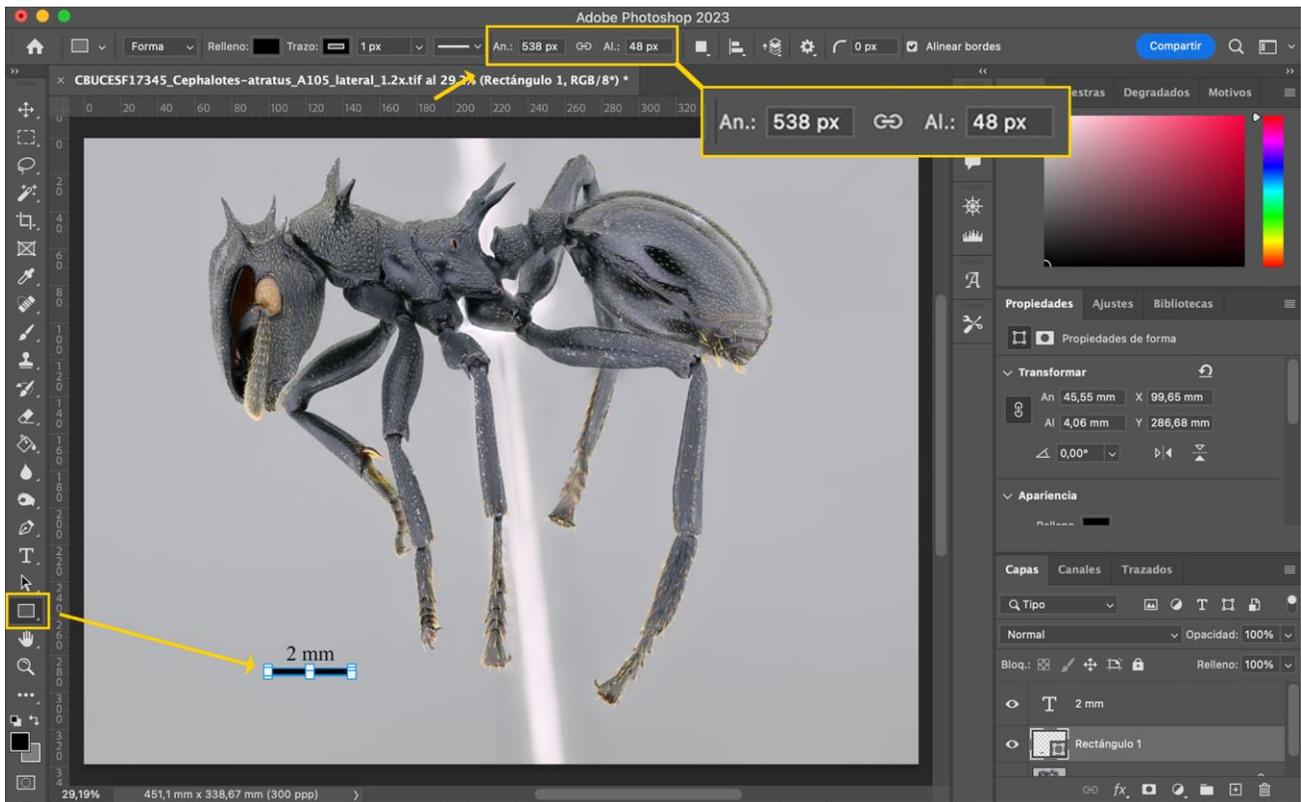


Figura 8. Generación de la escala del espécimen en Adobe Photoshop. (A) Foto a magnificación de 1x (m), tomada con cámara Canon T7i con tamaño de sensor de 22,3 mm (t) y un ancho máximo de la imagen de 6000 píxeles (a). Así, usando la fórmula para obtener el número de píxeles que corresponde a un 1 mm = (m/t) \*a, obtenemos que 269 píxeles corresponden a 1 mm. Para poner una escala de 2 mm, multiplicamos por dos, y en la herramienta 'Rectángulo' podemos seleccionar el número de píxeles que deseamos que sea el ancho en este caso 538 píxeles. Se recomienda que el usuario seleccione un número igual para el alto de las fotos (al menos en las mismas vistas) con el fin que quede homogéneo. En este caso 48 píxeles fue seleccionado de forma arbitraria. Foto: C. Flórez-V.

En cuanto a especímenes que están preservados en alcohol, la limpieza se puede realizar pasando un pincel suave y renovando el líquido. Algunas estructuras diagnósticas de estos insectos pueden ser muy frágiles (v. g., branquias de Ephemeroptera), incluso más que las de artrópodos en seco, por lo que es recomendable no limpiarlas en estos casos.

También se sugiere limpiar todo el montaje del sistema de fotografía antes de comenzar a utilizarlo para evitar que polvo u otras partículas se adhieran a los especímenes. Esto es mucho más relevante cuando se van a tomar registros de insectos que se encuentran en etanol (ver sección de especímenes en líquido). De igual forma, es importante mantener los lentes limpios ya que cualquier suciedad en ellos se verá magnificada en la imagen, y puede cubrir algún detalle importante del espécimen y aumentar el tiempo de edición.

### 3.2. Posicionamiento de los especímenes

Es fundamental dedicar tiempo y cuidado al posicionamiento

del ejemplar pues no es posible rotarlo una vez se genera la imagen apilada. Para la digitalización general de insectos montados en alfiler, se recomienda al menos tener fotografías completas de estos en vistas frontal, lateral y dorsal (incluso en algunos escenarios es obligatorio tener los tres panoramas para poder contribuir a bancos de imágenes; v. g., AntWeb: <https://www.antweb.org/>).

También es conveniente tomar la foto por el lado izquierdo del insecto para la vista lateral de los especímenes montados en alfiler, de manera que se evita la interferencia de este objeto. Sin embargo, la selección de ejemplares y su orientación en las imágenes va a depender del propósito para el cual se están generando. Por ejemplo, las imágenes destinadas a una publicación científica pueden incluir vistas diferentes y detalles de caracteres morfológicos específicos que van a requerir mayor magnificación.

Es frecuente que se cometan errores leves pero perceptibles en

relación con el posicionamiento del espécimen (figura 9A). Por esta razón, antes de iniciar la toma de fotografías es necesario asegurarse de que el insecto se encuentra en la posición

requerida; por ejemplo, completamente dorsal, lateral o exponiendo exactamente la estructura morfológica que se desea mostrar (figura 9B).

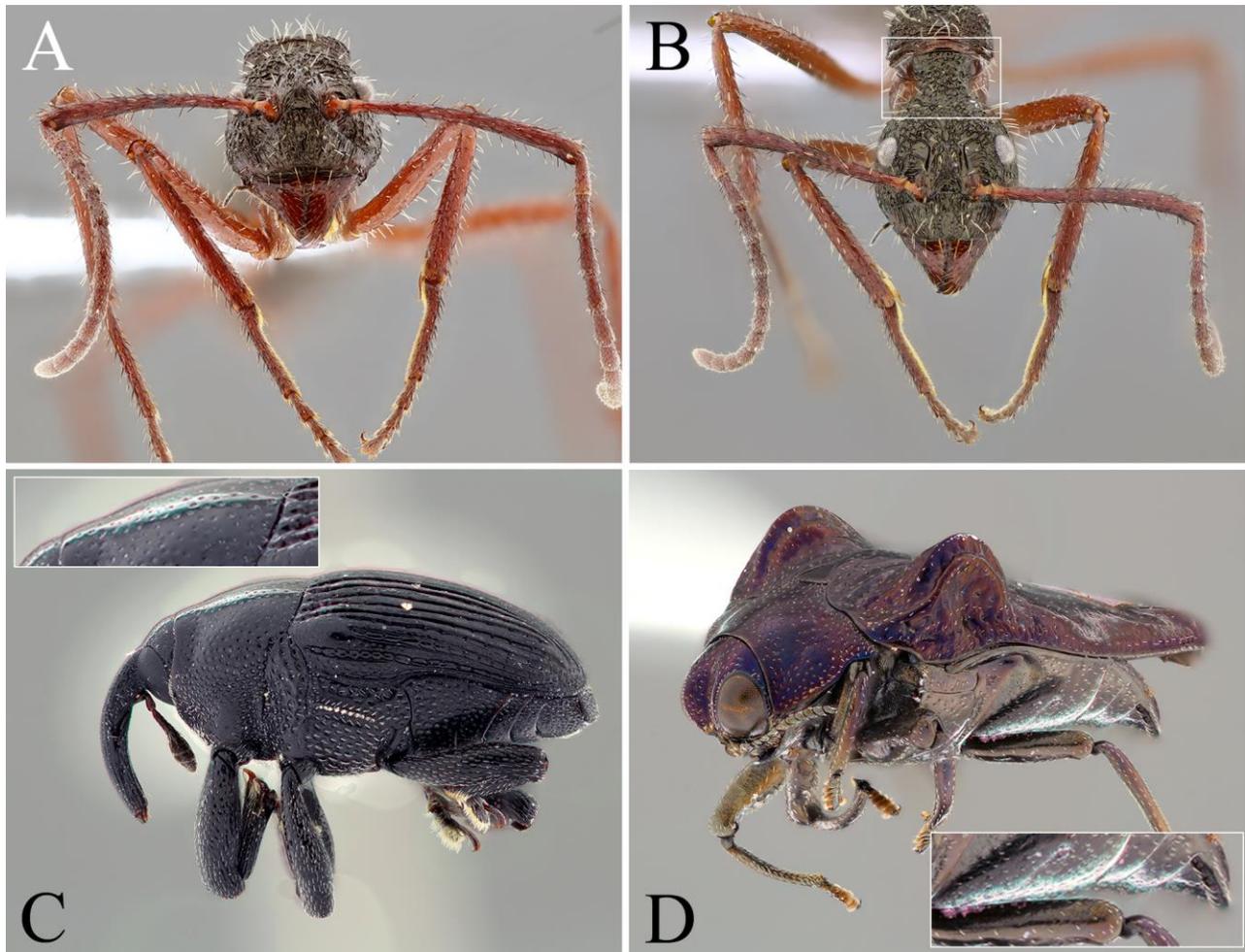


Figura 9. Errores en el posicionamiento de especímenes y en la iluminación de la imagen debido al uso inadecuado del anillo deflector. A y B) Cabeza de *Dolichoderus attelaboides*, en la imagen se pretendía detallar el vértex alargado formando un cuello tubular en la cabeza; la primera foto está de frente (de manera que no se aprecia este cuello tubular). C) Baridinae. D) Buprestidae. En C y B se pueden ver áreas muy sobreexpuestas cuando la luz del anillo LED incide directamente en el espécimen, en este caso porque el anillo deflector no está cubriendo correctamente el espécimen. Fotos: C. Flórez-V.

### 3.3. Fondo de la imagen

Se pueden usar diversos fondos dependiendo del color, la translucidez, la pilosidad, la estructura y la escultura de los especímenes. El más recomendado para uso general es uno gris neutro (gris estándar o gris al 18 %) ya que retiene los colores a lo largo del insecto, las estructuras y la pilosidad de los bordes, a la vez que mantiene un contraste correcto entre el ejemplar y el fondo (Buffington *et al.*, 2005).

Por otra parte, el fondo blanco puede aumentar la luz que llega al sensor, pero es posible que se pierdan detalles en los bordes

del espécimen, como pilosidades u otras estructuras. Además, este color aumenta considerablemente el contraste en organismos oscuros o, por el contrario, lo disminuye en ejemplares blancos o muy claros. Sin embargo, Bäumlner *et al.* (2020) muestran algunas fotografías tomadas con éxito en un fondo blanco neutro. También hay estructuras en las que el contraste es útil, como para observar la venación de las alas de algunos grupos de insectos.

Asimismo, el fondo negro es una buena opción para insectos muy claros o translúcidos (v. g., artrópodos acuáticos o en estadios inmaduros; figura 2E), y no conviene para especímenes

oscuros. Adicionalmente, este tipo de fondo puede requerir una mejor iluminación, por lo que, en el caso de usar el sistema de domo para ejemplares brillantes, deben hacerse algunos ajustes para prevenir reflejos oscuros o negros en los bordes del organismo. Esta opción ha sido muy usada en divulgación ya que da un aire más artístico a las fotos cuando es usada de manera adecuada.

También existen diversos materiales que pueden ser usados para los fondos (figura 3 A, e). Una de las opciones recomendadas en el caso de insectos montados en alfileres es la plastilina gris ya que permite manipular y acomodar los especímenes rápidamente (Buffington y Gates, 2008; Buffington *et al.*, 2005; Kawada y Buffington, 2016). De cualquier forma, estos materiales deben ser opacos y preferiblemente homogéneos. Al mismo tiempo, es preciso mantener una distancia entre el ejemplar y el fondo para que este último se vea suavizado.

Como se señaló, utilizar fondos negros es más complejo cuando se usa el sistema de iluminación con domos ya que la luz en este montaje también incide sobre el fondo, al igual que sobre el espécimen. Por lo tanto, si se tiene un material que refleja, se obtendrá un fondo azul oscuro. Para evitar esto se puede emplear una tela tipo terciopelo negro (figura 3 A, e), que disminuye el reflejo y mantiene una coloración relativamente negra en el fondo de las fotos (figuras 2E, 2F).

### 3.4. Fotografías para especímenes en líquido

Las fotografías de especímenes en líquido tienen algunas complejidades adicionales en comparación con los ejemplares en seco. Por una parte, para poder usar el sistema con el domo, se pueden usar cajas de Petri pequeñas que permitan instalar el anillo deflector. Con el fin de separar el artrópodo del fondo de la imagen y evitar que se vean las texturas de este último, se pueden usar dos o más cajas de Petri opuestas entre sí (figuras 10A, 10B, 10C, 10D). La primera —o primeras— caja de Petri debe estar al mismo nivel que el anillo LED, por lo que debe

estar sostenida por el fondo que se va a emplear (figuras 10A, 10B). Estas cajas sostienen la que va boca arriba y aloja el organismo con el líquido (figura 10C).

El montaje descrito permite, además de alejar el fondo, que el espécimen quede a una altura suficiente para que el lente a altas magnificaciones no choque con el domo. Se recomienda usar cajas Petri nuevas y que sean usadas solo para este fin, evitando así rayones que podrían notarse en la foto y extender el proceso de edición.

Por otra parte, mantener la posición adecuada de los especímenes en líquido también resulta complejo. Para ese fin, se pueden utilizar diversos líquidos que son más viscosos que el etanol pero permiten a su vez el paso adecuado de la luz. Los más usados son aquellos que contienen glicerina, como el alcohol glicerinado o en gel, la glicerina pura o los lubricantes íntimos. Para depositar estos líquidos en las cajas Petri, se puede emplear una pipeta, evitando que se llene de aire a fin de prevenir que aparezcan burbujas, y expulsar el líquido suavemente. Los insectos en etanol se deben pasar a estos líquidos con antelación y sumergirse completa y repetidamente (el ejemplar tenderá a flotar) antes de tomar la fotografía, para que el etanol del artrópodo se mezcle completamente en el otro líquido.

La fotografía de insectos en líquido también requiere algunas precauciones adicionales para reducir las vibraciones en todo el sistema. Además, debido al líquido, la luz disminuye en la imagen. Para solucionar estos dos problemas, se puede emplear un ISO más alto que permita mantener un tiempo de exposición menor a 1/25. Asimismo, en este caso se hace aún más relevante mantener todos los equipos muy limpios ya que el polvo se adhiere fácilmente al líquido y en algunas ocasiones es posible que quede al mismo nivel del espécimen, por lo que se notará más en la imagen. Además, estas pequeñas partículas pueden quedarse en movimiento, generando patrones extraños sobre la fotografía después de hacer el apilamiento, lo que representa un mayor tiempo de edición.

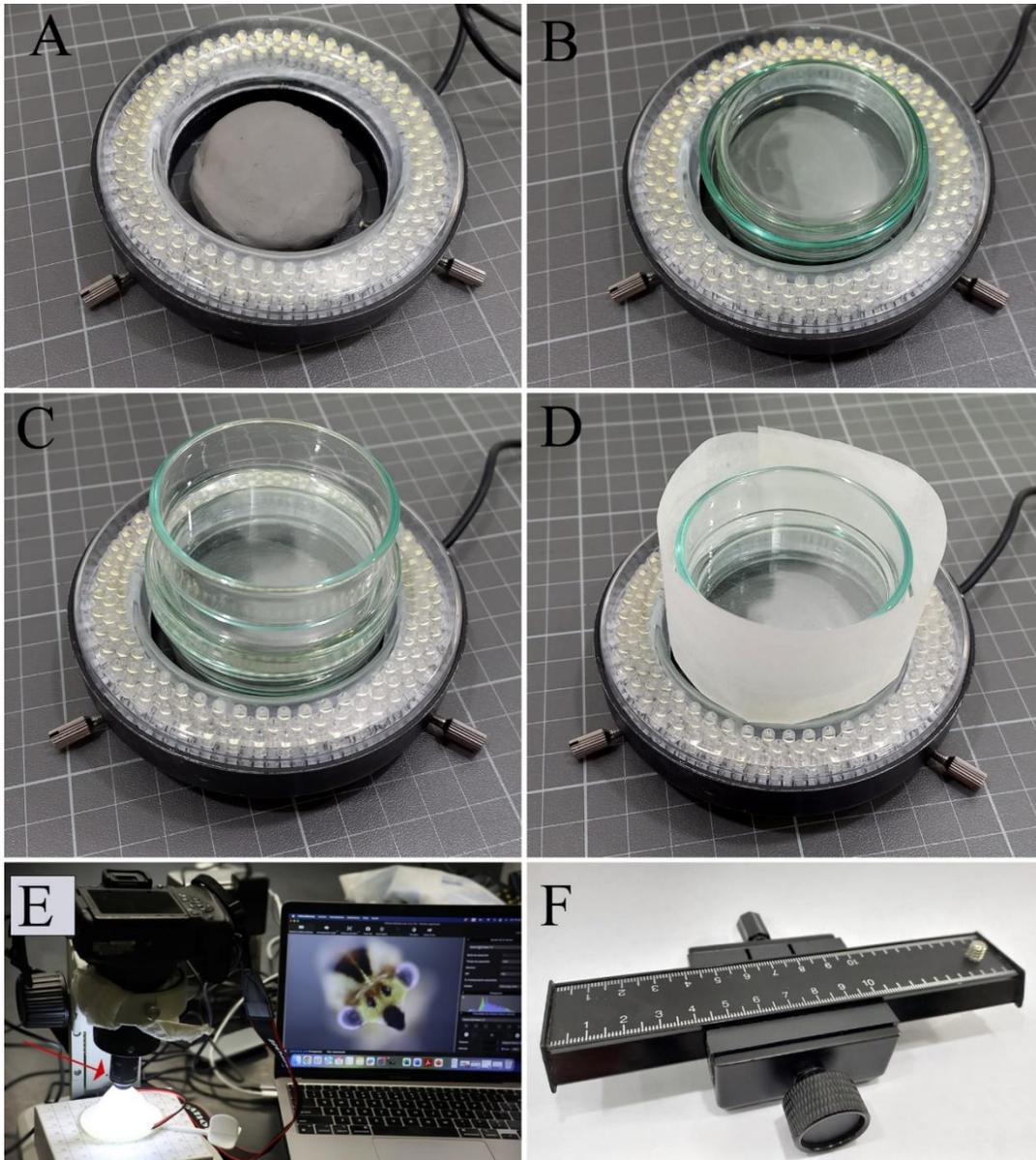


Figura 10. Variaciones relacionadas con el tamaño o tipo de preservación de los especímenes a digitalizar. A-D) Preparación de las cajas de Petri para la toma de fotografía de especímenes en líquido. En la figura D se puede ver el uso del anillo deflector en esta configuración. E) Objetivo de microscopio acoplado a tubos extensores de forma artesanal; este sistema requiere domos y luces más pequeños (como en la figura 3Ae). F) Riel movido a través de una manivela. Fotos: C. Flórez-V (E) y J. Cardona-Duque (A-D, F).

Además, estas pequeñas partículas pueden quedarse en movimiento, generando patrones extraños sobre la fotografía después de hacer el apilamiento, lo que representa un mayor tiempo de edición.

### 3.5. Edición de las imágenes finales

Otros manuales, como por ejemplo el de Bevilaqua (2020), ofrecen información detallada del proceso de edición de las imágenes finales y la producción de las planchas para publicaciones científicas. Por lo tanto, esta sección se restringe a dar algunas indicaciones generales.

Helicon Focus y Zerene Stacker permiten realizar algunas correcciones a la imagen final, por lo que es particularmente importante la opción de "Retoque" en algunas fotografías que quedan con estructuras sobrepuestas (figura 6C). Así, es posible elegir la serie de capturas donde las estructuras más cercanas al observador están enfocadas y, por medio de una "brocha", dejar solo estas zonas enfocadas en la imagen final.

Antes de realizar cualquier intervención en la imagen, es preciso tener en cuenta que no se deben alterar las imágenes

arbitrariamente y que la edición tiene como fin corregir algunos aspectos particulares que no modifiquen formas, estructuras y color (más allá de ciertos aspectos del balance de blancos) (Bevilaqua, 2020). La iluminación y el color de la imagen focal, en especial, son dos de los elementos más importantes en este proceso. De hecho, esta labor puede llegar a simplificarse si, por ejemplo, hay un buen manejo de la iluminación y del balance de blancos durante la toma de las fotografías. Además, es muy importante realizar estos ajustes en copias del archivo original, preservando este último intacto.

En programas de edición como Adobe Photoshop hay múltiples opciones para corregir los aspectos mencionados en Imagen > Ajustes. Este software además tiene herramientas en Filtro > Enfocar que incluso mejoran considerablemente la definición de ciertas estructuras. También es posible realizar una limpieza de las partículas de polvo o suciedad de los especímenes que quedaron en la imagen final usando opciones como el pincel corrector [*Healing brush*] o el tampón de clonar [*Clone stamp*].

De igual forma, el fondo se puede homogeneizar, borrar o corregir por medio de varias herramientas como el lazo (Lasso) (seleccionando manualmente el área que se quiere dejar de la imagen) o la varita mágica [*Magic wand*]. Esta última permite escoger diferentes niveles de tolerancia (esto es, de similitud de color establecido en la selección de un pixel), lo que al final da la posibilidad de borrar el fondo sin afectar estructuras. Cabe mencionar que Adobe Photoshop es un programa que requiere el pago de una licencia para su uso. Sin embargo, también hay opciones gratuitas como GIMP ([www.gimp.org/](http://www.gimp.org/)), que tienen herramientas similares a Photoshop para la edición de fotos.

### **3.6. Manejo posterior de imágenes digitales de alta resolución con diferentes fines**

Es muy importante tener presente que las imágenes apiladas que se generan a través de los sistemas presentados, en general, ocupan un espacio considerable en el almacenamiento del computador (entre 25 MB y 350 MB por imagen). El tamaño final del archivo puede depender de factores como: número de imágenes tomadas para obtener la imagen final, configuración

de la cámara en términos de apertura del diafragma y velocidad de obturación, y el tipo de archivo de salida (RAW, TIFF o JPEG). De este modo, es fundamental trabajar posteriormente con archivos que puedan ser compartidos (i. e., por correo o a través de plataformas en servidores web) con diferentes propósitos, por lo que se deben contemplar estrategias de almacenamiento que permitan tener archivos de menor tamaño (Brecko y Mathys, 2020; Integrated Digitized Biocollections [iDigBio], 2023).

A continuación, se describen los pasos optimizados por los autores para disminuir el tamaño de los archivos manteniendo una calidad de la imagen eficiente mediante el software Adobe Photoshop. Para ese fin, se utiliza la siguiente notación: el uso de la herramienta se destaca en negrita y redonda; el nombre de la herramienta, en itálica (en inglés se indica entre corchetes “[ ]”); y los comandos abreviados del teclado para Windows (Win) y MacOS (MAC), en negrita e itálica (entre los símbolos “< >”).

La imagen que se obtiene de Helicon Focus deberá tener al menos el siguiente tamaño y estos parámetros (se recomienda mantener este archivo original):

- 1) Tipo de archivo: TIFF.
- 2) Dimensiones mínimas: 39 cm x 30,05 cm.
- 3) Resolución: 300 dpi (figuras 11A, 11B).

Para corroborar el tamaño y la resolución de la imagen, se debe activar el cuadro de diálogo Tamaño de imagen [Image size] con <Comand + Alt + i> (MAC) o <Ctrl + Alt + i> (Win) (figuras 11A, 11B). En este momento es posible hacer modificaciones en el color (ver aspectos del balance de blancos). Posteriormente, para guardar la imagen como TIFF, se activa el cuadro de Guardar como [Save as] siguiendo la ruta Archivo [File], Guardar como [Save as] al presionar <Shift + Comand + s> (MAC) o <Shift + Ctrl + s> (Win). Luego se selecciona Guardar en el ordenador [Save in computer], se nombra el archivo de manera informativa (figura 7; e. g., “adicionando balance de blancos”) y se guarda como TIFF (figuras 11C, 11D, 11E, 12).

Generación de imágenes digitales de alta resolución de artrópodos

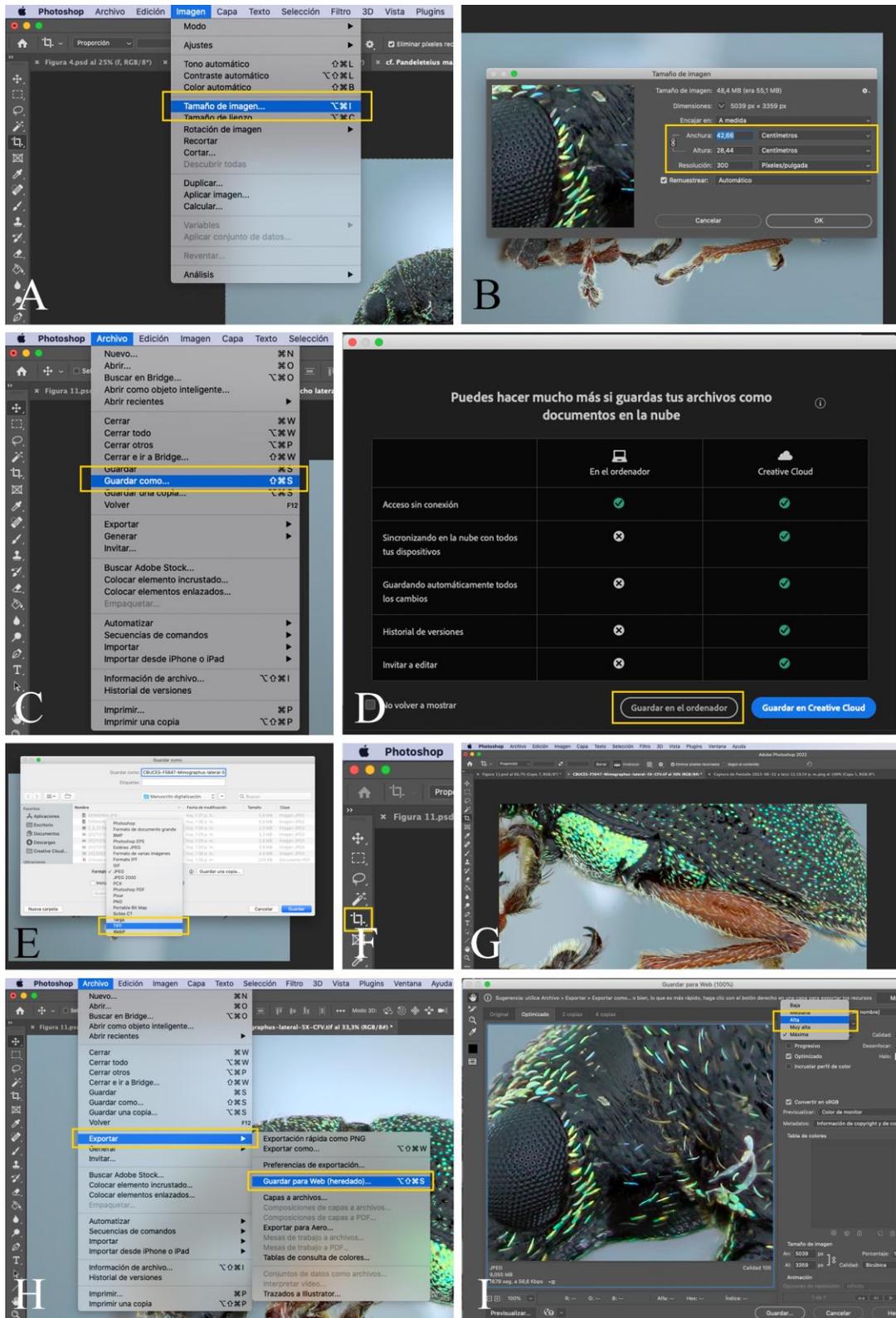


Figura 11. Pasos para la verificación del tamaño de imágenes y el almacenamiento de imágenes con diferentes formatos de salida. A-B) Paneles para la verificación y/o configuración del tamaño y resolución de la imagen. C-E) Paneles para guardar los archivos con la resolución y tamaño originales (o modificaciones de este en formato TIFF). F-G) Paneles para recortar la imagen de acuerdo con las necesidades de presentación de detalles o estructuras morfológicas específicas. H-I) Paneles para la exportación optimizada de archivos en formato \*.jpeg. Fotos: C. Flórez-V y J. Cardona-Duque.

Después de guardar la imagen en formato TIFF, esta se puede recortar de acuerdo con la necesidad de presentación de la fotografía (e. g., hábito general o detalle de estructura morfológica). Para recortar la imagen, se debe seleccionar la herramienta Recortar [Crop] del menú de la izquierda o introducir el comando <C> (MAC y Win) (e.g. figuras 11F, 11G). Para generar imágenes de alta resolución que se puedan compartir fácilmente con colegas o a través de repositorios de imágenes, se recomienda disminuir el tamaño del archivo reduciendo el tamaño de la imagen o la resolución o cambiando el tipo de archivo (e. g., extensión \*JPEG). Con el fin de guardar una imagen optimizada, se recomienda aplicar el comando Guardar para web [Save for web] (dependiendo de la versión de

Photoshop puede ser Exportar para web) siguiendo la ruta Archivo [File], Exportar [Export] (figura 11H). En el teclado, se puede presionar <Shift + Command + Alt + s> (MAC) o <Shift + Ctrl + Alt + s> (Win). Seleccione las opciones JPEG y Máxima (figura 11I).

También se recomienda guardar una imagen de tamaño mediano a partir de la imagen en TIFF (30 % de las dimensiones originales). Para esto, primero es necesario reducir el tamaño de la imagen activando de nuevo el cuadro de diálogo Tamaño de imagen [Image size] y Guardar como [Save as] (figuras 11B, 11C, 11D, 11E). El tamaño de este archivo será de aproximadamente el 10 % del archivo original (figuras 12a, 12b).

Nombre	Tamaño	Clase	Fecha de modificación
CBUCES-F5647-Mimographus-lateral-5X-CFV - original.tif	50,8 MB	Imagen TIFF	1:55 p. m.
CBUCES-F5647-Mimographus-lateral-5X-CFV - original liviana_m.jpg	9,5 MB	Imagen JPEG	1:57 p. m.
CBUCES-F5647-Mimographus-lateral-5X-CFV - mediano.tif	4,6 MB	Imagen TIFF	1:56 p. m.
CBUCES-F5647-Mimographus-lateral-5X-CFV - mediano liviana_m.jpg	1,2 MB	Imagen JPEG	1:58 p. m.
CBUCES-F5647-Mimographus-lateral-5X-CFV - mediano liviana_a.jpg	272 KB	Imagen JPEG	1:59 p. m.

Figura 12. Comparación de tamaños de archivo de salida, recomendados para diversos propósitos; (a) Archivo con las dimensiones originales de tamaño, resolución y tipo (\*.tiff); (b) Archivo redimensionado al 30% con 300 dpi de resolución y tipo original (\*.tiff); (c) Archivo con las dimensiones originales de tamaño, con 72 dpi de resolución, con un tipo más liviano - Exportación "Máxima" (\*.jpeg); (d) Archivo redimensionado al 30% con 72 dpi de resolución, con un tipo más liviano (\*.jpeg) - Exportación "Máxima"; (e) Archivo redimensionado al 30% con 72 dpi de resolución, con un tipo más liviano (\*.jpeg) - Exportación "Alta". Imagen: J. Cardona-Duque.

De manera alternativa se recomienda guardar tres archivos adicionales de imágenes optimizadas en \*.jpeg, con el comando Guardar para web [Save for web] (ver párrafo anterior): 1) un archivo con las dimensiones originales guardado en calidad "Máxima" (el tamaño de este archivo será de aproximadamente el 20 % del tamaño del archivo original; figura 12c); 2) un archivo redimensionado al 30 % (usar el comando Tamaño de imagen [Image size]), guardado en calidad "Máxima" (esta imagen será de aproximadamente el 2 % del tamaño del archivo original; figura 12 d); y 3) el mismo archivo anterior (redimensionado al 30 %), guardado en calidad "Alta" (esta imagen será de aproximadamente el 0,5 % del tamaño del archivo original; figura 12e). Este último es óptimo para compartir por correo electrónico e incluso cargar en páginas web a manera de 'thumbnail', que se pueda usar como ícono en distintas plataformas de divulgación.

Con el propósito de salvaguardar los derechos de autor, puede ser recomendable que las imágenes que se publiquen de

manera abierta a través de sistemas de información de biodiversidad o plataformas de gestión de colecciones tengan la marca de agua del logo de la colección biológica o del museo que las ha generado, de forma que no sean utilizadas sin los permisos correspondientes, sobre todo en los formatos de salida livianos. De este modo, los usuarios se verán en la necesidad de solicitar formalmente el uso de la imagen en calidad alta y, consecuentemente, tendrán la obligación de dar los créditos de acuerdo con los términos definidos en los protocolos de manejo de la colección. Además, así se garantiza un retorno de uso (por ejemplo, incrementando la resolución taxonómica de los especímenes). Generar estrategias para un flujo de imágenes adecuado es importante en países como Colombia, donde los derechos de autor (i. e., derechos morales de paternidad sobre las obras) están protegidos por ley, garantizando de esta manera el cumplimiento del derecho a la mención del nombre del autor por los usuarios.

De otro lado, es común que la captura de imágenes originales

se vea interrumpida por errores que obliguen a comenzar nuevamente el proceso. Por lo tanto, el almacenamiento de las secuencias de fotos puede ocupar igual o más espacio que las imágenes apiladas. Por esta razón es muy importante eliminar las fotografías originales que se hayan tomado y que no vayan a ser empleadas en el apilamiento; de otro modo, se puede ocupar espacio innecesario y exagerado en el disco duro.

Sin embargo, es recomendable guardar la serie de fotografías por si es necesario generar de nuevo la imagen final, lo que además permite usar diferentes formas de apilamiento o incluso otros programas. Dependiendo del tipo de foto y de si el resultado no presenta errores considerables tras el apilamiento, se puede borrar la secuencia de capturas.

### 3.7. Espacios físicos destinados para la digitalización

Es muy importante considerar la disposición de un espacio físico adecuado para el montaje del sistema de fotografía. En general, el sitio debe reducir las vibraciones y movimientos que puedan afectar la calidad de las imágenes finales. Para empezar, es recomendable que el lugar no esté cerca de ascensores o vías donde transitan automóviles pesados y que el suelo sea estable (*e. g.*, evitar suelos levantados, como en contenedores). Igualmente, no debería haber un constante tránsito de personas ni se debería compartir la superficie en la que se instala el equipo fotográfico con otra actividad. Estas son fuentes constantes de vibraciones que, según demuestra la experiencia, pueden llegar a entorpecer notablemente la toma de las fotografías (sobre todo si los especímenes son muy pequeños o están en líquido).

Ahora bien, si no es posible cumplir con todas las condiciones anteriores debido a la infraestructura de la colección, se pueden disminuir las vibraciones empleando mesas y soportes para el riel o la cámara que sean robustos. Asimismo, se deberían redistribuir las actividades en la colección cuando se comparta la mesa con el sistema de fotografía con otras personas.

Por otro lado, es preciso controlar la entrada de luz exterior ya que en algunos casos puede verse reflejada en las fotografías. En el caso del sistema con domos, esta eventualidad no es tan grave ya que el domo por lo general impide dichas filtraciones; sin embargo, cuando se usan lentes de menor magnificación (*e. g.*, para tomar fotografías de especímenes más grandes), normalmente es necesario que en la parte más alta del domo el agujero sea mayor (figura 4D), lo que puede facilitar el paso de la luz externa. Igualmente, algunos sistemas de flashes están

más expuestos, por lo que a veces es necesario crear un espacio oscuro que evite cualquier ingreso de luz (incluso de las lámparas del lugar).

Finalmente, al igual que para el cuidado de las colecciones, se debe mantener el espacio libre de polvo, considerando que este puede pegarse a los especímenes y cubrir estructuras, o adherirse —o entrar— al sensor de la cámara y los lentes.

Como se mencionó en secciones anteriores, el sistema manual (con base de estereomicroscopio) o el automatizado (mediante un riel motorizado y un soporte móvil) pueden ser portátiles. Esto implica que el sistema se debe adecuar al espacio con el que cuente la colección que se está revisando, en casa o en campo.

### 3.8. Equipos recomendados: tamaño de los especímenes y presupuesto

El tamaño de los especímenes es una consideración importante para escoger el sistema de fotografía; particularmente, los lentes, que son los que van a proporcionar la magnificación. Para insectos entre 2-25 mm, se recomienda el lente de foco fijo Canon MP-E 65 mm, que ofrece magnificaciones de 1X a 5X. Para ejemplares de más de 25 mm, se puede usar un montaje similar al descrito con un lente Canon EF 100 mm f/2.8L Macro IS USM, con algunas modificaciones al sistema de iluminación.

Otras opciones de menor costo (tabla 3) son los lentes Laowa 25 mm f/2.8 2.5-5X Ultra Macro (en reemplazo del Canon MP-E 65 mm) y el Laowa 60 mm f/2.8 2X Ultra-Macro (en lugar del Canon EF 100 mm). Estos funcionan para cámaras Canon y otras marcas (específicamente, Nikon y Sony). Las desventajas del Laowa 25 mm, en particular, son que proporciona mucho aumento y solo podría usarse en especímenes de 2-10 mm.

Una alternativa más es construir manualmente lentes a partir de objetivos de microscopios (figura 10E) con magnificaciones mayores a 5X. Sin embargo, esta adaptación tiene muchas consideraciones adicionales acerca de la calidad y el tipo de los objetivos de microscopio, los adaptadores para la cámara, entre otros aspectos. Existen varios recursos en la web que detallan paso a paso cómo hacer estos lentes ([extreme-macro.co.uk/microscope-objectives/](http://extreme-macro.co.uk/microscope-objectives/)).

En cuanto a las cámaras, Brecko y Mathys (2020) compararon la calidad de la imagen de las *full frame* (sensores de 35 mm) y las APS-C (sensores de alrededor de 22 mm) usando el sistema de

apilamiento de enfoque con un lente Canon MP-E 65 mm. Así, concluyeron que la imagen generada por las primeras es un poco mejor, aunque dichas cámaras son mucho más costosas, por lo que esta pequeña diferencia en calidad no parece suficiente para preferirlas sobre las APS-C (Brecko y Mathys, 2020).

Con este sistema, usando el lente Canon MP-E 65 mm que permite fotografiar especímenes entre 2-25 mm, se pueden visualizar muchos caracteres que algunas veces solamente es posible observar y describir con microscopía electrónica de barrido (figura 13) de manera general, con una resolución adecuada y conservando los colores del ejemplar. Sin embargo, es importante anotar que, para observar y describir en detalle

estructuras mucho más pequeñas de 2 mm, se requieren otros sistemas de mayor magnificación, como por ejemplo los lentes construidos con objetivos de microscopio.

De otro lado, el sistema manual sería más económico que el automatizado, pensando en que las colecciones pueden tener estereoscopios desarmables para este uso. De este modo, es posible usar soportes que provengan de estereoscopios en desuso en las instituciones para evitar mover el cabezal y ocasionar daños en la óptica del estereoscopio. También existen rieles no automatizados de bajo costo que permiten mover la cámara con manivela (figura 10F), aunque dicho precio puede depender de la medida de los desplazamientos.

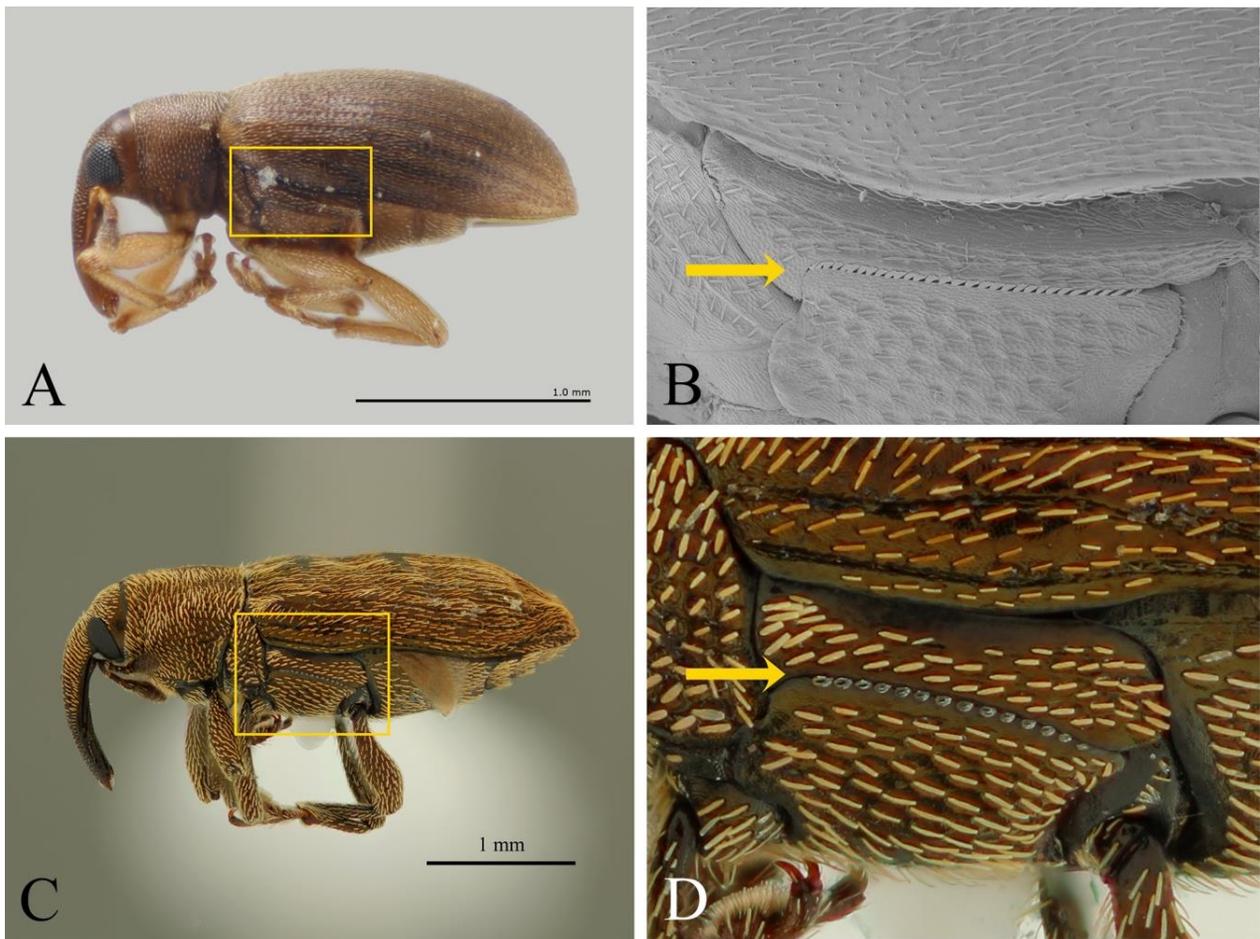


Figura 13. Detalle de estructuras morfológicas importantes en taxonomía de algunos grupos de gorgojos: A) *Azotoctla gomezi* (imagen generada con un sistema de alto costo en INVCOL UPRM (UPRM Invertebrate Collection (INVCOL) )); B) detalle del metepisterno de *A. gomezi* donde se indica la línea de esclerolepidia (imagen generada con microscopio electrónico de barrido); C) gorgojo de la subfamilia *Baridinae* (imagen generada con el sistema manual presentado en este trabajo); D) detalle del metepisterno del *Baridinae*, donde se indica la línea de esclerolepidia. Nota: La microscopía electrónica de barrido puede ser usada a una mayor magnificación. Incluso es posible ver la escultura de cada una de las escamas. La comparación de estas imágenes tiene el fin de mostrar el nivel de detalle que se puede alcanzar con el sistema de fotografía aquí descrito con una magnificación de 5X. Fuente: J. Cardona-Duque.

Entre los rieles motorizados cabe mencionar dos referencias de Cognysis StackShot: el Macro Rail y el 3X Macro Rail. Estos se diferencian en que el segundo permite controlar tres motores que se pueden mover en tres ejes distintos, lo que resulta útil si se piensa generar modelos 3D de los insectos, en cuyo caso se pueden adquirir otros motores que es posible configurar desde Helicon Remote o la consola del riel ([cognisys-inc.com/learn-how-to/virtual-objects](http://cognisys-inc.com/learn-how-to/virtual-objects)) (Doan y Nguyen, 2023). Sin embargo, este riel 3X tiene un costo mayor que el Macro Rail (tabla 3).

Por otro lado, también se encuentra el riel motorizado de Wemacro ([wemacro.com](http://wemacro.com)), el cual es de menor costo (tabla 3). A

pesar de que durante la redacción de este artículo no ha habido oportunidad de usar esta opción, las especificaciones dadas por el fabricante, similares a las de StackShot, y algunas revisiones en internet sugieren que esta es una buena alternativa para reducir los costos si se desea adquirir un riel motorizado. Además, dicha empresa vende otros productos dedicados a la macrofotografía (v. g., soporte vertical, adaptadores para la cámara para objetivos de microscopios). Este riel también se puede controlar con Helicon Remote, por lo que la mayor parte del protocolo aquí detallado puede ser aplicado igualmente para esta referencia.

Tabla 3. Costo en dólares (con fines comparativos para usuarios en diferentes países de América Latina) de los equipos necesarios para diferentes sistemas de fotografía de artrópodos descritos en el protocolo. Nota: Se indican con "R" los equipos mínimos recomendados (costo de alrededor de USD 2.659). \*El StackShot 3X Macro Rail permite controlar dos o tres motores al mismo tiempo, lo cual es útil para la generación de modelos 3D (Doan y Nguyen, 2023). \*\*Licencia que puede ser usada en cuatro computadores simultáneamente.

Tipo de equipo	Equipo o software	Costo (USD)
Cámara	Canon lentes intercambiables, sensor APS-C (R)	500 en adelante
Lentes: Especímenes 2-25 mm	Canon MP-E 65 mm 1X-5X (R)/Venus Laowa 25 mm f/2.8 2.5-5X Ultra-Macro	1,049/399
Especímenes 25 mm en adelante	Canon 100 mm/Laowa 60 mm f/2.8 2X Ultra-Macro	1,099/399
Sistema automatizado	Riel Cognysis StackShot: Macro Rail/3X Macro Rail*	579/879
	Soporte para el riel: portátil, no robusto/ <i>copy stand</i> robusto, no portátil	50-100/500
	Riel Wemacro/soporte vertical Wemacro	319/169
Sistema manual	Soporte estereomicroscopio (R)	Reciclado, ~100 en adelante
Iluminación: domo, anillo o cintas LED	Anillo de luz AM Scope 144 LED	105
	Cinta LED moldeable 6.000 k + adaptador 1(R)	60
Flash	Macro Flash Canon Twin Lite MT24EX / Macro Flash Yongnuo YN24-EX TTL	989/189
Licencia software	Helicon Focus Premium Pack® ** (R)	240 (a perpetuidad)
	Zerene Stacker Professional Edition	280 (a perpetuidad)
Computador	Computador con especificaciones suficientes para soportar Helicon Focus o Zerene Stacker (ver manuales de ambos programas) y Photoshop (R)	600 en adelante
Almacenamiento imágenes	Disco duro de al menos 2 TB (R)	59 en adelante
Materiales varios	Domo, anillo deflector, plastilina gris, cables USB (R)	~50

### 3.9. Costo y tiempo de toma de fotografías

El sistema de fotografía descrito en este protocolo es mucho más económico y, a juzgar por la evaluación que hacen Brecko *et al.* (2014) del apilamiento, puede ofrecer resultados tan buenos como los de estereoscopios con cámaras integradas. Como se mencionó en las secciones previas, existen alternativas que pueden adecuarse a diferentes presupuestos y, a pesar de que requiere una inversión inicial, este sistema presenta un buen balance costo/beneficio.

En la tabla 3 se presenta un estimado de los costos del equipamiento citado en el protocolo. Como puede verse, con valores entre USD 2.400 (USD 2.659 al adquirir los equipos marcados con R en la tabla 3) y USD 7.000, es posible crear una estación de digitalización para generar imágenes de alta resolución. Otros sistemas de bajo costo que usan cámaras digitales compactas se pueden revisar en Mertens *et al.* (2017).

Un factor adicional que debe considerarse al estimar costos es el tiempo de dedicación de los operarios, el cual depende de la destreza y el entrenamiento de las personas y, en alguna medida, de la capacidad de procesamiento del computador. En ese sentido, se estima que, entre la disposición del espécimen en una posición adecuada, la toma de la serie de fotografías y el apilamiento de estas, un individuo entrenado en este sistema puede generar una imagen en un tiempo de 8-9 min (alrededor de seis fotos finales por hora), mientras que alguien sin mayor experiencia puede tardar 13-14 min (unas cuatro fotos por hora).

Igualmente, hay otras variables que afectan el tiempo en el que se genera una imagen: el tamaño y la forma del espécimen; el nivel de magnificación usada; el número de vistas por insecto; la necesidad de cambiar de ejemplares o lentes entre fotos; la manera en la que están preparados los artrópodos, y el tipo de sistema (manual *versus* automatizado). Para reducir el tiempo de la toma de fotografías, es recomendable seleccionar previamente especímenes de un tamaño semejante entre sí y prepararlos de forma similar en una misma jornada de digitalización.

### 4. Glosario

**Alinear:** proceso en el cual, en una misma secuencia de fotos, estas son ajustadas para que se encuentren en una misma posición. De esta forma los programas de apilamiento

encuentran las áreas enfocadas en la misma posición en toda la secuencia de fotos.

**Apilar:** agrupar fotografías enfocando diferentes planos de profundidad donde la imagen resultante es la unión de las áreas enfocadas.

**Camada de fotos (= secuencia de fotos):** fotos individuales con diferentes planos de enfoque que resultan después del movimiento de la cámara (figura 1A).

**Imagen apilada (= imagen o foto de salida):** imagen final producida por el apilamiento de enfoque de una secuencia de fotos, después del procesamiento a través de un software de apilamiento (figura 1B, 2).

**Número de disparos (= número de tomas):** número de fotos que tomará el software de forma programada. Cuando se usa un riel motorizado, se refiere a la cantidad de fotos que tomará después de seleccionar el área más cercana 'A' y más lejana 'B', y configurar la distancia de cada paso (figura 4 g, j). Cuando se usa un soporte de estereomicroscopio, se refiere a la cantidad de fotos con las que se configura el programa para tomar fotos de forma automática (figura 4 l)

**Número de pasos:** número resultante después de definir la distancia con la que se moverá el riel entre una foto y otra (figura 5 g).

**Tamaño de paso:** distancia (usualmente medida en fracciones de milímetro) que se mueve el riel motorizado entre una foto y otra (figura 4 m).

## Discusión

La generación de imágenes de alta calidad se ha vuelto una herramienta cada vez más importante en las colecciones biológicas para usos académicos, educativos y divulgativos. Los sistemas de fotografía utilizados para ese fin son cada vez más asequibles por medio del desarrollo de nuevas alternativas de bajo costo (Bäumler *et al.*, 2020; Brecko *et al.*, 2014; Buffington *et al.*, 2005; Kawada y Buffington, 2016) y de aprovechamientos recursivos de herramientas, soportes y estrategias de manipulación de los equipos y de iluminación de los especímenes. Además, la utilidad de las imágenes generadas supera ampliamente las inversiones requeridas (Mertens *et al.*, 2017), y estos mismos montajes se han usado con éxito en otros grupos biológicos (Bäumler *et al.*, 2020) e incluso en colecciones arqueológicas y geológicas (Brecko y Mathys, 2020).

Las fotografías en alta calidad pueden contribuir a que las colecciones avancen en la identificación de sus especímenes cuando las imágenes son compartidas a través de sistemas de información de biodiversidad y plataformas de gestión de colecciones biológicas (*e. g.*, Symbiota). Esto se hace aún más relevante en países latinoamericanos donde la biodiversidad es alta y aún faltan muchas especies por identificar e incluso por describir. La colaboración a través de estas plataformas también tiene el potencial de aumentar el trabajo conjunto con especialistas en otros lugares del mundo e incrementar la visibilidad de las colecciones, lo que al mismo tiempo ayuda a las instituciones a gestionar recursos.

Asimismo, más allá del ámbito estrictamente científico, las fotografías permiten crear colecciones virtuales que, en definitiva, aumentan la apropiación social del conocimiento al llevar la información de estos espacios a un público más amplio. Por ejemplo, la difusión de estas imágenes a través de las redes sociales de las instituciones (*e. g.*, Instagram CBUCES: [www.instagram.com/cbucses/](http://www.instagram.com/cbucses/)) ha mostrado que puede ser muy útil para atraer a diferentes públicos y transmitir la importancia y el quehacer de las colecciones biológicas (Lessard *et al.*, 2017).

Las imágenes apiladas de alta calidad, junto a sus datos asociados, son testigos (*vouchers*) que soportan y hacen replicables y verificables trabajos en anatomía, morfología, ecología y sistemática filogenética. Además, en el caso concreto de la taxonomía, esta clase de material facilita muchas veces la descripción de características morfológicas externas.

Ahora bien, conviene reconocer que el aumento en la digitalización de colecciones biológicas supone un reto para administrar el almacenamiento de imágenes, los datos producidos por el proceso de apilamiento, el seguimiento de todos los metadatos creados y su acceso remoto en línea (Brecko *et al.*, 2014). Esto ha motivado la fundación de diversos repositorios que permiten guardar archivos (*v. g.*, DISSCO: <https://www.dissco.eu/>; Figshare: [figshare.com](https://www.figshare.com/); Dryad: [datadryad.org](https://www.datadryad.org/); Zenodo: [zenodo.org](https://www.zenodo.org/); The Open Science Framework: [osf.io](https://www.osf.io/)).

De igual forma, las imágenes se pueden alojar en plataformas con usos especializados como MorphoBank ([morphobank.org](https://www.morphobank.org/)), MorphBank ([www.morphobank.net](http://www.morphobank.net/)) o TaxonWorks ([taxonworks.org](https://www.taxonworks.org/)), o en bases de datos de taxones particulares como AntWeb ([antweb.org](https://www.antweb.org/)) u Orthoptera *Species File* ([orthoptera.speciesfile.org](https://www.orthoptera.speciesfile.org/)) o de usos más generales como los

portales de Symbiota (*v. g.*, SCAN [Symbiota Collections of Arthropods Network]: [scan-bugs.org](https://scan-bugs.org/)). También es posible publicarlas en sitios web locales de colecciones biológicas como CBUCES (versión demo: [demo-cbucsesdata.pythonanywhere.com](https://demo-cbucsesdata.pythonanywhere.com/)) o CEUA ([ceua.pythonanywhere.com](https://ceua.pythonanywhere.com/)), vinculándolas a conjuntos de datos en agregadores de información de biodiversidad como GBIF (Global Biodiversity Information Facility: [gbif.org](https://www.gbif.org/)).

Las anteriores bases de datos y plataformas han adquirido mayor valor con el tiempo debido a la creciente accesibilidad y el poder de la tecnología informática (Schuh *et al.*, 2010). Los niveles de sofisticación alcanzados en este ámbito han desembocado en múltiples aplicaciones, incluido el potencial uso de métodos de aprendizaje profundo para detectar especies en monitoreos de insectos (Høye *et al.*, 2021).

Este trabajo ha estado enfocado en la captura de las fotografías y su manejo posterior. Sin embargo, hay etapas previas que deben tenerse en consideración. Por ejemplo, es fundamental que las colecciones prioricen el material que va a ser fotografiado y que los procesos de montaje se lleven a cabo de manera rigurosa. Estas decisiones pueden tomarse de acuerdo a la importancia nomenclatural del material (especímenes tipo), la representatividad taxonómica-morfológica (*v. g.*, la variabilidad poblacional) o la geográfica (*v. g.*, endemismos) o la necesidad de preservar registros de características que pueden cambiar en el tiempo, como el color. Incluso, en algunos casos puede optarse por seleccionar especímenes espectaculares que generen marabilla en las audiencias generales ([anexo 3](#)) o que despierten un alto interés entre investigadores. De este modo las colecciones pueden optimizar el tiempo del personal encargado de la digitalización, los recursos invertidos y el impacto académico, científico y de divulgación.

Otras tareas adicionales que cabe planear juiciosamente dentro de un protocolo de digitalización de colecciones biológicas son la generación de etiquetas asociadas a las fotografías de los especímenes y la asignación de un número de catálogo (único). Esto facilita compartir y enlazar la información de las imágenes a listados de especies y datos de ocurrencias publicados a través de plataformas como GBIF, potenciando el uso de los registros visuales (*e. g.*, <https://www.gbif.org/occurrence/3329184428>). Con este fin se pueden aplicar protocolos como el propuesto por Blagoderov *et al.* (2012) para la digitalización en masa de etiquetas, o añadir procesos de fotografías de las etiquetas complementados con sistemas automáticos de reconocimiento de texto, que permitan automatizar el proceso.

El sistema de apilamiento aquí descrito se puede aplicar para crear modelos 3D (Doan y Nguyen, 2023) usando equipos de relativamente bajo costo, incluyendo el uso de rieles motorizados (como el StackShot 3X junto a un riel adicional) o manuales, que faciliten la rotación de los especímenes (o la cámara) en diferentes direcciones predeterminadas. Además, las imágenes generadas pueden tener más usos en biología comparada a través de protocolos, herramientas y softwares que permiten otros tipos de análisis, como los morfométricos (Porto *et al.*, 2021; Shui *et al.*, 2023).

Finalmente, es muy importante retomar la idea inicial que llevó a conceptualizar, estructurar y diseñar el presente trabajo. Tras la experiencia de varios años de los autores aprendiendo, refinando e implementando soluciones creativas para generar imágenes digitales de especímenes de artrópodos en colecciones biológicas, se pudo reconocer que la inversión inicial austera en equipos de un costo relativamente bajo (una cámara económica, el lente MP-E 65 mm, el anillo LED y el soporte de estereomicroscopio usados en docencia, un domo construido con un embudo plástico semiesférico y el programa gratuito Combine ZP) permitió, en definitiva, incrementar notablemente la calidad de las imágenes generadas.

Lo anterior resignificó el poder de las imágenes, pues la mejora en su calidad permitió no solo digitalizar una gran cantidad de especímenes (de hecho, con un ímpetu casi enloquecedor al inicio por generar imágenes de todo, incluso de manera desordenada y sin establecer un sistema para el manejo y la nomenclatura de los archivos), sino visualizar estructuras que antes pasaban desapercibidas, y además plantear hipótesis de morfología funcional. Por supuesto, estos avances también les abrieron la puerta a los autores a la divulgación de la ciencia en entomología, con las ansias de compartir un poco de esa belleza de la diversidad morfológica que ahora podían visualizar. Así, el anhelo es que este protocolo contribuya a incrementar la digitalización de especímenes en las colecciones biológicas latinoamericanas.

### Conflicto de intereses

Los autores no poseen ningún conflicto de interés.

### Contribución de los autores

Camilo Flórez-V. y Juliana Cardona-Duque: conceptualización, recolección de datos, generación de imágenes y redacción del

documento.

Larry Jiménez-Ferbans: recolección de datos y redacción del documento.

### Agradecimientos

Agradecemos a las colecciones biológicas de la Universidad CES (CBUCES) y la Universidad del Magdalena (CBUMAG), así como al Frost Entomological Museum (Pennsylvania State University), por facilitar especímenes y espacios. Igualmente, agradecemos a Ricardo Kawada, Gabriel Biffi y Olivia Evangelista por su entusiasmo en introducir a Camilo Flórez a la digitalización de especímenes de insectos; a Tate Nathan Geiger por la ayuda en la construcción del domo con impresión 3D; a Diana María Carmona, del área de laboratorios de la Universidad CES, por proporcionar espacios y equipos en etapas tempranas de los ensayos de digitalización. También, a Ana Ospina Montoya por su apoyo en el diseño y la construcción de triángulos de LED y domos miniatura, y a Camilo Chica por su apoyo en la edición final de los videos tutoriales. Finalmente, a Juan Pablo Montoya Cano y Juan Camilo Arredondo por su retroalimentación empírica en diversos procesos para los ajustes técnicos de los sistemas de digitalización en la CBUCES. Este trabajo fue parcialmente financiado por GBIF-BID National Biodiversity Data Mobilization Grants (proyecto BID-CA2020-045-NAC), la Universidad del Magdalena y la Universidad CES.

### Referencias

- Allen, E. y Triantaphillidou, S. (2012). *The Manual of Photography*. Taylor & Francis Group.
- Bäumler, F., Koehnsen, A., Tramsen, H. T., Gorb, S. N. y Büsse, S. (2020). Illuminating nature's beauty: modular, scalable and low-cost LED dome illumination system using 3D-printing technology. *Scientific Reports*, 10(1), 12172. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69075-y>.
- Bevilaqua, M. (2020). Guide to image editing and production of figures for scientific publications with an emphasis on taxonomy. *Zoosystematics and Evolution*, 96(1), 139-158. <https://doi.org/10.3897/zse.96.49225>.
- Blagoderov, V., Kitching, I., Livermore, L., Simonsen, T. y Smith, V. (2012). No specimen left behind: industrial scale digitization of natural history collections. *ZooKeys*, 209, 133-146. <https://doi.org/10.3897/zookeys.209.3178>.
- Brecko, J. y Mathys, A. (2020). Handbook of best practice and standards for 2D+ and 3D imaging of natural history collections.

- European Journal of Taxonomy*, (623). <https://doi.org/10.5852/ejt.2020.623>.
- Brecko, J., Mathys, A., Dekoninck, W., Leponce, M., VandenSpiegel, D. y Semal, P. (2014). Focus stacking: Comparing commercial top-end set-ups with a semi-automatic low budget approach. A possible solution for mass digitization of type specimens. *ZooKeys*, 464, 1-23. <https://doi.org/10.3897/zookeys.464.8615>.
- Buffington, M. L. y Gates, M. (2008). Advanced Imaging Techniques II: Using a Compound Microscope for Photographing Point-Mount Specimens. *American Entomologist*, 54(4), 222-224. <https://doi.org/10.1093/ae/54.4.222>.
- Buffington, M. L., Burks, R. A. y McNeil, L. A. (2005). Advanced Techniques for Imaging Parasitic Hymenoptera (Insecta). *American Entomologist*, 51(1), 50-56. <https://doi.org/10.1093/ae/51.1.50>.
- Doan, T-N. y Nguyen, C. V. (2023) A low-cost digital 3D insect scanner. *Information Processing in Agriculture*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2023.03.003>.
- Eliceiri, K., Berthold, M., Goldberg, I., Ibáñez, L., Manjunath, B., Martone, M., Murphy, R., Peng, H., Plant, A., Roysam, B., Stuurman, N., Swedlow, J., Tomancak, P. y Carpenter, A. (2012). Biological imaging software tools. *Nature Methods*, 9(7), 697-710. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2084>.
- Holovachov, O., Zatushevsky, A. y Shydlovsky, I. (2014). Whole-Drawer Imaging of Entomological Collections: Benefits, Limitations and Alternative Applications. *Journal of Conservation and Museum Studies*, 12(1), 1-13. <http://dx.doi.org/10.5334/jcms.1021218>.
- Høye, T., Årje, J., Bjerger, K. y Raitoharju, J. (2021). Deep learning and computer vision will transform entomology. *PNAS*, 118(2), e2002545117. <https://doi.org/10.1073/pnas.2002545117>.
- iDigBio. (2023). Recommendations for the Acquisition, Processing, and Archiving of Digital Media. [https://www.idigbio.org/wiki/index.php/Recommendations\\_for\\_the\\_Acquisition,\\_Processing,\\_and\\_Archiving\\_of\\_Digital\\_Media](https://www.idigbio.org/wiki/index.php/Recommendations_for_the_Acquisition,_Processing,_and_Archiving_of_Digital_Media).
- Kawada, R. y Buffington, M. L. (2016). A Scalable and Modular Dome Illumination System for Scientific Microphotography on a Budget. *PLoS ONE*, 11(5), e0153426. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153426>.
- Kerr, P. H., Fisher, E. M. y Buffington, M. L. (2008). Dome lighting for insect imaging under a microscope. *American Entomologist*, 54(4), 198-200. <https://doi.org/10.1093/ae/54.4.198>.
- Lessard, B. D., Whiffin, A. L. y Wild, A. L. (2017). A Guide to Public Engagement for Entomological Collections and Natural History Museums in the Age of Social Media. *Annals of the Entomological Society of America*, 110(5), 467-479. <https://doi.org/10.1093/aesa/sax058>.
- Martin, J. E. H. (1977). *The insects and arachnids of Canada, Part 1. Collecting, preparing and preserving insects, mites, and spiders*. Research Branch, Canada Department of Agriculture.
- Mertens, J. E. J., Van Roie, M., Merckx, J. y Dekoninck, W. (2017). The use of low cost compact cameras with focus stacking functionality in entomological digitization projects. *ZooKeys*, 712, 141-154. <https://doi.org/10.3897/zookeys.712.20505>.
- Porto, A., Rolfe, S. y Maga, A. M. (2021). ALPACA: A fast and accurate computer vision approach for automated landmarking of three-dimensional biological structures. *Methods in Ecology and Evolution*, 12(11), 2129-2144. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13689>.
- Schuh, R., Hewson-Smith, S. y Ascher, J. (2010). Specimen Databases: A Case Study in Entomology using Web-based Software. *American Entomologist*, 56(4), 206-216. <https://doi.org/10.1093/ae/56.4.206>.
- Shui, W., Profico, A. y O'Higgins, P. (2023). A Comparison of Semilandmarking Approaches in the Analysis of Size and Shape. *Animals*, 13(7), 1179. <https://doi.org/10.3390/ani13071179>.

## Uso de hábitats del autillo de Santa Marta (*Megascops gilesi*) en el sector San Lorenzo, Sierra Nevada de Santa Marta

## Habitat use of the Santa Marta scops owl (*Megascops gilesi*) in the San Lorenzo sector, Sierra Nevada de Santa Marta

Jorge Luis Gutiérrez-Guillén\* , Guido Riccardo Spinelli Giorgi  y Diana Patricia Tamaris-Turizo 

Grupo de Investigación Biodiversidad y Ecología aplicada (GIBEa); Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia

### Resumen

El autillo de Santa Marta es un búho endémico de la Sierra Nevada de Santa Marta y se encuentra distribuido en los bosques húmedos de esta región montañosa. Sin embargo, su hábitat está en declive debido a la reducción de las áreas boscosas. A pesar de la importancia biológica de esta especie, se conoce poco acerca del uso e interacciones en el hábitat. En este estudio se analizó el hábitat del *Megascops gilesi* a partir del uso de coberturas de vegetación y se describen atributos de la historia natural. Para ello se hizo un monitoreo nocturno en el sector de San Lorenzo durante el cual se registraron los individuos observados, teniendo en cuenta la estacionalidad climática y tipo de vegetación, complementado con llamados de playback. El autillo de Santa Marta usó cinco tipos de vegetación, la mayor detección de individuos (82,6 % n= 76) fueron en los bosques densos. Observaciones en campo permiten afirmar que el búho se alimentó de la rana *Serranobatrachus sanctaemartae*, así como de un ortóptero de la familia Tettigoniidae, también se reporta un intento de consumo del cangrejo *Strengeriana taironae*. Estos resultados sugieren que el búho frecuentó coberturas de mayor complejidad en la estructura de la vegetación, como los bosques densos, esto podría favorecer el soporte de la población. Los registros según la estacionalidad se ajustaron a la teoría de distribución espacial y uso de hábitat de las rapaces nocturnas, en la cual los patrones de movimiento y dispersión de la especie se reducen en época lluvia, cuando los recursos podrían ser más abundantes y de mayor accesibilidad. Con esta investigación se proporciona información relevante para la planificación de políticas de conservación efectivas y protección del hábitat de este autillo en la Sierra Nevada de Santa Marta.

**Palabras clave:** Strigiformes; dieta; historia natural; tipos de vegetación; estacionalidad

### Abstract

The Santa Marta scops owl is an owl endemic to the Sierra Nevada de Santa Marta and is distributed in the humid forests of this mountainous region; However, its habitat is in decline due to the reduction of forested areas. Despite the biological importance of this species, little is known about its use and interactions in the habitat. In this study, the habitat of *Megascops gilesi* was analyzed using vegetation cover and attributes of its natural history are described. For this, night monitoring was carried out in the San Lorenzo sector during which the observed individuals were recorded, taking into account the climatic seasonality and type of vegetation, complemented with playback calls. This owl used five types of vegetation; with the highest detection of individuals (82.6 %, n = 76) occurring in dense forests. A lower relative abundance was observed during the rainy seasons. Observations in the field allow us to affirm that the owl fed on the frog *Serranobatrachus sanctaemartae*, as well as an orthopteran of the Tettigoniidae family. An attempt to consume the crab *Strengeriana taironae* is also reported. These results suggest that the owl frequented covers with greater complexity in the vegetation structure, such as dense forests, which could favor the support of the population. The records according to seasonality were adjusted to the theory of spatial distribution and habitat use of nocturnal raptors, in which the movement and dispersal patterns of the species are reduced in the rainy season, when resources could be more abundant and of greater quality. Accessibility. This research provides relevant information for the planning of conservation policies and habitat protection for this owl species in the Sierra Nevada de Santa Marta.

**Key words:** Strigiformes; diet; natural history; types of vegetation; seasonality

**\*Autor de correspondencia:**

[jorgegutierrezlg@unimagdalena.edu.co](mailto:jorgegutierrezlg@unimagdalena.edu.co)

**Editor:** Juan Carlos Narváez

**Recibido:** 18 de septiembre de 2023

**Aceptado:** 12 de marzo de 2024

**Publicación en línea:** 18 de junio de 2024

**Citar como:** Gutiérrez-Guillén, J. L., Spinelli Giorgi G.R. y Tamaris-Turizo D. P. (2023). Uso de hábitats del autillo de Santa Marta (*Megascops gilesi*) en el sector San Lorenzo, Sierra Nevada de Santa Marta. *Intropica*, 18 (2), 192-207. <https://doi.org/10.21676/23897864.5464>



## Introducción

Colombia es el país con la mayor diversidad de aves en el mundo, con 1968 especies documentadas (Echeverry-Galvis *et al.*, 2022), incluyendo 28 de Strigiformes (Ayerbe, 2022), lo que sitúa al territorio colombiano entre los de mayor riqueza de especies de rapaces nocturnas (Echeverry-Galvis *et al.*, 2022; Enríquez, 2015). Dentro de este grupo en particular se encuentra el autillo de Santa Marta (*Megascops gilesi*), endémico de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), cuya distribución abarca un rango altitudinal de 1.500-2.500 m s. n. m. (Ayerbe, 2022; Krabbe, 2017). Debido al área de ocupación fragmentada con tendencia a la disminución, este búho ha sido clasificado como vulnerable (VU) en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) en 2019 (BirdLife International, 2019).

Asimismo, la principal amenaza que enfrenta la biodiversidad es la destrucción del entorno en el que habita (Heywood y Watson, 1995). En los ecosistemas de tierra firme, los factores que más contribuyen a la pérdida y el deterioro de los hábitats se relacionan con la deforestación y la ampliación de la frontera agrícola, los pastizales para forraje de ganado, la explotación de árboles para obtener madera, la extracción de leña, los incendios, la actividad minera y la construcción de infraestructuras (Primack *et al.*, 2001).

Adicionalmente, las especies con restricciones espaciales están altamente expuestas a los efectos negativos de la fragmentación del hábitat (Watson y Peterson, 1999), un fenómeno que conlleva la disminución de la heterogeneidad del paisaje y de la vegetación nativa en su estado de madurez. De esta forma se reducen ciertos elementos estructurales fundamentales en los bosques, tales como la densidad arbórea, la presencia de troncos muertos y la cobertura vegetal (Esclarski y Cintra, 2014; Thiollay, 2007). Estos elementos revisten gran importancia en el apoyo a las poblaciones de aves ya que proporcionan microhábitats localizados que favorecen tanto la alimentación como el éxito reproductivo de dichas especies (Hinam y St. Clair, 2008; Slaght *et al.*, 2013).

El efecto negativo de los factores señalados se extiende a diferentes grupos de organismos, como es el caso de las aves y, dentro de este grupo, las rapaces. Esto se debe a que estas especies son poco abundantes y requieren grandes áreas de acción ya que son altamente vulnerables a los cambios ambientales causados tanto por fenómenos naturales como por actividades humanas (Zurita y Bellocq, 2007). Estas perturbaciones influyen en el hábitat, definido en este estudio

como la combinación de características bióticas y abióticas y condiciones ambientales que favorecen la presencia de una especie en un espacio determinado (Block y Brennan, 1993; Morrison *et al.*, 2012). Por otro lado, el uso de hábitat se relaciona a cómo un organismo vivo utiliza o consume los diversos componentes biológicos y físicos (recursos) dentro de un ecosistema (Hall *et al.*, 1997).

Además, es importante resaltar que, dentro de este rango de ocupación, las especies utilizan estos ambientes para la alimentación, la anidación, el refugio o ciclos de vida reproductivos (Hall *et al.*, 1997). Los hábitats pueden clasificarse en distintas categorías dentro de una zona definida, aunque es común que estas zonas se superpongan. Por ejemplo, un área utilizada para el forrajeo puede coincidir con un refugio. Por tanto, resulta crucial analizar los componentes ambientales específicos que pueden variar estacionalmente dentro de cada hábitat (Hall *et al.*, 1997).

La utilización de hábitats por parte de las especies está condicionada por una serie de factores, que incluyen, entre otros, las características morfológicas de la especie (Galindo-Gil *et al.*, 2015; Hernández *et al.*, 2016), su estructura social (Yáber y Rabenold, 2002), así como su historia natural (Levin, 1984). En Strigiformes, este uso del entorno puede exhibir variaciones espaciales y temporales, que se relacionan con las características ambientales, el nivel de perturbación del paisaje, las estructuras de los bosques y la disponibilidad de recursos ecológicos, los cuales pueden fluctuar según las estacionalidades climáticas (Vázquez-Pérez *et al.*, 2011; Williams y Middleton, 2008).

Particularmente, el autillo de Santa Marta posee una distribución restringida a los bosques húmedos de la SNSM, aunque se enfrenta a una pérdida de hábitat, pues se ha reportado que los bosques de dicha región han sido talados desde la década de los cincuenta, provocando una disminución de la cobertura forestal cercana al 85 % (Birdlife International, 2024). Este fenómeno está directamente relacionado con presiones derivadas de actividades como la minería, los incendios forestales, los cambios en el uso de la tierra, el turismo irresponsable y la deforestación. Además, estas presiones pueden agravar su impacto debido al cambio climático, lo que representa una amenaza adicional para la biodiversidad y la estabilidad de los ecosistemas de este sistema montañoso (Duran-Izquierdo y Olivero-Verbel, 2021).

En concordancia con lo anterior, se observa que en la actualidad existe una falta considerable de conocimientos sobre diversos aspectos de las rapaces nocturnas, como su distribución, estado

de conservación, estructuras poblacionales e historia natural (Márquez *et al.*, 2005). Este vacío de información básica, que abarca a la mayoría de las especies de búhos en el neotrópico, incluye el uso del hábitat y sus interacciones en este, a pesar de que son datos fundamentales para comprender su participación en la estructura y dinámica de los ecosistemas (Márquez *et al.*, 2005). De igual forma, de cara a la planeación de la conservación de hábitats estratégicos, es preciso identificar aspectos reproductivos como la temporalidad de la puesta, la incubación, la eclosión y el abandono de nido con el fin de detectar patrones o tendencias (Padilla, 2019), así como los hábitats escogidos para esta actividad con miras a conocer y contrastar la biología reproductiva de la especie.

Así pues, la ausencia de conocimientos fundamentales sobre el autillo de Santa Marta puede obstaculizar la ejecución y el diseño de políticas coherentes y efectivas para la conservación de los ecosistemas y hábitats. Por lo tanto, es crucial abordar estas lagunas de información a fin de tener una base sólida para la toma de decisiones en materia de conservación. Con esa

premisa, este estudio se orientó a analizar el hábitat de la especie y a describir atributos de su historia de natural.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el sector de San Lorenzo, situado en el corregimiento de Minca, en la zona noroccidental de la SNSM, Magdalena (figura 1). Esta área funciona como una zona de condensación de la humedad del viento que proviene del mar Caribe, lo que crea una alta humedad relativa del 90 % (Martínez *et al.*, 2011). La precipitación media anual es de 2,622 mm, y la temperatura promedio es de 13,6 °C (Hernández-Camacho y Sánchez, 1992). El régimen de precipitación se caracteriza por ser bimodal tetraestacional, con dos épocas lluviosas de abril a junio y de septiembre a noviembre, y dos temporadas secas de diciembre a marzo y de junio a agosto (Rangel y Aguilar, 1995).

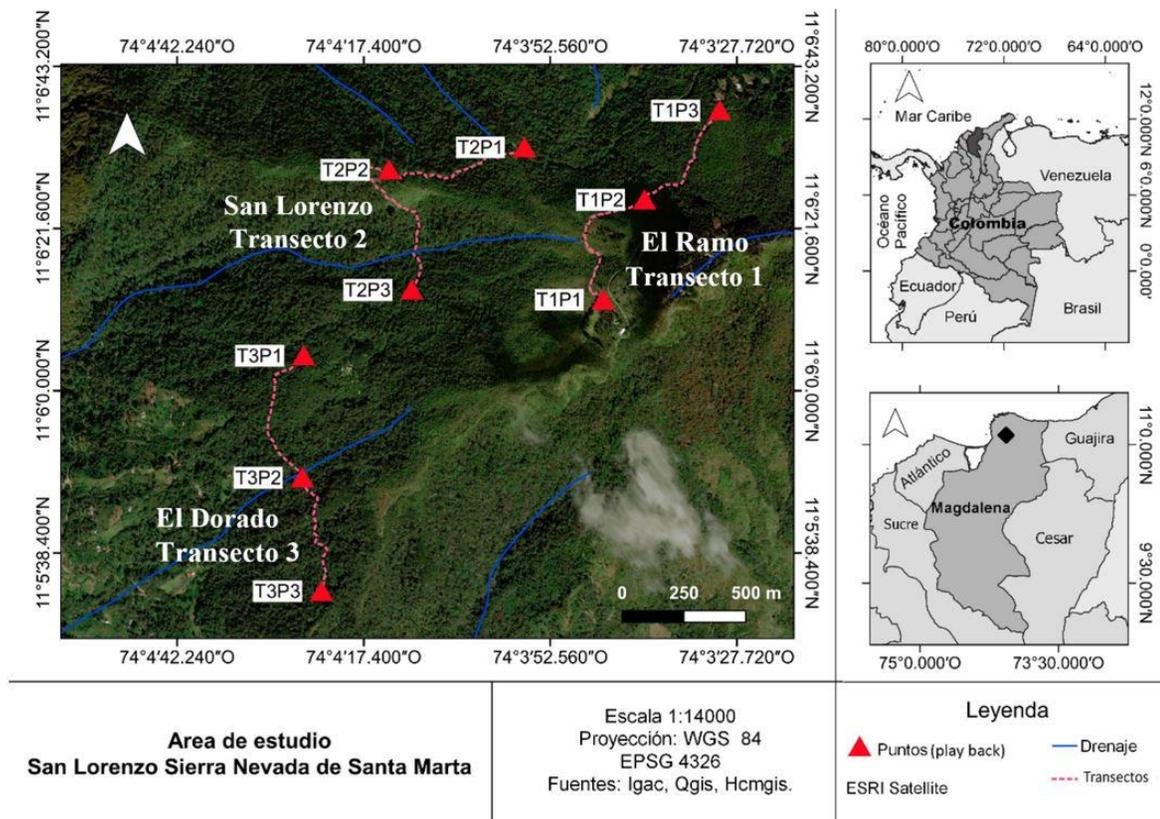


Figura 1. Área de estudio, Sierra Nevada de Santa Marta, sector San Lorenzo, Magdalena, Colombia. T1P1: estación *playback* 1 del transecto 1; T1P2: estación *playback* 2 del transecto 1; T1P3: estación *playback* 3 del transecto 1; T2P1: estación *playback* 1 del transecto 2; T2P2: estación *playback* 2 del transecto 2; T2P3: estación *playback* 3 del transecto 2; T3P1: estación *playback* 1 del transecto 3; T3P2: estación *playback* 2 del transecto 3; T3P3: estación *playback* 3 del transecto 3.

En el sector San Lorenzo de la SNSM predominan los bosques premontanos y montanos, que corresponden a selvas higrofiticas y subhigrofiticas de piso isomesotérmico e isomicrotérmico, con presencia frecuente de nieblas y una densa cobertura vegetal, típica de los orobiomas de selva subandina (Hernández-Camacho y Sánchez, 1992). Además, se caracteriza por tener un dosel cerrado, donde las familias Melastomataceae, Myrtaceae, Ericaceae y Rubiaceae son dominantes, y hay una abundancia de plantas epífitas, principalmente de la familia Bromeliaceae. También se pueden encontrar algunas especies de plantas introducidas, como *Pinus patula*, *Cupressus lusitanica*, *Acacia melanoxylon*, *Pinus* cf. *taeda*, *Pinus* sp., *Fraxinus americanus* y *Eucaliptus* sp. (Cuadrado-Peña, 2005).

### Registro del autillo de Santa Marta

Se seleccionaron tres sitios de muestreo: El Ramo, la Estación Experimental San Lorenzo y El Dorado (Reserva de la Fundación Proaves), basándose en registros previos del autillo de Santa Marta en el sector de San Lorenzo que han sido reportados en eBird (2022). Para cuantificar el uso de las coberturas como recursos de las condiciones de hábitat, se implementó el método de transectos lineales complementado por playback (Bibby *et al.*, 2000; Gallina y López-González, 2011; Haug y Didiuk, 1993). En cada sitio de muestreo se estableció un transecto con longitud de 1,2 km ubicado en el sendero. Estos transectos se encontraban separados en línea recta por distancias de 0,81 km (El Ramo-San Lorenzo), 1,2 km (San Lorenzo-El Dorado) y 1,9 km (El Ramo-El Dorado).

Los transectos se recorrieron durante seis noches entre febrero y junio de 2022, entre las 21:00 y 2:00 horas, de la siguiente manera: cuatro noches en los transectos 1 y 2, y dos noches en el transecto 3. Esto se debe a que la distancia entre los transectos y la topografía del área de muestreo no permitía cubrir el transecto 3 en cada noche. El periodo de muestreo cubrió la variación estacional (temporadas secas (enero-febrero) y de lluvias (abril-junio)).

Las estaciones de playback en cada transecto fueron posicionadas en intervalos de 500 m, siguiendo las pautas establecidas por Panzeri *et al.* (2014). Esta disposición tenía como propósito evitar que el autillo de Santa Marta se desplazara entre las estaciones de playback o transectos. Cada vocalización se reprodujo en intervalos de 5 min y, una vez los búhos respondían vocalmente, se detenía la reproducción de inmediato. Las grabaciones fueron seleccionadas de los

registros disponibles en la base de datos de Xeno-canto ([XC522113](#), [XC694176](#), [XC301822](#), [XC540635](#)) (Bradley, 2016; Fischer, 2020; Lau, 2020; Vogels, 2021), con el objetivo de elegir aquellas de mejor calidad sonora.

### Categorías del hábitat y estratos vegetativos

El uso de hábitats por el autillo de Santa Marta se evaluó a partir del registro de individuos en las coberturas de vegetación del área de estudio, teniendo en cuenta la clasificación descrita en la metodología Corine Land Cover (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2010). Cada tipo de cobertura se categorizó visualmente con la asesoría de un profesional con maestría en botánica así:

*Bosque denso alto de tierra firme* (BDA): zona con vegetación de tipo arbóreo determinada por un estrato más o menos continuo que representa más de 70 % del área total de la unidad, con altura del dosel superior a 15 m. Se encuentra en zonas que no presentan procesos de inundación periódicos (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 1999).

*Bosque denso bajo de tierra firme* (BDB): zona con vegetación de tipo arbóreo caracterizada por un estrato más o menos continuo que representa más de 70 % del área total de la unidad, con altura del dosel entre 5-15 m. Se encuentra en zonas que no tienen procesos de inundación periódicos (IGAC, 1999).

*Bosque abierto alto de tierra firme* (BAA): conformado por vegetación en la que predominan elementos típicamente arbóreos distribuidos de manera regular, los cuales forman un dosel discontinuo con altura superior a 15 m. La cobertura arbórea representa entre 30 % y 70 % del área total de la unidad. Se encuentra en zonas que no tienen procesos de inundación periódicos (IGAC, 1999).

*Bosque abierto bajo de tierra firme* (BAB): compuesto por vegetación dominada por elementos típicamente arbóreos distribuidos de manera regular, los cuales forman un dosel discontinuo, con altura superior a 5 m e inferior a 15 m. La cobertura arbórea representa entre 30 % y 70 % del área total de la unidad. Se encuentra en zonas que no tienen procesos de inundación periódicos (IGAC, 1999).

*Arbustal denso* (AD): cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbustivos que forman un dosel irregular

y representan más de 70 % del área total de la unidad, en la que también pueden encontrarse elementos arbóreos dispersos. Esta formación vegetal no ha sido intervenida o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y sus características funcionales (IGAC, 1999).

Con el fin de describir los estratos de la vegetación donde se perchó el autillo de Santa Marta, se utilizaron métodos de estimación visual para aplicar la clasificación propuesta por Rangel y Lozano (1986) adaptada para ecosistemas andinos, que incluye las siguientes categorías de estratos: rasante (<0,3 m), herbáceo (0,3-1,5 m), arbustivo (1,5-5 m), subarbóreo (5-12 m), arbóreo inferior (12-25 m) y arbóreo superior (>25 m).

### Análisis de datos

Con miras a analizar los registros del autillo de Santa Marta entre las diferentes coberturas de vegetación, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Asimismo, para determinar si existía una variación significativa en el número de individuos del autillo cuantificados en los tres sitios de muestreo (El Ramo, San Lorenzo, El Dorado), se empleó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía.

El uso de hábitat por parte de *M. gilesi* se estimó con base en una tabla de contingencia, en la que se registró el número de individuos observados en cada categoría de vegetación durante las estaciones seca y lluviosa. También se aplicó la prueba exacta de Fisher-Freeman-Halton para analizar la asociación entre el hábitat utilizado y la estacionalidad, lo que permitió determinar si el uso del hábitat por parte del autillo de Santa Marta variaba estadísticamente entre las diferentes estacionalidades. Igualmente, se llevó a cabo la prueba t de Student con el fin de comprobar si la cantidad de aves halladas difería entre las épocas seca y lluviosa.

Se consideró que los resultados de las pruebas eran significativos si  $p \leq 0,05$ . Luego, en caso de detectar significancia, se procedió a implementar pruebas post hoc (Mann-Whitney y Tukey HSD de acuerdo con el tipo de prueba empleada anteriormente) para determinar las diferencias entre los factores evaluados. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando R Studio en su versión 4.2.

Por otro lado, se grabaron las vocalizaciones del autillo de Santa Marta de forma espontánea utilizando una grabadora Tascam equipada con un micrófono unidireccional. Los audios se

analizaron con el software Adobe Audition (22.5). En una etapa posterior, después de aplicar filtros y limpiar los audios, se estudió cada espectrograma mediante el software Raven Pro (versión 1.6). Esta labor proporcionó información sobre las características físicas de los cantos, incluidos los valores de hercios (Hz) máximos y mínimos en cada caso. Los espectrogramas se obtuvieron mediante R Studio (versión 4.2), junto con el paquete Seewave.

## Resultados

Se registró la presencia de 92 individuos del autillo de Santa Marta entre los cinco tipos de coberturas vegetales. Los búhos encontrados mostraron mayor tendencia por los bosques densos altos de tierra firme y los bosques densos bajos de tierra firme, con una frecuencia de detección del 52,2 % y el 30,4 %, respectivamente (tabla 1).

Las cifras obtenidas mostraron diferencias estadísticas entre las coberturas usadas (Kruskal-Wallis: 16,5; df: 4;  $p < 0,05$ ). Este comportamiento también se presentó con las pruebas *post hoc*, que evidenciaron diferencias significativas entre los registros del autillo en bosque abierto alto y en bosque denso alto (Mann-Whitney:  $p < 0,05$ ).

Se obtuvo un mayor número de avistamientos del autillo en el sitio de muestreo San Lorenzo, seguido de El Ramo y, finalmente, El Dorado (tabla 1). Al comparar los registros del búho dentro de estas zonas ( $F(2,36)=4,7$ ;  $p < 0,05$ ), se hallaron diferencias de importancia estadística, particularmente en San Lorenzo y El Ramo (Tukey HSD:  $p < 0,05$ ).

Durante los muestreos de San Lorenzo, el autillo se detectó en mayor proporción en los bosques densos altos y bajos de tierra firme, con 28,3 % y 13,0 % respectivamente. Por otro lado, la especie fue menos frecuente en los bosques abiertos altos de tierra firme (7,6 %) y en los arbustos densos (2,2 %) de dicha estación. En el caso de El Ramo, los registros predominaron en los bosques densos bajos de tierra firme (17,4 %), seguidos de los bosques abiertos bajos de tierra firme (5,4 %) y los bosques abiertos altos de tierra firme (2,2 %). En cuanto a El Dorado, los bosques densos altos de tierra firme presentaron la mayor proporción de registros (23,9 %) debido a que es la cobertura predominante en el área, por lo que en las demás coberturas de este sector se obtuvieron valores de 0 %.

Tabla 1. Uso de diferentes hábitats por el autillo de Santa Marta. Nota: los paréntesis (n) corresponden valores absolutos de número de registros del autillo por cada cobertura.

Hábitats	% El Ramo	% San Lorenzo	% El Dorado	% Total
Arbustivo denso	0 (0)	2,2 (2)	0 (0)	2,2 (2)
Bosque abierto alto de tierra firme	2,2 (2)	7,6 (7)	0 (0)	9,8 (9)
Bosque abierto bajo de tierra firme	5,4 (5)	0 (0)	0 (0)	5,4 (5)
Bosque denso alto de tierra firme	0 (0)	28,3 (26)	23,9 (22)	52,2 (48)
Bosque denso bajo de tierra firme	17,4 (16)	13,0 (12)	0 (0)	30,4 (28)
% Total de registros	25,0 (23)	51,1 (47)	23,9 (22)	100 (92)

Se observó una diferencia significativa en el uso de distintos tipos de vegetación por parte del autillo de Santa Marta según la estacionalidad seca y de lluvia (Fisher-Freeman-Halton:  $p < 0,05$ ). Durante la temporada seca, se determinó que *M. gilesi* utilizó las cinco coberturas, con una tendencia hacia los bosques densos altos de tierra firme (46,7 %) y los bosques densos bajos

de tierra firme (33,3 %). En la época de lluvia se registró el uso de tres tipos de cobertura: bosque abierto bajo de tierra firme, bosque denso alto de tierra firme y bosque denso bajo de tierra firme, con una mayor frecuencia en estos dos últimos (62,5 % y 25 %, respectivamente) (tabla 2).

Tabla 2. Uso de diferentes coberturas vegetales por parte del autillo de Santa Marta según la estacionalidad (seca-lluviosa). Nota: los valores corresponden al porcentaje total de individuos, y los paréntesis (n), al valor absoluto de individuos registrados en cada categoría de vegetación según la estacionalidad.

Hábitats	% Seca (No. registros)	% Lluviosa (No. registros)
Arbustivo denso	3,3 (2)	0 (0)
Bosque abierto alto de tierra firme	15,0 (9)	0 (0)
Bosque abierto bajo de tierra firme	1,7 (1)	12,5 (4)
Bosque denso alto de tierra firme	46,7 (28)	62,5 (20)
Bosque denso bajo de tierra firme	33,3 (20)	25 (8)
% Total de registros según la estacionalidad	65,2 (60)	34,8 (32)

### Número de individuos muestreados según la estacionalidad

Se observó una variación en el número de individuos registrados según la estacionalidad. Un total del 65,2 % se detectaron durante la temporada seca, mientras que el 34,8 % se hallaron en la época de lluvias. De igual manera, se presentaron diferencias significativas en la cantidad de autillos de Santa Marta encontrados entre las dos estaciones (Student: 4,1; df: 11;  $p < 0,05$ ).

### Datos de historia natural del autillo de Santa Marta

Observaciones preliminares sugieren que el autillo de Santa Marta se percha en los estratos arbustivo y subarbóreo del dosel; específicamente, en especies vegetales de las familias Poaceae, Cupressaceae, Melastomataceae y Podocarpaceae.

Este búho, además, evita ser notorio o se desplaza cuando percibe a otras especies de Strigiformes de mayor tamaño, como *Asio stygius* y *Strix virgata*. De hecho, en dos ocasiones se observó que *M. gilesi* emitía una vocalización agresiva, como lo describió Krabbe (2017), cuando otros Strigiformes se encontraban en el mismo sitio. Luego de estas vocalizaciones ya no se constataba la presencia de la especie en el área.

Las observaciones también proporcionan evidencia del consumo de diferentes presas por parte del autillo en la SNSM. Por otro lado, se identificó que la especie se alimentó de una rana endémica, identificada como *Serranobatrachus sanctaemartae* (figura 2a). Mediante registros fotográficos disponibles en eBird se confirma que el búho se alimenta de un insecto ortóptero perteneciente a la familia Tettigoniidae (figura 2b).

Además, es posible que el cangrejo *Strengeriana taironae* (Pseudothelphusidae) integre la dieta del autillo de Santa Marta (figuras 3a, 3b). Esta suposición obedece a que durante los muestreos en enero de 2022 se detectó un individuo de *M. gilesi* en un arroyo poco profundo, realizando movimientos de captura con sus garras dentro del agua. Sin embargo, al percatarse de la presencia de los investigadores, el búho se alejó

del sitio. De forma inmediata, al explorar el punto que sobrevolaba el ave, se encontró un ejemplar de *S. taironae* resguardado en una roca, exhibiendo sus quelas extendidas en una postura defensiva. Este hallazgo sugiere que la especie posiblemente intentó depredar al cangrejo. Por último, cabe anotar que no se registraron evidencias de actividad reproductiva.



Figura 2. Registro de forrajeo del autillo de Santa Marta: a) *Megascops gilesi* en depredación de la especie *Serranobatrachus sanctaemartae* (Brachycephaloidea); b) ortóptero de la familia Tettigoniidae (Fotografía: Simón Colenutt).

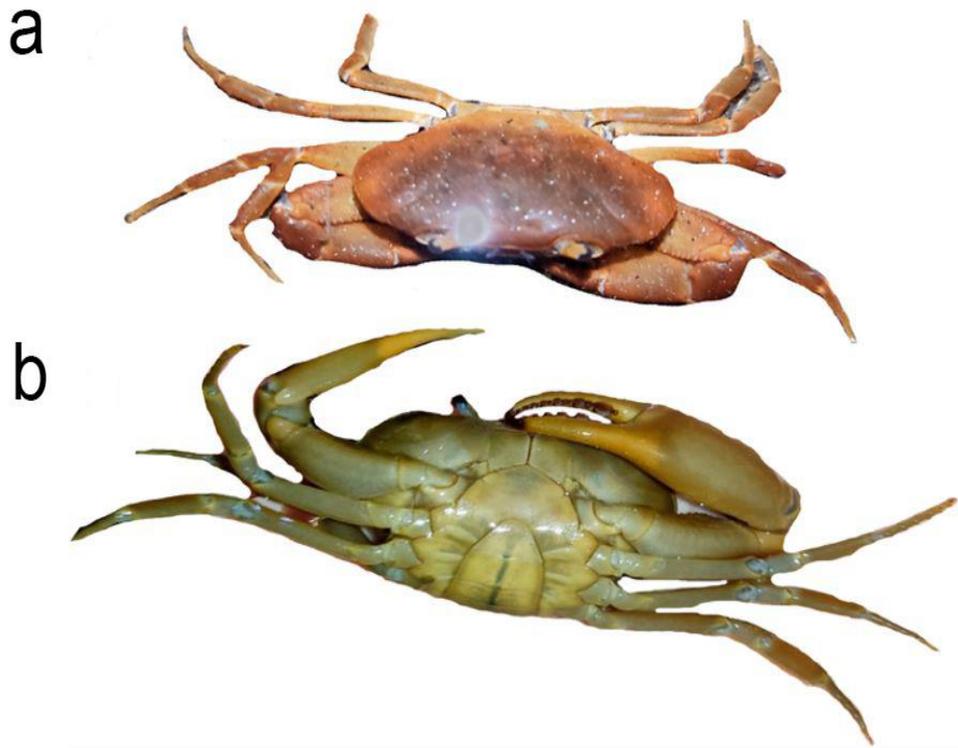


Figura 3. Cangrejo de agua dulce *Strengeriana taironae* (Pseudothelphusidae): a) parte dorsal; b) parte ventral.

#### Registro vocal del autillo de Santa Marta (canto agresivo)

En junio de 2022, durante el periodo lluvioso, se registraron vocalizaciones del *M. gilesi* en una cobertura tipo bosque denso alto de tierra firme en la estación El Dorado. En un primer momento, se trató del canto típico de la especie, que tiene una duración de dos a tres segundos, semejante al registrado por

Coral (2022) (figura 4, [XC711665](#)). Después de dos minutos se acercó un segundo individuo, que respondió de manera similar durante aproximadamente un minuto. Luego, este último cambió su vocalización, produciendo un canto más largo con variaciones de tono (figura 5, [XC735015](#)). Según lo descrito por Krabbe (2017), esta conducta podría corresponder a un canto agresivo o secundario.

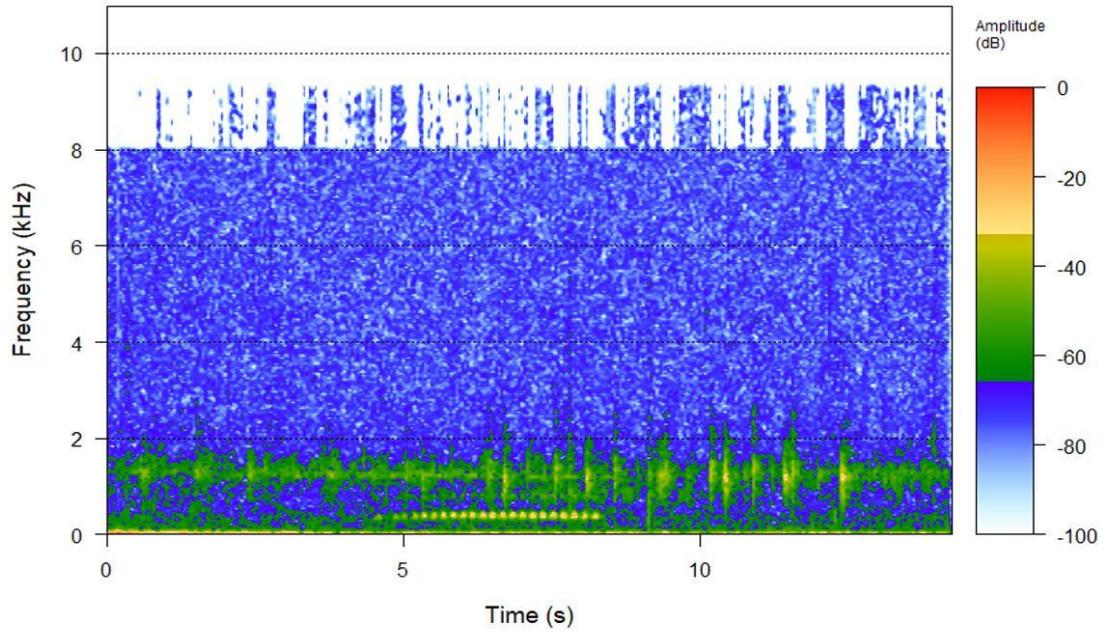


Figura 4. Espectrograma 1 de *Megascops gilesi*. canto típico o natural ([XC711665](#)).

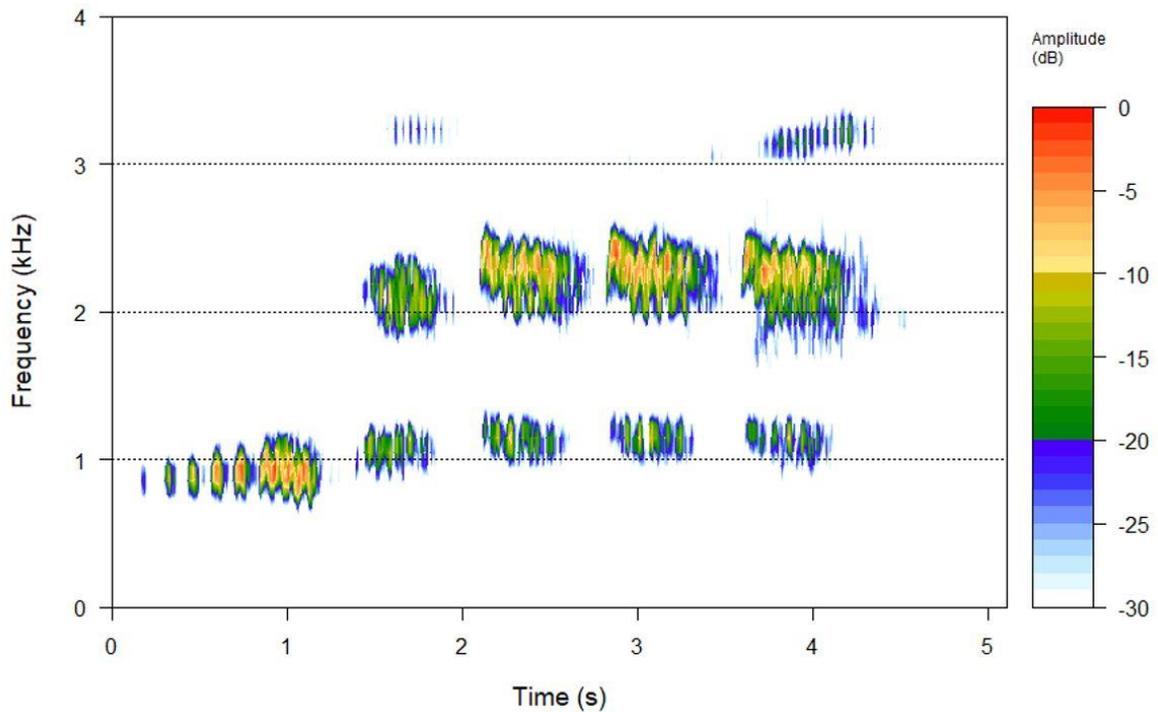


Figura 5. Espectrograma 2 de *Megascops gilesi*. llamada agresiva ([XC735015](#)).

La posible llamada agresiva se da luego del segundo 0,11, cuando el individuo inicia con un "canto típico o natural" que se mantiene hasta el segundo 0,83, caracterizado por una frecuencia inicial (mínima) de 0,08 kHz y una frecuencia final (máxima) de 5,06 kHz. Ahora bien, entre el segundo 1 y el 4,84 la vocalización (llamada territorial) pasa a una frecuencia mínima de 0,23 kHz y una máxima de 9,56 kHz (tabla 3). La estrofa que compone este espectrograma podría interpretarse como la onomatopeya "Tururu-turu-turu-turu-turu", lo que parece corresponder a una serie rápida de notas nasales y una

entonación predominante ascendente.

En cuanto a la estructura del canto, parece estar compuesto por cinco notas. De ellas, las últimas cuatro pertenecen a la segunda sección del espectrograma y presentan datos de alta frecuencia que oscilan entre 0,23 kHz y 9,56 kHz. Si bien es difícil determinar la cantidad de sílabas que componen estas últimas cuatro notas del búho debido a la naturaleza de la vocalización, es preciso enfatizar en ellas ya que la primera sílaba es casi idéntica al canto típico que el búho posee, tal como se ha demostrado en estudios previos (Krabbe, 2017).

Tabla 3. Llamada agresiva del autillo de Santa Marta.

Selección	Vista	Canal	Tiempo de inicio (s)	Tiempo de finalización (s)	Frecuencia baja (kHz)	Frecuencia alta (kHz)
1	Espectrograma 2 (figura 5)	1	0,11	0,83	0,08	5,06
2		1	1	4,84	0,23	9,56

## Discusión

Según los resultados, los bosques densos representan el tipo de cobertura de mayor relevancia en el hábitat utilizado por el autillo de Santa Marta. Aunque en otros congéneres del género *Megascops* se ha documentado el uso de sabanas semiabiertas y cerradas, bosques de galería, bordes y claros de bosques fragmentados, vegetación secundaria y agroecosistemas (Alba-Zúñiga *et al.*, 2009; Andrade, 2014; Barros, 2011; Claudino, 2013; Holt *et al.*, 2016; Vázquez-Pérez *et al.*, 2011), es probable que *M. gilesi* opte por los bosques densos al ser más favorables para la caza y minimizar el consumo de energía (Pyke, 1984) debido a la estructura más compleja que presentan y a la mayor heterogeneidad de hábitats, lo que seguramente aumentaría la diversidad y abundancia de recursos ecológicos disponibles (Tews *et al.*, 2004). Por ejemplo, investigaciones han demostrado una relación positiva entre la diversidad de presas en la dieta de las lechuzas y la complejidad del paisaje en sus áreas de caza (Szép *et al.*, 2017).

Sin embargo, es importante destacar que la dieta y el uso del hábitat por parte de las aves rapaces no dependen únicamente de la abundancia de las principales especies de presa en las áreas de caza. También es crucial considerar la estructura y la heterogeneidad del hábitat ya que la proporción de estos elementos en el paisaje puede influir significativamente en la disponibilidad de recursos ecológicos (Kovinka *et al.*, 2023).

Por otro lado, North *et al.* (2017) señalan que las coberturas densas de áreas boscosas son favorecidas por la presencia de

árboles de gran tamaño, los cuales se convierten en un predictor significativo del uso del hábitat por parte de los búhos en comparación con la cobertura total del dosel, que podría abarcar estratos inferiores y condiciones que estas especies suelen evitar. Estos árboles pueden beneficiar directamente a estas aves al brindar protección aérea contra depredadores y al modificar el microclima o indirectamente estar relacionados con otros atributos estructurales como la edad de los bosques o el tamaño y la presencia de árboles muertos, características que suelen estar presentes en entornos con árboles altos (Gutiérrez *et al.*, 1995). Estos aspectos estructurales de los bosques desempeñarían un papel crucial en la explicación de los patrones de uso del hábitat por parte del autillo de Santa Marta y en la definición de ensamblaje en las poblaciones de Strigiformes presentes en el sector San Lorenzo, tal como se ha descrito en otras investigaciones (Esclarski y Cintra, 2014).

Otro aspecto por considerar sobre los bosques densos que el autillo de Santa Marta frecuentó podría estar relacionado con la mayor disponibilidad de recursos que estos hábitats ofrecen en comparación con otros. De manera similar, en otras especies de Strigiformes se ha observado una tendencia a utilizar áreas boscosas con cobertura densas ya que estos entornos son importantes para anidar, descansar, alimentarse y protegerse (Blakey *et al.*, 2019; Nikolov *et al.*, 2022; Tempel *et al.*, 2016). Entretanto, los registros del autillo de Santa Marta en los bosques abiertos pueden deberse a que estos tipos de hábitats proporcionarían una estructura forestal con mayor espacio, donde los búhos pueden volar y alimentarse de manera más

efectiva, incluso si hay poca abundancia de presas (König y Weick, 2008).

La segregación de espacio y territorio es otro aspecto que podría explicar la menor frecuencia de registros del autillo en bosques abiertos en tanto que son territorios de caza para búhos de mayor tamaño como *A. stygius* y *S. virgata*, especies que se distribuyen en el sector de San Lorenzo y tienden a frecuentar fragmentos y bordes de bosques (Hilty y Brown, 2009). Por consiguiente, la presencia de estos Strigiformes más grandes podría incidir en las diferencias del uso de hábitat de *M. gilesi*; llevándolo a mostrar comportamientos de evitación de estos espacios para reducir conflictos interespecíficos, los cuales podrían ser resultado de la competencia por recursos limitados (Cody, 1974), como sitios de reproducción y alimentación (Sagarío y Cueto, 2014). Estas conductas interespecíficas podrían intensificarse ante eventos ambientales menos favorables, por ejemplo, periodos de escasa precipitación y menor abundancia de alimento (Sagarío y Cueto, 2014), especialmente cuando las especies fungen como depredadoras o competidoras debido a que ocupan el mismo nivel trófico en el ecosistema (Connell, 1983; Martin y Martin, 2001).

Por otro lado, la baja cantidad de registros en El Ramo puede atribuirse a las transformaciones del paisaje debido al establecimiento de fincas y hostales en predios privados. Estos cambios en el uso del suelo tienen un impacto negativo en la cobertura vegetal y, por ende, en la estructura de la vegetación, lo que puede tener efectos en la distribución y la abundancia de las especies (Sberze *et al.*, 2010; Thiollay, 2007). Es posible que estas alteraciones estén influyendo en los registros de *M. gilesi* en este sitio en particular, llevando a este búho a preferir otras áreas óptimas con un mayor grado de conservación, como se evidencia en los otros sitios de muestreo (San Lorenzo y El Dorado).

En general, los registros del autillo de Santa Marta no se mantuvieron constantes. Durante la estacionalidad seca, hubo un mayor número de detecciones (60) en comparación con el periodo lluvioso (32). Estas variaciones se asociaron con diferentes coberturas vegetales, y es probable que la disminución de reportes durante la temporada húmeda se relacione con la presencia de fuertes vientos y altas precipitaciones en los dos últimos meses de esa época. En esa misma línea, investigaciones previas realizadas por Ortiz-Pulido y Lara (2014) y Rivera-Rivera *et al.* (2012) sugieren que las condiciones de alta precipitación, características de la estación lluviosa, pueden reducir la actividad de los Strigiformes al limitar sus oportunidades de caza y desplazamiento en busca de

recursos.

La información sobre la dieta de las especies del género *Megascops* sigue siendo escasa (Enríquez, 2015). Hasta la fecha, solo se había registrado un evento de forrajeo que indicaba que este autillo se alimentaba de una rana endémica de la SNSM (Spinelli *et al.*, 2022). En efecto, las observaciones del presente estudio han permitido confirmar que *M. gilesi* se alimenta de la rana *S. sanctaemartae*, así como de un insecto de la familia Tettigoniidae y un crustáceo decápodo (*S. taironae*) que podría ser una presa potencial. Estos descubrimientos preliminares están en concordancia con los hábitos alimenticios descritos para otros autillos y Strigiformes, cuya dieta, según se ha documentado, abarca tanto vertebrados como invertebrados, con cierta preferencia por los insectos en el caso de algunas especies como *Megascops choliba*, *Megascops barbarus*, *Megascops sanctaecatarinae*, *Megascops asio* y *Megascops centralis* (Delgado, 2007; Enríquez y Cheng, 2008; Hernández-Muñoz y Mancina, 2011; Motta-Junior, 2002, 2006; Pagano *et al.*, 2021; Pozo-Zamora *et al.*, 2017; Reyes y Astudillo-Sánchez, 2017; Zilio y Zucatti, 2018).

La observación de la depredación de la rana *S. sanctaemartae*, junto con otros registros de caza, sugiere que diversas especies de aves, cuya dieta se compone principalmente de artrópodos, ocasionalmente consumen anfibios de manera oportunista (Toledo *et al.*, 2007). Este comportamiento podría estar mediado por la disminución en la disponibilidad de artrópodos en el ambiente durante una época particular del año. En general, estos resultados contribuyen al entendimiento de la ecología alimenticia de esta especie y su papel dentro del ecosistema local.

La comunicación desempeña un papel importante en los Strigiformes, así como en el comportamiento y la biología de las especies (Galeotti y Pavan, 1991). Marshall (1967) señala que la mayoría de aves pertenecientes al género *Megascops* presentan dos tipos de cantos que se utilizan en dúos o rituales de pareja. Respecto al autillo de Santa Marta en específico, Krabbe (2017) describe que muestra un repertorio vocal diverso que incluye un canto típico o natural ([XC235877](#)) y otro agresivo ([XC59672](#)). Aparentemente, ambos sexos pueden emitir esta última vocalización, la cual se caracteriza por ser más larga, áspera en calidad y con cambios ascendentes y descendentes en el tono.

## Conclusiones

Los resultados de este estudio brindan una visión más detallada sobre el uso de hábitats y la ecología del autillo de Santa Marta, aportando información relevante para las bases de futuras

investigaciones, así como para la conservación de esta especie endémica de la SNSM. Los hallazgos de la investigación indican que este búho utiliza una variedad de hábitats y que esta selección está influenciada por las características específicas de cada sitio de concurrencia del ave, las cuales a su vez están mediadas por las condiciones climáticas; especialmente, las precipitaciones y el grado de conservación de la cobertura vegetal.

Se destaca que los bosques densos emergen como el tipo de cobertura más relevante para *M. gilesi*. Estos resultados son consistentes con investigaciones previas sobre otros Strigiformes, que también han señalado la importancia de los bosques densos como hábitats clave para el sustento y la persistencia de estas poblaciones.

Por otro lado, es fundamental considerar las interacciones biológicas y antropogénicas, y las estructuras y los elementos de los bosques como otros factores que influyen en uso del hábitat de esta especie. Además, el comportamiento forrajero en la dieta del autillo enfatiza la relevancia de mantener la diversidad de recursos para garantizar la supervivencia de este búho en el cambiante entorno ambiental de este sistema montañoso.

Las observaciones del estudio sugieren la posibilidad de interacciones complejas entre *M. gilesi*, *A. stygius* y *S. virgata*, lo cual representa un tema de estudio que requiere un análisis detallado y profundo. Estas potenciales relaciones podrían tener un impacto significativo en la ecología del área y merecen una investigación exhaustiva para comprender mejor su dinámica y sus consecuencias en el ecosistema local.

Asimismo, se recomienda enfocar futuras investigaciones hacia la dinámica de otras especies del mismo gremio con el fin de aclarar más detalles del uso de hábitat de *M. gilesi*. En ese sentido, también es preciso analizar de forma más minuciosa los requerimientos ecológicos de esta ave, su densidad poblacional, tendencia demográfica, ecología reproductiva, distribución y riesgos de extinción. Estos estudios ampliarán el conocimiento sobre este autillo y proporcionarán una base sólida para su conservación y para el manejo adecuado en su hábitat natural.

adquisición de financiación, escritura, revisión y edición.

Diana Tamaris: conceptualización, administración del proyecto, supervisión, escritura, revisión y edición

## Referencias

Alba-Zúñiga, A., Enríquez, P. L. y Rangel-Salazar, J. L. (2009). Population density and habitat use of the threatened Balsas screech owl in the Sierra de Huautla Biosphere Reserve, Mexico. *Endangered Species Research*, 9(1), 61-66. <https://doi.org/10.3354/esr00235>.

Andrade, M. (2014). Efecto de la fragmentación del bosque seco tropical sobre la distribución potencial de *Megascops roboratus*, en 1985 y 2011, mediante la aplicación de modelos ecológicos en la cuenca baja del río Guayas [Tesis de maestría, Universidad Central de Ecuador]. Repositorio Digital Universidad Central del Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4236>.

Aguilar, E. (2013). El plan de adaptación al cambio climático de Cartagena. <http://www2.institut-gouvernance.org/es/experiencia/fiche-experiencia-46.html>.

Alam, G. M. M., Alam, K. y Mushtaq, S. (2017). Climate change perceptions and local adaptation strategies of hazard-prone rural households in Bangladesh. *Climate Risk Management*, 17, 52-63. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.06.006>.

Ayerbe, Q. (2022). Guía ilustrada de la avifauna colombiana. Puntoaparte.

Barros, F. M. (2011). Área de vida, uso e seleção de habitat pela corujinha-do-mato *Megascops choliba* (Strigiformes: Strigidae) em uma área de cerrado na região central do Estado de São Paulo. [Tesis de maestría, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo]. Biblioteca Digital USP. 10.11606/D.41.2011.de-19042012-092752.

Bibby, C. J., Jones, M. y Marsden, S. (2000). Bird surveys. Expedition Advisory Centre.

BirdLife International. (2019). Santa Marta Screech-owl *Megascops gilesi*. <http://datazone.birdlife.org/species/factsheet/santa-marta-screech-owl-megascops-gilesi/details>.

BirdLife International. (2024). Species factsheet: *Megascops gilesi*. <https://datazone.birdlife.org/species/factsheet/santa-marta-screech-owl-megascops-gilesi> on 24/03/2024.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

### Contribución de los autores

Jorge Gutiérrez y Guido Spinelli: conceptualización, desarrollo del diseño metodológico, toma de datos, análisis de datos,

- Blakey, R. V., Siegel, R. B., Webb, E. B., Dillingham, C. P., Bauer, R. L., Johnson, M., y Kesler, D. C. (2019). Space use, forays, and habitat selection by California Spotted Owls (*Strix occidentalis occidentalis*) during the breeding season: New insights from high resolution GPS tracking. *Forest Ecology and Management*, 432, 912-922. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.017>.
- Block, W. M. y Brennan, L. A. (1993). The Habitat Concept in Ornithology. En D. M. Power (Ed.), *Current Ornithology* (vol. 11, pp. 35-91). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9912-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9912-5_2).
- Bradley, D. (2016). XC301822. Xeno-canto. [www.xeno-canto.org/301822](http://www.xeno-canto.org/301822)
- Claudino, R. M. (2013). Como a fragmentação da Mata Atlântica no sudoeste de Minas Gerais afeta aspectos da ecologia de população e assembleia de corujas (Aves: Strigiformes) [Tesis de maestría, Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto]. Repositório Institucional Universidade Federal de Ouro Preto. <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/4229>.
- Cody, M. L. (1974). *Competition and the structure of bird communities*. Princeton University Press.
- Connell, J. H. (1983). On the prevalence and relative importance of interspecific competition: evidence from field experiments. *The American Naturalist*, 122(5), 661-696.
- Coral, B. (2022). XC711665. Xeno-canto. <https://xeno-canto.org/711665>.
- Cuadrado-Peña, B. (2005). Estructura y composición florística del bosque ripario de la cuenca del río Gaira, Magdalena, Colombia [Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Magdalena]. Repositorio Digital Unimagdalena. <http://repositorio.unimagdalena.edu.co/handle/123456789/2696>.
- Delgado, C. A. (2007). La dieta del Curru-cutú *Megascops choliba* (Strigidae) en la ciudad de Medellín, Colombia. *Boletín SAO*, 17(2), 114-117.
- Duran-Izquierdo, M. y Olivero-Verbel, J. (2021). Vulnerability assessment of Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia: World's most irreplaceable nature reserve. *Global Ecology and Conservation*, 28, e01592. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01592>.
- EBird. (2022). *Cornell Lab of Ornithology*.
- Echeverry-Galvis, M. Á., Acevedo-Charry, O., Avendaño, J. E., Gómez, C., Stiles, F. G., Estela, F. A. y Cuervo, A. M. (2022). Lista oficial de las aves de Colombia 2022: Adiciones, cambios taxonómicos y actualizaciones de estado. *Ornitología Colombiana*, (22), 25-51. <https://doi.org/10.59517/oc.e548>.
- Enríquez, P. L. (2015). Los búhos neotropicales: diversidad y conservación. *Ecosur*.
- Enríquez, P. L. y Cheng, K. (2008). Natural History of the Bearded Screech-Owl (*Megascops barbarus*) in Chiapas, Mexico. *Journal of Raptor Research*, 42(3), 180-187. <https://doi.org/10.3356/JRR-07-30.1>.
- Esclarski, P. y Cintra, R. (2014). Effects of terra firme-forest structure on habitat use by owls (Aves: Strigiformes) in central Brazilian Amazonia. *Ornitología Neotropical*, 25, 433-458.
- Fischer, J. (2020). XC522113. Xeno-canto. <https://xeno-canto.org/522113>.
- Galeotti, P. y Pavan, G. (1991). Individual recognition of male Tawny owls (*Strix aluco*) using spectrograms of their territorial calls. *Ethology Ecology & Evolution*, 3(2), 113-126. <https://doi.org/10.1080/08927014.1991.9525378>.
- Galindo-Gil, S., Rodríguez-Romero, F. D. J., Velázquez-Rodríguez, A. S. y Moreno-Barajas, R. (2015). Correlaciones Morfológicas entre la Forma de la Cabeza, Dieta y uso de Hábitat de Algunos Sceloporus de México: Un Análisis Cuantitativo. *International Journal of Morphology*, 33(1), 295-300. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022015000100047>.
- Gallina, S. y López-González, C. (Eds.). (2011). *Manual de Técnicas para el estudio de la Fauna*. Universidad Autónoma de Querétaro; Instituto de Ecología.
- Gutiérrez, R., Franklin, A. y LaHaye, W. (1995). *The birds of North America*. No. 179.
- Hall, L. S., Krausman, P. R. y Morrison, M. L. (1997). The Habitat Concept and a Plea for Standard Terminology. *Wildlife Society Bulletin*, 25(1), 173-182. <http://www.jstor.org/stable/3783301>.
- Haug, E. A. y Didiuk, A. B. (1993). Use of Recorded Calls to Detect Burrowing Owls. *Journal of Field Ornithology*, 64(2), 188-194. <http://www.jstor.org/stable/4513796>.

- Hernández-Camacho, J. y Sánchez, H. (1992). Biomas terrestres de Colombia. En G. Halffter (Comp.), *La diversidad biológica de Iberoamérica* (pp. 153-174). Instituto de Ecología.
- Hernández-Muñoz, A. y Mancina, C. A. (2011). La dieta de la lechuza (*Tyto alba*) (Aves: Strigiformes) en hábitats naturales y antropogénicos de la región central de Cuba. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(1), 217-226.
- Heywood, V. H. y Watson, R. T. (1995). *Global biodiversity assessment* (vol. 1140). Cambridge University Press.
- Hilty, S. y Brown, W. L. (2009). *Guía de las aves de Colombia*. Asociación Colombiana de Ornitología.
- Hinam, H. L. y St. Clair, C. C. (2008). High levels of habitat loss and fragmentation limit reproductive success by reducing home range size and provisioning rates of Northern saw-whet owls. *Biological Conservation*, 141(2), 524-535. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.11.011>.
- Holt, D. W., Berkley, R., Deppe, C., Enríquez, P. L., Petersen, J. L., Rangel, J. L., Segars, K. P., Wood, K. L. y Marts, J. S. (2016). Long-tufted Screech-Owl (*Megascops sanctaecatarinae*). En J. del Hoyo, A. Elliott, J. Sargatal, D. A. Christie y E. de Juana (Eds.), *Handbook of the birds of the world alive*. Lynx Edicions.
- IDEAM. (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Editorial Scripto.
- IGAC. (1999). *Paisajes Fisiográficos de la Orinoquia-Amazonia*.
- König, C. y Weick, F. (2008). *Owls of the world*. A&C Black.
- Kovinka, T., Sharikov, A., Massalskaya, T. y Volkov, S. (2023). Structure and heterogeneity of habitat determine diet of predators despite prey abundance: Similar response in Long-eared, Short-eared Owls and Common Kestrels. *Avian Research*, 14, 100072. <https://doi.org/10.1016/j.avrs.2022.100072>.
- Krabbe, N. K. (2017). A new species of *Megascops* (Strigidae) from the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia, with notes on voices of New World screech-owls. *Ornitología Colombiana*, (16), 1-27. <https://asociacioncolombianadeornitologia.org/ojs/index.php/roc/article/view/375>.
- Lau, I. (2020). XC540635. Xeno-canto. <https://xenocanto.org/540635>.
- Levin, L. A. (1984). Life history and dispersal patterns in a dense infaunal polychaete assemblage: community structure and response to disturbance. *Ecology*, 65(4), 1185-1200.
- Márquez, C., Bechard, M., Gast, F. y Vanegas, V. H. (2005). *Aves rapaces diurnas de Colombia* (1.a ed.). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Marshall, J. T. (1967). *Parallel Variation in North and Middle American Screech-Owls*. Western Foundation of Vertebrate Zoology.
- Martin, P. R. y Martin, T. E. (2001). Ecological and fitness consequences of species coexistence: a removal experiment with wood warblers. *Ecology*, 82(1), 189-206. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2001\)082\[0189:EAFCOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2001)082[0189:EAFCOS]2.0.CO;2).
- Martínez, V., Pacheco, V. y Ramírez, M. P. (2011). Abundancia relativa y uso de microhábitat de la rana *Geobatrachus walkeri* (Anura: Strabomantidae) en dos hábitats en Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 59(2), 907-920.
- Morrison, M. L., Marcot, B. y Mannan, W. (2012). *Wildlife-habitat relationships: concepts and applications*.
- Motta-Junior, J. C. (2002). Diet of breeding Tropical Screech-Owls (*Otus choliba*) in Southeastern Brazil. *Journal of Raptor Research*, 36(4), 332-334.
- Motta-Junior, J. C. (2006). Relações tróficas entre cinco Strigiformes simpátricas na região central do Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Ornitologia*, 14(4), 359-377.
- Nikolov, B. P., Zlatanov, T., Groen, T., Stoyanov, S., Hristova-Nikolova, I. y Lexer, M. J. (2022). Habitat requirements of Boreal Owl (*Aegolius funereus*) and Pygmy Owl (*Glaucidium passerinum*) in rear edge montane populations on the Balkan Peninsula. *Avian Research*, 13, 100020. <https://doi.org/10.1016/j.avrs.2022.100020>.
- North, M. P., Kane, J. T., Kane, V. R., Asner, G. P., Berigan, W., Churchill, D. J., Conway, S., Gutiérrez, R. J., Jeronimo, S., Keane, J., Koltunov, A., Mark, T., Moskal, M., Munton, T., Peery, Z., Ramirez, C., Sollmann, R., White, A. y Whitmore, S. (2017). Cover of tall trees best predicts California spotted owl habitat. *Forest Ecology and Management*, 405, 166-178. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.09.019>.

- Orellana, S. A. A., Figueroa, R., Faúndez, P. V., Carrasco-Lagos, P. y Moreno, R. A. (2015). *Aves rapaces de la Región Metropolitana de Santiago, Chile*. Laboratorio de Ecología de Vida Silvestre (LEVS), Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile.
- Ortiz-Pulido, R. y Lara, C. (2014). Owls in oak and pine forests in La Malinche National Park, Mexico. *Omitología Neotropical*, 25(3), 345-353. <https://sora.unm.edu/node/133559>.
- Padilla, O. (2019). Descripción de un evento de anidación del búho real (*Bubo virginianus nacurutu* Vieillot, 1817) y del búho moteado (*Ciccaba virgata virgata* Cassin, 1849) en Huila, Colombia. *Intropica*, 14(1), 8-15. <http://orcid.org/0000-0003-3835-507X>.
- Pagano, L. G., Bodrati, A., Fariña, N., Di Sallo, F. G., Wioneczak, M. J., Pradier, L. S., Krauczuk, E., Krause, L. O. y Cockle, K. L. (2021). Distribución e historia natural del Alilicucú Orejudo o Ribereño (*Megascops sanctaecatrinae*) en Argentina. *El Hornero*, 36(2), 51-64. <https://doi.org/10.56178/eh.v36i2.370>.
- Panzeri, M., Menchetti, M. y Mori, E. (2014). Habitat use and diet of the Eurasian scops owl *Otus scops* in the breeding and wintering periods in Central Italy. *Ardeola*, 61(2), 393-399. <https://doi.org/10.13157/arla.61.2.2014.393>.
- Pozo-Zamora, G. M., Brito, J., García, R., Alarcón, I. y Cadena-Ortiz, H. F. (2017). Primeras observaciones de la dieta del Búho Orejicorto *Asio flammeus bogotensis* (Strigiformes: Strigidae) en Pichincha, Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Ornitología*, (1). <https://doi.org/10.18272/reo.v0i1.463>.
- Primack, R., Rozzi, R., Massardo, F. y Feinsinger, P. (2001). Destrucción y degradación del hábitat. En R. Primack, R. Rozzi, P. Feinsinger, R. Dirzo y F. Massardo (Coords.), *Fundamentos de conservación biológica: Perspectivas latinoamericanas* (pp. 183-221). Fondo de Cultura Económica.
- Pyke, G. H. (1984). Optimal Foraging Theory: A Critical Review. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 15(1), 523-575. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.15.110184.002515>.
- Rangel, J. O. y Aguilar, M. (1995a). Una aproximación sobre la diversidad climática en las regiones naturales de Colombia. En J. O. Rangel (Ed.), *Colombia Diversidad Biótica I* (pp. 25-76). Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.
- Rangel, J. O. y Garzón, A. (1995). Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). En J. O. Rangel (Ed.), *Colombia Diversidad Biótica I* (pp. 155-170). Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.
- Rangel, O. y Lozano, G. (1986). Un perfil de vegetación entre La Plata (Huila) y el volcán del Puracé. *Caldasia*, 14(68-70), 503-547.
- Revelo, C., Gallego, J. J., Castro, J. F. y Murillo, O. E. (2016). Variación morfológica en el ensamblaje de aves passeriformes presentes en dos zonas de bosque tropical con diferente grado de perturbación. *Revista de Ciencias*, 20(SPE), 125-137.
- Reyes, E. M. y Astudillo-Sánchez, E. (2017). Notes on the Nest, Owlets, Diet, and Parasites of the Choco Screech-Owl (*Megascops guatemalae centralis*) in Loma Alta Communal Reserve, Western Ecuador. *The Wilson Journal of Ornithology*, 129(2), 377-381. <https://doi.org/10.1676/16-019.1>
- Rivera-Rivera, E., Enríquez, P. L., Flamenco-Sandoval, A. y Rangel-Salazar, J. L. (2012). Ocupación y abundancia de aves rapaces nocturnas (Strigidae) en la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(3), 742-752. <https://doi.org/10.7550/rmb.21364>.
- Sagarío, M. C. y Cueto, V. R. (2014). Evaluación del comportamiento territorial de cuatro especies de aves granívoras en el Monte central. *El Hornero*, 29(2), 81-92. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0073-34072014000200004&lng=es&tling=en](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0073-34072014000200004&lng=es&tling=en).
- Sberze, M., Cohn-Haft, M. y Ferraz, G. (2010). Old growth and secondary forest site occupancy by nocturnal birds in a neotropical landscape. *Animal Conservation*, 13(1), 3-11. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2009.00312.x>.
- Slaght, J. C., Surmach, S. G. y Gutiérrez, R. J. (2013). Riparian old-growth forests provide critical nesting and foraging habitat for Blakiston's fish owl *Bubo blakistoni* in Russia. *Oryx*, 47(4), 553-560. <https://doi.org/10.1017/S0030605312000956>.
- Szép, D., Klein, A. y Purger, J. (2017). The prey composition of the Barn Owl (*Tyto alba*) with respect to landscape structure of its hunting area (Zala County, Hungary). *Ornis Hungarica*, 25(2), 51-64. <https://doi.org/10.1515/orhu-2017-0015>.
- Tempel, D. J., Keane, J. J., Gutiérrez, R. J., Wolfe, J. D., Jones, G. M., Koltunov, A., Ramirez, C. M., Berigan, W. J., Gallagher, C. V., Munton, T. E., Shaklee, P. A., Whitmore, S. A. y Peery, M. Z. (2016). Meta-analysis of California Spotted Owl (*Strix occidentalis occidentalis*) territory occupancy in the Sierra Nevada: Habitat associations and

- their implications for forest management. *The Condor: Ornithological Applications*, 118(4), 747-765. <https://doi.org/10.1650/CONDOR-16-66.1>.
- Tews, J., Brose, U., Grimm, V., Tielbörger, K., Wichmann, M. C., Schwager, M., y Jeltsch, F. (2004). Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. *Journal of Biogeography*, 31(1), 79-92. <https://doi.org/10.1046/j.0305-0270.2003.00994.x>.
- Thiollay, J. M. (2007). Raptor communities in French Guiana: distribution, habitat selection, and conservation. *Journal of Raptor Research*, 41(2), 90-105. [https://doi.org/10.3356/0892-1016\(2007\)41\[90:RCIFGD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3356/0892-1016(2007)41[90:RCIFGD]2.0.CO;2).
- Toledo, L. F., Ribeiro, R. S. y Haddad, C. F. (2007). Anurans as prey: an exploratory analysis and size relationships between predators and their prey. *Journal of Zoology*, 271(2), 170-177. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2006.00195.x>.
- Vázquez-Pérez, J. R., Enríquez, P. L., Rangel-Salazar, J. L. y Castillo, M. A. (2011). Densidad y uso de hábitat de búhos en la Reserva de la Biosfera Selva el Ocote, Chiapas, Sur de México. *Ornitología Neotropical*, 22, 577-587. <https://sora.unm.edu/sites/default/files/ON%2022%284%29%20577-587.pdf>.
- Vogels, B. (2021). XC694176. *Xeno-canto*. [www.xeno-canto.org/694176](http://www.xeno-canto.org/694176).
- Watson, D. M. y Peterson, A. T. (1999). Determinants of diversity in a naturally fragmented landscape: humid montane forest avifaunas of Mesoamerica. *Ecography*, 22(5), 582-589. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.1999.tb01288.x>.
- Williams, S. E. y Middleton, J. (2008). Climatic seasonality, resource bottlenecks, and abundance of rainforest birds: implications for global climate change. *Diversity and Distributions*, 14(1), 69-77. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00418.x>.
- Yáber, M. C. y Rabenold, K. N. (2002). Effects of sociality on short-distance, female-biased dispersal in tropical wrens. *Journal of Animal Ecology*, 71(6), 1042-1055.
- Zilio, F. y Zucatti, B. (2018). Diet of Long-tufted Screech-Owl in a Southern Brazilian Agroecosystem. *Journal of Raptor Research*, 52(1), 115-117. <https://doi.org/10.3356/JRR-16-107.1>
- Zurita, G. A. y Bellocq, M. I. (2007). Pérdida y fragmentación de la Selva Paranaense: efectos sobre las aves rapaces diurnas. *El Hornero*, 22(2), 141-147. <https://doi.org/10.56178/eh.v22i2.759>.

## Análisis comparativo de la gestión ambiental urbana en Cartagena, Santa Marta y Barranquilla en 2020

### Comparative analysis of urban environmental management in Cartagena, Santa Marta and Barranquilla in 2020

Samantha Yepes-Zabaleta  y Javid Dovale-Aguas\* 

Programa de Biología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia

#### Resumen

El presente trabajo es el resultado del análisis realizado de la gestión ambiental de tres ciudades del Caribe colombiano (Cartagena, Barranquilla y Santa Marta) durante el 2020, tomando como base la planeación ambiental propuesta por las diferentes entidades encargadas conocidos como Establecimientos Públicos Ambientales EPA y Departamento Administrativo de Sostenibilidad Ambiental DADSA. El análisis parte de los conceptos asociados a la administración y gestión de las alcaldías y la implementación de modelos de gestión en el marco de la construcción de los planes de desarrollo y el control ejercido por las oficinas encargadas. La metodología aplicada responde al modelo cualitativo de tipo documental, en el de se analizan de forma detallada los detalles de la planeación desde los planes de desarrollo de las alcaldías y los informes de gestión. Entre los principales hallazgos, la incipiente preocupación por las propuestas sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible, y los enfoques similares en los frentes de control del aire, el ruido y el cuidado de los ecosistemas urbanos en peligro. Igualmente, el largo camino por recorrer para el cumplimiento de las metas propuestas inicialmente.

**Palabras clave:** gestión; ambiente; gobierno; ecosistemas; ciudades; sostenibilidad

#### Abstract

The present work presents the results of an analysis conducted on the environmental management of three cities in the Colombian Caribbean (Cartagena, Barranquilla, and Santa Marta) during 2020, the analysis is based on the environmental planning proposed by various entities responsible, known as Public Environmental Establishments (EPA) and the Administrative Department of Environmental Sustainability (DADSA). The analysis focuses on concepts related to the administration and management of the mayor's offices and the implementation of management models within the framework of the construction of development plans, as well as the control exercised by the responsible offices. The applied methodology follows a qualitative model of the documentary type, in which planning details are analyzed extensively using the development plans of the mayor's offices and management reports. Among the main findings, there is an emerging concern about the proposals regarding the Sustainable Development Goals. Similar approaches were observed in areas such as air control, noise management, and the preservation of endangered urban ecosystems. Additionally, the findings highlight the considerable distance remaining to achieve the initially proposed goals.

**Key words:** management; environment; government; ecosystems; cities; sustainability

\*Autor de correspondencia: [jmdovale@hotmail.com](mailto:jmdovale@hotmail.com)

**Editor:** Saeko Gaitán Ibarra

**Recibido:** 06 de septiembre de 2023

**Aceptado:** 23 de junio de 2023

**Publicación en línea:** 30 de diciembre de 2023

**Citar como:** Yepes-Zabaleta, S. y Dovale-Aguas, J. (2023).

Análisis comparativo de la gestión ambiental urbana en Cartagena, Santa Marta y Barranquilla en 2020. *Intropica*, 18 (2), 208-225. <https://doi.org/10.21676/23897864.4762>.



## Introducción

La gestión ambiental urbana busca mejorar la calidad de vida de las personas que habitan las ciudades debido a que es ahí donde conviven con su entorno natural y se benefician de los servicios ecosistémicos que este proporciona. En Colombia, en los últimos cuarenta años se han realizado algunos esfuerzos para establecer una normatividad e institucionalidad ambiental. Prueba de ello fue la Ley 99 de 1993, que creó algunas de las corporaciones autónomas regionales (CAR), entidades encargadas de velar por el medio ambiente en los territorios donde son competentes con sus decisiones.

Entre las funciones de las CAR se destacan: la ejecución de políticas ambientales a nivel regional; el ejercicio de la autoridad ambiental, y la planificación y el ordenamiento ambiental territorial y sectorial (Sánchez-Triana *et al.*, 2008). Estas responsabilidades son importantes porque dotan a estas instituciones de herramientas de gestión ambiental y les brindan la oportunidad de ordenar coherentemente sus territorios en función de la protección y el manejo del medio ambiente.

El presente análisis se enfoca en la gestión ambiental urbana de tres ciudades principales de la costa Caribe: Cartagena, Barranquilla y Santa Marta. Cada uno de estos territorios presenta sus propias dinámicas ante problemas ambientales similares, y se quiere conocer si en realidad las autoridades pertinentes han logrado establecer políticas y resultados en términos de protección medioambiental.

El Sistema Nacional Ambiental (SINA) es la entidad gubernamental que elabora los planes y los programas de ordenamiento ambiental en los territorios, función que le otorgó la Ley 99 de 1993. Según dicho organismo, el bajo desarrollo para formular nuevas políticas ambientales y la falta de planificación han dado como resultado una implementación de acciones muy precarias y medianamente visibles a nivel urbano, que no se reflejan en un mejoramiento de la gestión de las ciudades. En ese sentido, se describen problemáticas específicas en torno al vertimiento de residuos, la contaminación atmosférica y de fuentes de agua, y la deforestación y la ocupación de áreas protegidas, fenómenos que hacen parte de las preocupaciones de la Contraloría General de la República desde hace más de veinte años (Pérez, 2000).

Esta inquietud de la Contraloría General de la República no es en vano ya que esta entidad ejerce funciones de control

gubernamental y anualmente emite informes sobre los recursos naturales, donde evalúa el gasto de las CAR y lo compara con la inversión de estas entidades en la gestión ambiental de sus territorios. Así, en su más reciente informe, de 2021-2022, este órgano señala deficiencias en la formulación de metas de los diferentes planes del gobierno en donde se incluye el componente ambiental y en su implementación. También existen muchas debilidades entre las entidades del sector frente al control y monitoreo de los recursos naturales. Asimismo, se mencionan fallas en la ejecución de los recursos provenientes del Presupuesto General de la Nación (PGN), lo que ha derivado en un incumplimiento de los compromisos ambientales del país y, por ende, ha impedido alcanzar el objetivo constitucional de contar con un ambiente sano y hacer un uso sostenible de los recursos naturales (Contraloría General de la República, 2022).

Esta inquietud de la Contraloría General de la República no es en vano ya que esta entidad ejerce funciones de control gubernamental y anualmente emite informes sobre los recursos naturales, donde evalúa el gasto de las CAR y lo compara con la inversión de estas entidades en la gestión ambiental de sus territorios. Así, en su más reciente informe, de 2021-2022, este órgano señala deficiencias en la formulación de metas de los diferentes planes del gobierno en donde se incluye el componente ambiental y en su implementación. También existen muchas debilidades entre las entidades del sector frente al control y monitoreo de los recursos naturales. Asimismo, se mencionan fallas en la ejecución de los recursos provenientes del Presupuesto General de la Nación (PGN), lo que ha derivado en un incumplimiento de los compromisos ambientales del país y, por ende, ha impedido alcanzar el objetivo constitucional de contar con un ambiente sano y hacer un uso sostenible de los recursos naturales (Contraloría General de la República, 2022).

En el Caribe colombiano, las CAR se han planteado promover procesos de gestión ambiental y de desarrollo sostenible que ayuden a mitigar las deforestaciones de manglares y la contaminación de fuentes hídricas, entre otros problemas de la región. En el caso específico de ciudades como Cartagena, Barranquilla y Santa Marta, se han evidenciado algunos déficits en seguimiento de la calidad ambiental y la falta de reporte de indicadores en la materia (Rodríguez, 2013). Esto se debe a la poca implementación de sistemas de monitoreo y a la falla en la ejecución presupuestal expuesta por la Contraloría General de la República (2022).

En el Caribe colombiano, las CAR se han planteado promover procesos de gestión ambiental y de desarrollo sostenible que ayuden a mitigar las deforestaciones de manglares y la

contaminación de fuentes hídricas, entre otros problemas de la región. En el caso específico de ciudades como Cartagena, Barranquilla y Santa Marta, se han evidenciado algunos déficits en seguimiento de la calidad ambiental y la falta de reporte de indicadores en la materia (Rodríguez, 2013). Esto se debe a la poca implementación de sistemas de monitoreo y a la falla en la ejecución presupuestal expuesta por la Contraloría General de la República (2022).

La gestión ambiental de estas ciudades capitales se analizó mediante un enfoque cualitativo a partir de documentos técnicos producidos por las tres principales entidades encargadas de esa labor: el establecimiento público ambiental (EPA) Cartagena, el EPA Barranquilla (Atlántico) y el Departamento Administrativo de Sostenibilidad Ambiental (Dadsa) de la ciudad de Santa Marta (Magdalena). De igual forma, se contemplaron publicaciones del SINA y de la Contraloría General de la República, así como algunos artículos que se refieren a la gestión ambiental urbana.

El trabajo se centró en evaluar los aportes de las entidades mencionadas al manejo medioambiental de las ciudades seleccionadas y en comparar el grado de cumplimiento de los planes de ordenamiento territorial de estos espacios urbanos. De esta manera se pudo conocer a fondo la gestión ambiental en las capitales mencionadas, identificando los escenarios administrativos específicos en los cuales se centra su implementación, conforme a los planes de desarrollo de cada Gobierno de turno.

Con el fin de determinar si los aportes mencionados brindaban datos óptimos, fue preciso analizar cada instrumento de gestión siguiendo el método documental fundado en la teoría de la información. Esta aproximación contempla el canal informal como una forma de comunicación directa entre la fuente y los interesados por la información, de forma que los datos se pueden medir y representar sin que exista una mayor intermediación de los investigadores, los cuales por su parte reconocen a las entidades como canales oficiales para obtener conocimiento —en este caso, de la gestión ambiental urbana de las tres ciudades— (Iglesia, 2004).

Asimismo, el análisis aborda dos aspectos vinculados a las funciones de las entidades que manejan el entorno natural de estos tres espacios urbanos y que deberían ser parte de su proceso de planeación: la gestión ambiental y el desarrollo sostenible. El primer concepto se entiende aquí como la interacción entre todas las áreas de una organización dirigida hacia la asignación de recursos y esfuerzos necesarios para

cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Ruiz, 2019). Estos últimos, relacionados con el segundo concepto, fomentan la implementación de procesos adecuados de protección, preservación, mitigación y compensación en las ciudades, con la capacidad de integrar a su vez intervenciones sociales y económicas, para lograr así un equilibrio resiliente en las dinámicas políticas públicas que determinan el desarrollo de cada ciudad. Se trata, en suma, de promover la protección y la recuperación del medio ambiente para abrir un camino a la sostenibilidad y a una mejor gestión ambiental urbana (Alam *et al.*, 2017; Ariza, 2021; Moreno, 2008; Rodríguez, 2008). Estos ODS han sido adoptados por todos los Estados miembro de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 2015 como un llamado universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para los próximos años (Naciones Unidas, 2018).

Los resultados de las investigaciones documentales se dividen en dos partes. En la primera se compara la gestión de las tres ciudades capitales, evidenciando así las problemáticas ambientales y el grado de manejo frente a ellas. En la segunda se contrasta la gestión ambiental propuesta por los principales organismos encargados en estas urbes (EPA Cartagena, EPA Barranquilla y Dadsa en Santa Marta) y, a partir de una caracterización general, se detallan cada una de las categorías definidas como problemas ambientales por cada establecimiento. Para este tipo de evaluación se tomó el año 2020 ya que fue el primer año de mandato público de los alcaldes, un periodo en el cual están obligados a incluir en sus planes de desarrollo propuestas que serán el eje de continuidad durante el resto de su gobierno.

## Resultados

### Gestión ambiental y urbana de tres ciudades del Caribe: Cartagena, Barranquilla y Santa Marta

Como primer aspecto general, se detallará la gestión ambiental de cada una de las ciudades analizadas tomando como base la información documental hallada dentro del plan de desarrollo de cada territorio. En ese sentido, se tuvieron en cuenta los proyectos, la ejecución, los logros y las falencias del sistema de gestión ambiental en cada caso. Asimismo, se exponen, a manera de síntesis, los principales problemas detectados.

#### La gestión ambiental en Cartagena

Cartagena de Indias se caracteriza por presentar bosques de manglares, bahías, canales o caños que interconectan a la ciudad con dinámicas poco conocidas en sus condiciones

naturales y que representan un potencial en ocupaciones de desarrollo afines con el tráfico portuario, el turismo, la pesca, el transporte y la recreación. Los inconvenientes del medio ambiente reconocidos para este distrito emergen como un mosaico de temas de diferentes dimensiones, que resultan siendo parte de una inadecuada gestión. Estos problemas tienen que ser analizados y agrupados con miras a medir y monitorear el nivel de afectación (Díaz *et al.*, 2016; Lacambra *et al.*, 2019; Magrin, 2015).

Por ejemplo, se han encontrado áreas de recepción de residuos urbanos en barrios como El Campestre y Torices, que fueron convertidas en vertederos para carretilleros de forma ilegal. En estos espacios se han depositado arena, cemento, ladrillos y rocas que terminan en los canales pluviales y en los cuerpos de agua de la urbe, lo que provoca obstrucciones e inundaciones en épocas de lluvia. En ese sentido, se plantea que la sensibilización debe ser una prioridad en el momento de abordar los asuntos de gestión ambiental. Un esfuerzo de ese tipo es el proyecto “Educación y Cultura Ambiental”, encaminado a la educación, a sensibilizar y al control ambiental (Martínez, 2016; Mendizábal, 2015). Dentro del plan de trabajo de esta iniciativa se describe la capacitación de más de 30.000 ciudadanos en temas tales como: educación ambiental y cuidado del medio ambiente, residuos sólidos, generación de emisiones y ruido, cambio climático, conservación de fauna silvestre, entre otros.

Asimismo, el EPA de la ciudad asesora 100 proyectos ambientales escolares (PRAE) y siete proyectos ambientales universitarios (PRAU) encaminados al uso adecuado de recursos como el agua y la energía. De igual forma se enfatiza en la importancia de la conservación de especies de flora y fauna silvestre, y se fomentan planes de silvicultura urbana con el apoyo de investigadores y semilleros universitarios (Alcaldía de Barranquilla; Bettini, 2012; Rengifo *et al.*, 2007; Sandoval-Escobar *et al.*, 2019).

Otro problema crítico que se ha evidenciado en Cartagena durante más de tres décadas y que hasta la fecha ha tenido una gestión escasa y poco eficiente son los residuos sólidos y de vísceras de animales —con los olores asociados— provenientes del mercado de Bazurto en la avenida El Lago. Estos desperdicios llegan hasta la ciénaga Las Quintas y han convertido a este cuerpo de agua en un foco de contaminación. A esto se le puede agregar la desesperante contaminación auditiva, producto de las bocinas de vendedores y el tráfico de vehículos de todo tipo que representa todo un caos. Esta sumatoria afecta la salud pública y el medio ambiente,

deteriorando el paisaje y la calidad de vida de los cartageneros (Contraloría General de la República, 2010; Navarrete-Ramírez y Rodríguez-Rincón, 2014).

Otro problema crítico que se ha evidenciado en Cartagena durante más de tres décadas y que hasta la fecha ha tenido una gestión escasa y poco eficiente son los residuos sólidos y de vísceras de animales —con los olores asociados— provenientes del mercado de Bazurto en la avenida El Lago. Estos desperdicios llegan hasta la ciénaga Las Quintas y han convertido a este cuerpo de agua en un foco de contaminación. A esto se le puede agregar la desesperante contaminación auditiva, producto de las bocinas de vendedores y el tráfico de vehículos de todo tipo que representa todo un caos. Esta sumatoria afecta la salud pública y el medio ambiente, deteriorando el paisaje y la calidad de vida de los cartageneros (Contraloría General de la República, 2010; Navarrete-Ramírez y Rodríguez-Rincón, 2014).

En cuanto a los recursos hídricos, en la ciudad se resalta la presencia de metales pesados que contaminan las aguas provenientes del Canal del Dique. Se han detectado concentraciones de elementos como mercurio, cadmio, níquel, cobre, arsénico y zinc —catalogados como cancerígenos— fuera de los umbrales establecidos por las autoridades ambientales. Esto es evidente en el caso del mercurio, por ejemplo, según estudios de sangre realizados por investigadores de la Universidad de Cartagena en poblaciones de Barú, Ararca y Tierrabomba, con un particular nivel de alerta en la primera (Ruiz, 2019).

Dentro del recurso hídrico también se ha señalado una falta de oxígeno por exceso de nutrientes y de materia orgánica provenientes de las aguas residuales industriales y del Canal del Dique. Esta problemática se asocia a procesos de eutrofización, esto es, el exceso de algas y su proceso de descomposición al morir, que consume gran parte del oxígeno. De esta forma, el agua se torna hipóxica, lo que deja al ecosistema marino vulnerable.

Otra fuente de contaminación mencionada son las aguas residuales domésticas negras y grises que llegan a la bahía por fallas en el alcantarillado o simplemente porque algunas poblaciones vulnerables no cuentan con dicho servicio. Así, se encuentran niveles de bacterias (coliformes fecales, *Enterococcus* y *Escherichia coli*) por encima de lo normal, lo que representa una situación de alerta ambiental y de riesgo en la salud pública (Observatorio Ambiental de Cartagena de Indias, 2020).

Frente a este escenario, el EPA de Cartagena ha presentado una serie de proyectos con los que ha buscado afrontar el déficit en materia ambiental de la ciudad mediante la sensibilización e implementación de buenas prácticas de sostenibilidad, incluyendo aspectos de tipos ambiental, económico, social y legal. Entre estas propuestas se destacan “Barrio Sostenible, Educación y Cultura Ambiental”, “Parque Ciénaga de la Virgen” y “Mitigación y Gestión del Riesgo Ambiental”. De esta forma, en el año 2019 se sensibilizó a más de 20 000 ciudadanos en temas de desarrollo y conservación. También se han ejecutado campañas sobre el mal uso de los residuos y la eliminación de la zona de manglares, que afectan a la ciudad.

Asimismo, a través de “Parque Ciénaga de la Virgen”, la EPA ha capacitado a 400 guardianes, encargados de la sensibilización de más de 100 790 personas, y ha permitido la vigilancia, el control y la limpieza de la zona. A su vez, por medio de “Mitigación y Gestión del Riesgo Ambiental” se han extraído 17,197,4 m<sup>3</sup> de residuos sólidos en los manglares para ayudar a la conservación de estos ecosistemas. A la par, se están llevando a cabo monitoreos en los puntos de descargas de empresas industriales y se están implementando más restricciones, sobre todo en cuanto a metales pesados (Ruiz, 2019). Ahora bien, a pesar de que estas acciones son relevantes, también es cierto que quedan rezagadas frente a la magnitud de problemas de gestión ambiental en la ciudad de Cartagena.

### **La gestión ambiental en Barranquilla**

Barranquilla es una ciudad capital ubicada en el departamento del Atlántico, catalogada como la puerta de oro de Colombia. A pesar de algunos avances en la materia ambiental, esta urbe aún presenta problemas en el manejo de basuras a cielo abierto. De acuerdo al Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del Distrito, los conflictos se manifiestan principalmente en materiales como escombros y residuos de podas. Igualmente, se han identificado percances de contaminación auditiva, teniendo en cuenta que los niveles de ruidos de ciertas comunidades sobrepasan los estándares, sobre todo en avenidas como la Circunvalar, la vía 40, la calle 84 y la carrera 51, producto de la cultura barranquillera que hace uso de aparatos de música a altos volúmenes.

Otros aspectos que preocupan son la proliferación de malos olores y la contaminación del aire por la concentración de partículas que suelen afectar la salud de los habitantes en Barranquilla. Este último problema, en particular, se relaciona directamente con el ODS 3, en torno a la salud y el bienestar de

los habitantes (Mendizábal, 2015), y se origina en la zona industrial, en la vía 40; específicamente, en el tránsito pesado de automotores, que generan contaminantes atmosféricos causantes de enfermedades respiratorias en los ciudadanos. De hecho, en los últimos años Barranquilla ha experimentado un crecimiento exponencial en urbanización y en parque automotor, de lo que se esperaría como consecuencia un aumento en las concentraciones de contaminantes provenientes tanto de fuentes fijas como de móviles, tal como lo mencionan Ramírez *et al.* (2020).

Sin embargo, durante el 2020 Barranquilla logró aumentar la cobertura, el control, el monitoreo y la vigilancia de las actividades que contribuyen a la degradación de la calidad del aire en la ciudad. Para ello cuenta con su proyecto “Operación y Seguimiento del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire – Monitoreo Contaminante Criterio”. Asimismo, el programa “Barranquilla Verde” de la Alcaldía ha permitido establecer, con base en el índice de calidad del aire (ICA), que entre enero y diciembre de 2020 la mayoría de los valores calculados se encuentran en el nivel de Bueno (0-50 µg/m<sup>3</sup>) según [lo] establecido por el Ministerio de Ambiente en la Resolución 2254 de 2017; se puede observar que hubo valores en la categoría Aceptable (51-100 µg/m<sup>3</sup>) en el primer semestre para los contaminantes PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>, así mismo, se presentaron índices dañinos para la salud en el mes de junio (101-150 µg/m<sup>3</sup>) para el contaminante PM<sub>2,5</sub>, dado que se presentaron fenómenos meteorológicos y eventos de quemaduras, por lo cual fue necesario declarar niveles de alerta en la ciudad de Barranquilla (EPA Barranquilla, 2020).

En cuanto al recurso hídrico, los estudios han mostrado un incremento en la contaminación del río Magdalena. Igualmente, hay altos niveles de metales pesados e hidrocarburos en cercanías de Barranquilla. Además, los cuerpos de agua presentes en la ciudad son centro de vertimientos que llegan a tener una afectación en la calidad de vida de los habitantes (Camacho-Donado, 2020).

El Departamento de Investigación de Biología de la Universidad del Atlántico, a su vez, señala que un 80 % de los municipios que vierten sus aguas al río no tienen sistemas o plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), y el 20 % que cuenta con sistemas de tratamientos presenta fallas técnicas en su manejo. Asimismo, según las pesquisas adelantadas, del 20 % de los municipios que disponen de PTAR, el 60 % tiene deficiencias técnicas en la gestión de aguas que van a parar al río. Estos resultados reflejan el olvido en el que ha estado la fuente hídrica de la ciudad durante muchos años, lo que

ocasiona un daño muy grave a la población y los ecosistemas circundantes.

El Distrito de Barranquilla, sin embargo, también promueve una política local que cobija todos los aspectos de la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, garantizando la conservación y restauración de los ecosistemas, así como de la fauna y flora nativa frente a los factores de degradación de origen antrópico y los riesgos generados por el cambio climático.

El Distrito de Barranquilla, sin embargo, también promueve una política local que cobija todos los aspectos de la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, garantizando la conservación y restauración de los ecosistemas, así como de la fauna y flora nativa frente a los factores de degradación de origen antrópico y los riesgos generados por el cambio climático.

El programa "Barranquilla Verde" se ha centrado también en sensibilizar a las generaciones futuras creando espacios y herramientas de comunicación en la comunidad con el fin de fortalecer la participación ciudadana en proyectos que aporten al cumplimiento de la ley ambiental. Estos esfuerzos dan cuenta del compromiso de la ciudad por apoyar y mejorar su desempeño ambiental, cumplir con los requisitos legales y mejorar continuamente su sistema de gestión ambiental con un claro enfoque a la prevención de la contaminación y el buen uso de los recursos naturales.

### **La gestión ambiental en Santa Marta**

Santa Marta cuenta con el Dadsa, una entidad encargada de mejorar las condiciones de vida de los habitantes de la ciudad a través de la evaluación, control y seguimiento ambiental de los usos del agua, el suelo, el aire y los demás recursos naturales renovables, lo cual comprende el vertimiento, emisión o incorporación de sustancias o residuos líquidos sólidos y gaseosos, a las aguas en cualquiera de sus formas, al aire o a los suelos (Dadsa, 2018; Alcaldía de Santa Marta, 2020).

Esta ciudad se caracteriza principalmente por estar sumergida en entornos naturales en los que el verde de la vegetación, el azul de sus mares y de la Ciénaga Grande y el contraste de las playas con la Sierra Nevada conforman un paraíso de biodiversidad (Botero y García, 2011). Es una de las urbes con más turismo en Colombia debido a la variedad de ambientes que posee. De hecho, en 1979 la Sierra Nevada de Santa Marta fue declarada Reserva de la Biosfera y Patrimonio de la Humanidad dada la red de ecosistemas que albergan innumerables formas de vida y que son hogar de varias

comunidades indígenas (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [Unesco], 2018). Todas estas características hacen de este territorio un privilegio ambiental.

A pesar de la riqueza de fuentes hídricas y de ecosistemas de interés nacional, la ciudad no ha gestionado bien su patrimonio natural, y uno de los aspectos problemáticos en ese sentido está relacionado con el río Manzanares, el cuarto más contaminado del país (Plata e Ibarra, 2016), que actualmente presenta un estancamiento de agua a causa de la acumulación de desechos. También se acusan malos olores a raíz de aguas negras y alcantarillas, que afectan a los cuerpos de agua.

Este mal manejo se asocia a la falta de una cultura ambiental en las comunidades, y aunque la autoridad ambiental Dadsa ha planteado soluciones a corto y mediano plazo como evitar arrojar basura y hacer campañas de sensibilización en las comunidades, el foco de contaminación persiste (Moreno, 2007; Quiroga, 2007). Otros aspectos que suelen ser parte de las preocupaciones ambientales de Santa Marta son la calidad del aire, que se ve afectada por la disminución de árboles producto de la tala, la contaminación auditiva y el saneamiento básico.

El Dadsa, en el marco de su misión de vigilar, controlar y hacer un seguimiento a las actividades, obras y proyectos que inevitablemente inciden en la calidad ambiental de Santa Marta, ha buscado proteger, preservar y conservar los recursos naturales del territorio. Sus proyectos, por lo tanto, están encaminados a la adaptación del cambio climático y a que la entidad sea reconocida por su contribución al desarrollo de la ciudad. Con ese fin, aprobó el Plan de Desarrollo 2016-2019: "Unidos por el Cambio, Santa Marta Ciudad del Buen Vivir", el cual le ha permitido salvaguardar áreas de interés ambiental diseñando un sistema de vigilancia de calidad del aire.

Igualmente, el Dadsa ha venido desarrollando actividades tendientes a consolidar la Política de Gestión Ambiental Urbana en el Distrito de Santa Marta. Sin embargo, han quedado pendientes actividades como incrementar acciones para la recuperación y protección de áreas degradadas debido a la falta de metas y la mala gestión financiera por la estructura administrativa (Contraloría General de la República, 2022).

Así pues, teniendo en cuenta la información recopilada de estas tres ciudades capitales hasta aquí, se puede mencionar que existen coincidencias y diferencias en el manejo de la gestión ambiental en estos territorios. Por una parte, todas aportan luces de la existencia de un establecimiento público como órgano consultivo de los procesos ambientales y la prevención de la contaminación, pero por otra parte son poco eficaces en

la gestión de los recursos, y sus metas y planes son poco eficientes.

De igual manera, todas estas corporaciones del medio ambiente asumen unos lineamientos para establecer metas y objetivos tomando como base proyectos de intervención en los distintos frentes de preocupación de la gestión ambiental en cada ciudad. En esa medida, existen diferencias significativas que se enmarcan en los ICA, la proliferación de olores y las contaminaciones auditiva e hídrica, cuyas cifras serán presentadas a continuación. Así, el siguiente apartado analiza de manera comparada los procesos de gestión ambiental de las tres ciudades.

### **Análisis comparativo de la gestión ambiental en Cartagena, Barranquilla y Santa Marta**

#### **Análisis de la gestión ambiental desde los planes de desarrollo**

A partir de la revisión exhaustiva de documentos de los tres establecimientos encargados del manejo del medio ambiente en las ciudades seleccionadas —específicamente, los informes de gestión ambiental— y con base en fuentes secundarias como los canales de información de las administraciones, se agruparon algunas categorías de análisis. Para este fin se siguió un procedimiento reflexivo, sistemático y controlado, enmarcado dentro del método cualitativo, que permitió descubrir hechos a través de los datos y construir las relaciones necesarias según el conocimiento que requerido (Ander-Egg, 1993).

La tabla 1 muestra los aspectos destacados dentro de los principales proyectos ambientales y educativos de las tres ciudades, así como en sus políticas y procesos de gobernanza forestal. En este sentido, Cartagena sobresale como la mejor urbe en el manejo del entorno natural.

Tabla 1. Informes de gestión ambiental de Cartagena, Barranquilla y Santa Marta.

<b>Desarrollo sostenible</b>	<b>Ciudades EPA Cartagena</b>	<b>EPA Barranquilla</b>	<b>Dadsa Santa Marta</b>
a. Políticas ambientales a nivel del territorio	a.1 Gobernanza forestal a.2 Atención y valoración de fauna silvestre	a.1 Gobernanza forestal a.2 Atención y valoración de fauna silvestre	a.1 Gobernanza forestal a.2 No existe
b. Formaciones de guardias ambientales	b.1 Capacitación de 400 guardianes ambientales	b.1 No existe	b.1 No existe
c. Impacto en el mejoramiento de la gestión ambiental urbana	c.1 Los mejoramientos en su gran mayoría no se evidencian por falta de seguimiento e inversión, salvo en el centro de valoración de fauna silvestre CAV	c.1 Los mejoramientos en su gran mayoría no se evidencian por falta de seguimiento e inversión, salvo en el centro de valoración de fauna silvestre CAV	c.1 Los mejoramientos en su gran mayoría no se evidencian por falta de seguimiento e inversión. No existe CAV
d. Educación ambiental	d.1 PRAE d.2 PRAU	d.1 Fortalecimiento a la educación ambiental como eje transversal de los procesos ambientales	d.1 Actividades de educación y sensibilización ambiental d.2 Operativos de sensibilización con relación a la contaminación auditiva

Por otra parte, no se observan resultados efectivos que den cuenta de un mejoramiento debido a que las gestiones de las administraciones distritales anteriores fueron poco efectivas y los nuevos Gobiernos no siguieron estos planes. Este fenómeno, de hecho, ha venido aconteciendo durante décadas, lo que

imposibilita resultados tangibles en el tiempo. Por lo tanto, si bien se han propuesto nuevos proyectos, como por ejemplo “Protección del Caño Juan Angola” en Cartagena, “Recuperación y Conservación de Ecosistemas Estratégicos” en Barranquilla y “Reducción del Consumo de Plástico” en Santa Marta, es posible

que sus avances aún no se vean reflejados dentro de los sistemas de gestión en curso porque son políticas a futuro. Ahora bien, un análisis más detallado desde otras fuentes documentadas puede dar luces sobre algunos efectos de la gestión. Para ello, se evalúan las categorías presentadas en cada matriz comparativa partiendo de los mismos planes de desarrollo de los Gobiernos de turno y considerando el papel que desempeñan los EPA de Cartagena y Barranquilla y el Dadsa del Distrito de Santa Marta.

**Análisis según el plan de desarrollo “Salvemos Juntos a Cartagena”**

Dentro de su enfoque ambiental, el plan de desarrollo del Distrito de Cartagena establece un plan de ordenamiento en la materia y propende a la adaptación al cambio climático, enfocándose en la mitigación de los riesgos e incorporando los factores generadores. Así pues, la gestión en este ámbito se compone de planes y proyectos encaminados a la reducción de la contaminación y de los niveles de dióxido de carbono (CO2), los cuales incluyen como valor importante la ciencia, la tecnología y la innovación. De estos esfuerzos se hace responsable, como en los planes anteriores, el EPA. En la figura 1 se mencionan las principales iniciativas con miras a hacer una mejor gestión ambiental en esta ciudad.

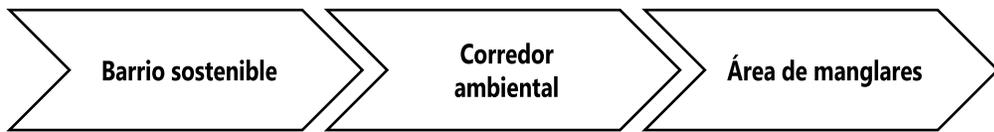


Figura 1. Impactos del plan integral de adaptación al cambio climático del Distrito de Cartagena. Modificado del plan de desarrollo “Salvemos Juntos a Cartagena” 2020-2023.

Desde hace décadas, Cartagena de Indias sufre de problemas ambientales como la contaminación de sus bahías, sus caños lagunares, sus calles y sus parques, o la deforestación de los manglares. El plan de acción analizado integra entonces a los barrios y sus comunidades para que se apropien de los ecosistemas. Así, con el sentido de pertenencia, se busca establecer una dinámica entre la población y el medio ambiente caracterizada por una mayor consciencia del valor de los servicios ecosistémicos, para evitar vulnerabilidades por el cambio climático.

**Análisis según el plan de desarrollo “Soy Barranquilla”**

Inicialmente, el plan de desarrollo distrital “Soy Barranquilla” establece una política de cuidado del entorno ambiental en la cual contempla elementos generales como la conservación y restauración de las estructuras verdes y azules de la ciudad y de ecosistemas estratégicos relacionados con el desarrollo sostenible de la ciudad. Los principales factores enfocados desde el inicio de los planes aplicados a la ciudad de Barranquilla se destacan en la figura 2.

<p><b>Diagnóstico de la política sobre el entorno urbano ambiental</b></p>	<p><b>Fauna y flora</b></p>	<p><b>Consumo responsable y reciclaje</b></p>
<p>Gestión integral de la calidad del aire Gases de efecto invernadero Ruido ambiental</p>	<p>Centro de atención a la fauna doméstica Fauna silvestre como recurso renovable</p>	<p>Plan de manejo responsable de residuos Cultura de reciclaje</p>

Figura 2. Principales propuestas del plan de desarrollo de Barranquilla. Fuente: plan de desarrollo “Soy Barranquilla” 2020-2023.

El análisis del plan de desarrollo de Barranquilla permitió reconocer varias metas establecidas por la Alcaldía en relación con el medioambiente. Por una parte, dentro de la gestión integral del aire, se propone el aumento de las estaciones de monitoreo a cinco, con miras a determinar una huella de hasta el 100 %. Asimismo, se contempla la realización de campañas educativas. También, en el programa de manejo de residuos se plantea la actualización del PGIRS, además de campañas con recicladores, la actualización del censo de personas que realizan este trabajo y la caracterización de los residuos del distrito, profundizando la cultura del reciclaje.

Otro aspecto representativo de la propuesta de Barranquilla es el proyecto de protección animal, que incluye entre sus principales metas la creación de un centro de bienestar para la atención de mascotas, caninos y felinos que lo requieran. De igual forma, se ha planteado establecer un espacio para animales silvestres, lo cual se acompaña con la creación de una patrulla y la pedagogía necesaria (Acuerdo 001 de 2020).

Este plan de desarrollo recoge, a grandes rasgos, muchos de los problemas que Barranquilla tiene en la actualidad. La cuestión, sin embargo, es poder darle una eficiente ejecución y que los objetivos se vean a largo plazo, en mejoras del entorno y de la calidad de vida de los ecosistemas y las comunidades que los habitan.

### ***Análisis según el plan de desarrollo "Santa Marta Corazón del Cambio"***

El plan de desarrollo de Santa Marta, cuyo nombre hace énfasis en el cambio, define como segundo eje estratégico el desarrollo de un territorio biodiverso y ambientalmente sostenible. En el instrumento se establecen propósitos, retos, logros y proyectos a través de líneas estratégicas.

Los logros del plan de desarrollo, en particular, reafirman distintos esfuerzos de gestión ambiental. Así, el logro 7 consiste en establecer controles de contaminación de aire y de ruido de la ciudad. El logro 10, entretanto, es ejecutar acciones de mitigación del cambio climático. También se busca la protección de la fauna y flora silvestre.

Por lo demás, entre los principales programas se resaltan la consolidación de ecosistemas estratégicos y la gestión ambiental urbana, esta última con subprogramas dirigidos al fortalecimiento de la estructura ecológica y la recuperación del ambiente y del paisaje urbanístico. A su vez, se encuentra una iniciativa de economía circular que busca impactar en acciones de reciclaje y economía forestal (Acuerdo 006 de 2020).

En general, se pueden detectar aspectos coincidentes entre los planes de Cartagena, Barranquilla y Santa Marta, como los programas de monitoreo y vigilancia ambiental, que incluyen acciones sobre la calidad del aire, el estado de los ecosistemas y la biodiversidad. También se incluyen los mapas de ruido, la investigación, la educación ambiental y la protección animal.

### **Análisis del cumplimiento de la gestión ambiental en los EPA de Cartagena y Barranquilla y en el Dadsa de Santa Marta**

En esta parte del análisis se agrupan en primer lugar las categorías de gestión ambiental extraídas de los informes analizados. Posteriormente, se presentan los datos sobre los cuales se respaldan los informes, y luego se evaluarán y reconocerán los avances en cada uno de los aspectos incluidos en la matriz comparativa de la tabla 2.

Como se observa en la tabla 2, se identificaron cinco categorías de análisis asociadas a los principales problemas ambientales de las tres ciudades. Cada una incluye las acciones presentadas en los informes de gestión del año 2020, periodo que se toma en cuenta partiendo de las propuestas ambientales dentro de los planes de gobierno elaborados por las alcaldías. Este aspecto se tiene en cuenta con el fin de establecer la posibilidad de que dichos esfuerzos sean viables y se concreten en el tiempo de su desarrollo.

Cabe anotar de nuevo que, con el inicio de cada una de las alcaldías, los Gobiernos deben presentar las acciones que ejecutarán durante su mandato, asociadas normalmente a las propuestas que plantean para ser elegidos democráticamente. Posteriormente, los informes evidencian los avances en sus proyectos.

Análisis comparativo de la gestión ambiental urbana Caribe colombiano

Tabla 2. Problemas ambientales. Fuente: elaboración propia con base en informes de gestión ambiental de EPA Cartagena, EPA Barranquilla y Dadsa Santa Marta.

Problemas ambientales intervenidos	Ciudades		
	EPA Cartagena	EPA Barranquilla	Dadsa Santa Marta
1. Residuos sólidos	1.a Gestión integral del recurso hídrico (caño Juan Angola, Ciénaga de la Virgen) 1.b Control, vigilancia y seguimiento ambiental	1.a Plan de gestión integral de residuos o desechos peligrosos	1.a Limpieza y pedagogía en playas y cuencas hídricas 1.b Monitoreo ambiental de los olores que emanan las alcantarillas (informes ambientales empresariales)
2. Degradación de ecosistemas	2. Sistema de arbolado urbano: logró la siembra de 4 583 árboles de los 8 3333 propuestos	2.a Fortalecimiento de la silvicultura urbana e implementación de la agricultura urbana en el Distrito de Barranquilla 2.b Trasplante, tala, poda y embellecimiento paisajístico del arbolado urbano por aprovechamiento en el distrito de Barranquilla	2. Campaña "Plantemos por el Buen Vivir" (siembra de 9.917 árboles en las zonas conocidas como Garagoa, Cristo Rey, Gaira, Manzanares, calle 30, IED Magdalena, Taganga, Curinca y Avenida del Río)
3. Pérdida de la biodiversidad	3.a Centro de atención y valoración de fauna silvestre (94 animales recibieron atención veterinaria y 1.603 especies fueron atendidas y reincorporadas en su hábitat) 3.b Recuperación de áreas ambientalmente degradadas (cerro de La Popa, caño Juan Angola, laguna El Cabrero, bahía de Cartagena)	3.a Recuperación y protección de la ciénaga de Mallorquín, sector Las Flores	3. Incautación de fauna (121 especies que posteriormente fueron liberadas en su hábitat)
4. Cambio climático	4. Plan Integral de Adaptación al Cambio Climático	4. Plan de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático	
5. Contaminación de fuentes de agua	5. Monitoreo de la calidad del agua	5.a Ordenación del recurso hídrico en jurisdicción de Barranquilla Verde, acorde con las fases estipuladas en la normatividad ambiental vigente 5.b Plan de Manejo Ambiental de las Microcuencas del Distrito acorde con la normatividad ambiental vigente 5.c Lineamientos para la implementación del Plan de Ahorro y Uso Eficiente del Agua	5. Acciones en pro de la calidad del agua (operativos de vigilancia y control y monitoreos de cuerpos hídricos)

### **Análisis de cumplimiento en cuanto a la gestión de residuos sólidos**

Cartagena y Barranquilla presentan propuestas sobre la gestión integral de residuos hídricos o desechos peligrosos, mientras que Santa Marta se enfoca en el control y la vigilancia, unidos a la pedagogía sobre la protección de playas, así como el ataque a los malos olores.

En el caso particular de Cartagena, de acuerdo con los datos que aportan las empresas Veolia y Pacaribe, encargadas del servicio de aseo en la ciudad, esta produjo en 2020 casi 300.000 toneladas de residuos. Para este territorio se señala la falta de un sistema de aprovechamiento de residuos, puesto que el proceso se limita solo a la recolección. Asimismo, la prensa local afirma que el PGIRS se ha mantenido en una fase teórica, sin ninguna aplicación, y algunas actividades son desarrolladas por las empresas de aseo. Según Veolia, el material aprovechable corresponde a un 9,17 % de un total de 120.000 toneladas aproximadamente.

Cabe resaltar que con la Resolución 1407 de 2018 se reglamentó la gestión ambiental, en la que se incluyó a las empresas con la responsabilidad de recaudar hasta un 10 % de residuos sólidos como empaques de papel o de plástico, vidrios y metales. Sin embargo, el plan Empática de la empresa Ática, líder en la gestión integral de residuos, solo tiene una cobertura del 0,02 % para la ciudad de Cartagena, aunque al mismo tiempo ejerce acciones en Barranquilla de hasta un 4,04 % (Díaz, 2021).

En cuanto a Barranquilla, Hernández et al. (2020) indican unos impactos negativos en la gestión de residuos sólidos y destacan la necesidad de reestructurar el PGIRS. De hecho, la misma Alcaldía ha intervenido para el desarrollo de los programas de separación en la fuente, y en la actualidad se sigue disponiendo de los recursos en rellenos sanitarios y de las frecuencias de recolección. No obstante, estas iniciativas siguen siendo objeto de seguimiento de distintas organizaciones, que estiman un avance del 75 % de avance satisfactorio en el manejo de los desechos.

Por su parte, en Santa Marta, Cobos et al. (2001) informan que los servicios de recolección no cubren todas las necesidades del distrito y no cuentan con una planta recicladora de basuras. Los datos de este territorio arrojan un cumplimiento de entre el 75 % y el 85 % en la recolección de basuras que son acumuladas y desechadas en lugares tradicionales; el resto se mantiene diseminado de forma evidente en los escenarios visibles de la ciudad. Al corte de 2020, se estima que esta ciudad generó aproximadamente unas 180.000 toneladas de residuos sólidos,

cuyo manejo estuvo determinado por tres directrices establecidas dentro del plan de desarrollo distrital: impulsar un programa de reciclaje y separación en la fuente, poner en funcionamiento unas estaciones de clasificación y aprovechamiento (ECA), y disponer de una escombrera distrital.

Los autores agregan que el manejo de los residuos sólidos en Santa Marta, históricamente, se ha realizado en función de la prestación del servicio de aseo. La preocupación ha partido de consideraciones de tipo higiénico y sanitario de manera exclusiva. En consecuencia, el problema fue abordado desde el momento que la comunidad presentaba los residuos a la vía pública para que alguien los retirara, y en dicho momento aparece la necesidad de establecer un proceso de recolección, sin importar a dónde irían a parar los mismos, sin consideraciones de tipo ambiental (Cobos *et al.*, 2021, p. 112).

En conclusión, Santa Marta aún presenta los mismos problemas de hace más de veinte años. Así lo refleja el hecho de que los planes de desarrollo actuales propongan soluciones a desafíos que ya se habían detectado tiempo atrás, tales como el sistema de reciclaje y la necesidad de una escombrera para los desechos de materiales de construcción.

En general, se puede asegurar que las tres ciudades no han definido modelos específicos del manejo de residuos. El análisis muestra la existencia de planes y programas definidos en la documentación, pero hay poca evidencia en las fuentes oficiales que permitan identificar resultados de gestión.

### **Análisis de cumplimiento en cuanto a la degradación de ecosistemas**

Las tres ciudades muestran resultados significativos en materia de gestión frente a la degradación de ecosistemas. Cartagena, por ejemplo, presenta un sistema de arbolado urbano con el cual planteó la siembra de 8.000 árboles aproximadamente en distintos espacios de la ciudad. La Alcaldía de Cartagena en el 2020 planteó la meta hasta el 2023 de alcanzar la siembra de 100.000 árboles con la finalidad de aumentar la cobertura vegetal de la ciudad. Este proyecto priorizó la conservación de los ecosistemas de manglares mediante acciones ejecutadas por el EPA. Asimismo, cuenta con la aplicación Verde Urbano, con la cual los ciudadanos pueden hacer un registro georreferenciado, en tiempo real, de cada árbol en la ciudad. Estas acciones buscan, en general, mitigar los efectos del cambio climático.

Por su parte, el último informe del EPA Barranquilla hace una cuantificación de cobertura arbórea en la ciudad, contemplada dentro del componente de fortalecimiento de la silvicultura y la

agricultura urbana, lo que también incluye el trasplante, la poda y el embellecimiento paisajístico. Así, para 2019 se informa un crecimiento positivo de cobertura arbórea en diferentes localidades: entre 39 % a 40 % en Riomar; de 21,55 % en el norte; de 26,25 % en el centro histórico; de 21 % en el suroccidente y de 20,75 % en el área metropolitana, para un promedio general del 21,5 % (EPA Barranquilla, 2019).

En Santa Marta se resalta la campaña "Plantemos por el Buen Vivir", que propone la siembra de 9.917 árboles en las zonas conocidas como Garagoa, Cristo Rey, Gaira, Manzanares, calle 30, IED Magdalena, Taganga, Curinca y Avenida del Río. La meta es incorporar más de 6 ha de bosque urbano con el objetivo de prevenir los efectos negativos del cambio climático, tal como se propone desde el proyecto "Santa Marta Siembra":

con la siembra en presente cuatrienio de 30.000 individuos arbóreos en los cerros, humedales, rondas hídricas, parques y barrios de Santa Marta; [...] el primer gran paso [es] lograr el récord de plantar 10.000 árboles de diferentes especies maderables y frutales, durante el mes de octubre, cuya apuesta iniciaremos este lunes 12, Día Internacional del Árbol, con la siembra de 1.500 árboles en distintos sectores del Distrito (Dadsa, 2020).

Para la fecha, la ciudad contaba con más de 200.000 árboles, y con el proyecto aspira a llegar a los 250.000, con el fin de posicionarse como una de las urbes con un índice alto de arborización en el Caribe colombiano.

En general, las tres ciudades muestran preocupación por la degradación de los ecosistemas, tema visible en los planes de gestión y en los informes de avances. Algunas de las metas al respecto se plantean a mediano plazo, acordes con los planes de desarrollo de las diferentes alcaldías, y todas coinciden en la relevancia de las acciones para mitigar el cambio climático.

### **Análisis de cumplimiento en cuanto a la pérdida de la biodiversidad**

En la categoría de biodiversidad, Cartagena presta una gran atención y valoración a la fauna silvestre. Como resultado, 94 animales recibieron atención veterinaria y 1.603 especies fueron atendidas y reincorporadas en su hábitat. De igual forma, en dicha ciudad se propuso la recuperación de áreas ambientalmente degradadas (cerro de La Popa, caño Juan Angola, laguna El Cabrero y bahía de Cartagena). De hecho, en 2020 un fallo del Consejo de Estado dio un plazo de seis meses para la recuperación y protección de la bahía de Cartagena. De acuerdo con Vergara (2020):

Siempre será importante lo que obligue a mejorar ambientalmente un ecosistema y en este caso más por tratarse de la bahía que históricamente ha soportado todo tipo de usos y de impactos [...] El fallo referencia los incumplimientos y las tolerancias que tendrán que ser corregidas (Goez, 2020).

El plan debe contemplar, como mínimo, programas de prevención, evaluación y reducción de las fuentes terrestres, y ecosistemas que logren ser restaurados, así como la conservación de especies y la biodiversidad.

Barranquilla, entretanto, expone la recuperación y protección de la ciénaga de Mallorquín, sector Las Flores, para la cual se proyectan entre 667,000 y 1,14 millones de visitantes al año, 71 % nacionales y 29 % internacionales (Región Caribe, 2021). En este caso, es notable que esta clase de bienes van más allá del significado económico gracias a la generación de recursos ecosistémicos que tendrán impactos evidentes en el futuro de los ciudadanos.

Finalmente, en Santa Marta, las acciones se enfocan en la incautación de fauna, con metas de hasta 121 especies confiscadas y posteriormente liberadas en su hábitat. Los resultados, incluso, muestran un total de 124 animales recuperados, sobre todo no domésticos: "osos hormigueros, garzas, boas, guacharacas, morrocoyas, leptodoras, aves caras sucias, loros, periquitos, pájaros carpinteros, gallito de ciénaga, sinsonte juvenil, ñeques, iguana, pigua juvenil, azulejos, zorros perros, monos capuchinos, hicotetas, zarigüeyas, búhos, gavilanes polleros, entre otras" (Dadsa, 2020).

### **Análisis de cumplimiento en cuanto al cambio climático**

Pese al compromiso asumido por Cartagena desde 2016 de enfrentar el cambio climático, los críticos han calificado esta postura como un saludo a la bandera, sin actualización y olvidado en el mapa de acciones de la Alcaldía. En la actualidad, el EPA se ha enfocado en el plan "4G" para la restauración ecológica, la recuperación de los ecosistemas y la adaptación al desarrollo económico de la ciudad sin afectar el ambiente ni el patrimonio. Sin embargo, los avances en este frente han sido muy lentos y se manifiestan deficiencias presupuestales, de forma que los programas quedan desfinanciados y los objetivos trazados se estancan.

La ciudad ha buscado, particularmente, sensibilizar a la comunidad ya que, tal como afirma Montaña (2020), "las iniciativas de disminución de residuos sólidos mediante reciclaje, ahorro de agua, cuidado de parques y zonas verdes,

entre otras, solo tendrán éxito en la medida en que encuentre un ciudadano comprometido con el medio ambiente de su ciudad". Asimismo, Cartagena ha establecido un plan de adaptación al cambio climático como directriz para integrar el manejo de los efectos del calentamiento global a las políticas y los planes de desarrollo de la ciudad (Aguilar, 2013).

Barranquilla, por otro lado, cuenta con un Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Territorial, un documento proyectado a 2040 que se suma a los esfuerzos de la Gobernación del Atlántico por enfrentar dicho fenómeno global. Este instrumento de planificación se propone generar el conocimiento y las herramientas requeridas para incorporar el cambio climático en la gestión del desarrollo, a través de una acción articulada y eficaz para la consolidación de territorios más sostenibles, adaptados y resilientes.

Además, desde la vinculación de la Ley 1931 de 2018, la autoridad ambiental de Barranquilla ha liderado diversas iniciativas contra el cambio climático, haciendo vital énfasis en la reconstrucción de su biodiversidad, un desarrollo de bajas emisiones de carbono y resiliencia ante los impactos del calentamiento global. También se destaca la construcción de unidades administrativas para la elaboración del el plan integral y la creación de la Mesa Distrital del Cambio Climático para la reducción de los efectos negativos de este flagelo (Alcaldía de Barranquilla, 2021a).

Como se puede apreciar, el cambio climático resulta ser un eje central de cada una de las dinámicas de la gestión ambiental de las ciudades. No obstante, sus efectos ejecutivos aún no son visibles en los informes de avances en la materia. Asimismo, si bien solo Cartagena y Barranquilla hacen hincapié de forma manifiesta en esta categoría, no se descarta que en el caso de Santa Marta esta se interprete como un elemento transversal, como ocurre por ejemplo en el programa "Plantemos por el Bien Vivir".

También cabe precisar que, según el análisis realizado, desde 2020 las tres ciudades han venido trabajando con sus proyectos en el cambio climático. Sin embargo, en el 2020 el proyecto del Plan Integral de Gestión del Cambio Climático del Distrito de Cartagena de Indias, del EPA de dicha ciudad, solo se realizó de forma piloto en el mercado de Bazurto.

### **Análisis de cumplimiento en cuanto a la contaminación de fuentes de agua**

En materia de contaminación de fuentes de agua, el EPA Cartagena no contaba con un plan estratégico, según el informe

del 2020. En su lugar, ejercía un monitoreo constante en zonas como Ciénaga de la Virgen y el caño Juan Angola con ayuda y seguimiento de Aguas de Cartagena. En este sentido, cabe resaltar que esta ciudad cuenta con diferentes fuentes hídricas, playas y bahías, pero muchos de estos cuerpos de agua están contaminados, por lo que a la autoridad ambiental se le dificulta el monitoreo, sobre todo ante la falta de un plan de acción y seguimiento.

Por otra parte, el EPA Barranquilla plantea una ordenación del recurso hídrico a través de acciones como la recuperación y restauración de caños, así como de otras medidas de prevención para preservar los servicios ecosistémicos que prestan los cuerpos de agua (Alcaldía de Barranquilla, 2021b). Tal como en el caso anterior, en esta ciudad se ha detectado una constante contaminación hídrica producto del mal manejo de los residuos sólidos, que van a parar de forma ilegal a las fuentes hídricas. Según un informe de la Alcaldía, en el año 2020 se extrajeron del caño Don Juan 140 toneladas de estos desperdicios, que procedían de los municipios aledaños a la ciudad. Esto es un problema no solo cultural, sino también ambiental ya que degrada un ecosistema hídrico de vital importancia. Por esta razón, actualmente Barranquilla cuenta con tres proyectos para contrarrestar las aguas residuales y mantener limpias las fuentes hídricas.

En cuanto a Santa Marta, uno de los principales afluentes es el río Manzanares. Sin embargo, la cuenca baja de este cuerpo hídrico refleja problemas de contaminación debido a diversos factores como el crecimiento acelerado de la población y la falta de infraestructura para el saneamiento de aguas residuales. También, como en las otras dos ciudades, los residuos sólidos arrojados por los ciudadanos, que en este caso van a parar a las playas de El Rodadero, contribuyen al detrimento de la calidad del agua. De igual forma influye la utilización de pesticidas y fertilizantes agrícolas. Así pues, con el fin de ayudar a descontaminar este río, Santa Marta cuenta con un proyecto, firmado a mitad del 2021 por la actual administración, encaminado a prevenir el arrojado de basura a este ecosistema.

En la tabla 3 se muestran las áreas en las que cada ciudad plantea especial atención desde su gestión ambiental. Así pues, el EPA Cartagena se concentra en particular en el monitoreo de la calidad de agua. Para ese fin, inició la revisión de las condiciones del recurso hídrico en sectores específicos como El Laguito, donde se registraron mejoras considerables frente a las metas propuestas en 2020 dentro de las acciones complementarias para mitigar los problemas sobre los cuerpos de agua. Los datos del mes de septiembre de 2020, por ejemplo,

muestran niveles buenos, con concentración adecuada de oxígeno. En general, la entidad realiza muestreos periódicos de los cuerpos de agua, con el fin de alertar sobre los cambios en sus características, según lo definido en su plan de monitoreo

dentro del Programa Aseguramiento, Monitoreo, Control y Vigilancia Ambiental (Sistema Inteligente de Monitoreo Ambiental).

Tabla 3. Monitoreo y reportes ambientales. Fuente: elaboración propia con base en informes de gestión ambiental del EPA Cartagena, EPA Barranquilla y Dadsa Santa Marta.

Gestión	Ciudades		
	EPA Cartagena	EPA Barranquilla	Dadsa Santa Marta
A. Monitoreo de la calidad ambiental	A. Ecobloque (Sistema de Monitoreo Inteligente Ambiental de la Ciudad de Cartagena [calidad del aire, ruido ambiental, monitoreo del recurso hídrico])	A. Operación y seguimiento del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire – Monitoreo de contaminantes hídricos	A.1 Seguimientos de vigilancia y control ambiental A.2 Sistema de Vigilancia de la Calidad de Aire (Corpomag). A.3 Vigilancia y control de contaminación auditiva (sectores La Paz y El Rodadero)
B. Reportes ambientales	B.1 Informe de gestión ambiental 2020	B. Informe de gestión ambiental 2020	B. Informe de gestión ambiental 2020

En Barranquilla, los programas y los proyectos del Distrito reflejan interés especial en reducir la contaminación atmosférica. En esa medida, se proponen fortalecer el cumplimiento de los objetivos del Sistema de Monitoreo y Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA), que se encuentran asociados al análisis tendencial de los contaminantes atmosféricos. Para dicho fin, la ciudad cuenta con una cobertura de monitoreo de PM10 y PM2,5.

Asimismo, se están implementando planes de monitoreo para medir los sólidos en suspensión de las aguas del río Magdalena y los metales pesados en los afluentes hídricos. A su vez, el mantenimiento y dragado de los caños, junto al aumento de las precipitaciones, favorecieron el ingreso de agua dulce al sistema y, como consecuencia, disminuyeron la salinidad intersticial en las zonas de manglar. En consecuencia, con respecto a 2019, se han detectado incrementos de 13,2 % en el área basal, 45 % en los árboles jóvenes o nuevos reclutas y 15,5 % en el número de propágulos (semillas), lo que indica que el bosque está en un proceso de recuperación. Igualmente, el análisis de coberturas indica una ganancia neta de 200 ha de manglar en el periodo 2020-2021, lo que se asocia con el registro de 5.853 ejemplares de aves, agrupadas en 137 especies, de las cuales el 89 % son residentes (1 % endémicas) (Bermúdez, 2019).

Finalmente, la gestión del Distrito de Santa Marta se ha centrado en mejorar la calidad del agua mediante operativos de vigilancia y control y monitoreo de cuerpos hídricos. De hecho, uno de los

informes recientes del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Adréis (Invemar, 2021) describe las condiciones físicas y químicas que permiten determinar la calidad del agua y la concentración de oxígeno, con valores permisibles para la preservación de la fauna y la flora.

## Discusión

Cada una de las entidades encargadas de la gestión ambiental presenta relación con los planes iniciales de las alcaldías correspondientes, recién llegadas en 2020, para iniciar sus gobiernos elegidos popularmente. Los planes de desarrollo de cada ciudad le otorgan relevancia al enfoque ambiental, fundado en los ODS, que desde 2015 iniciaron su carrera por la sostenibilidad hasta el 2030. Ahora bien, cabe resaltar que la coyuntura que representó la pandemia de COVID-19 durante el año analizado obliga ciertamente a replantear algunos aspectos sobre la sostenibilidad y la relación que existe entre los humanos y su entorno.

En términos generales, el enfoque ambiental de las tres ciudades muestra marcadas preocupaciones relacionadas con los objetivos globales, sobre todo con respecto al cambio climático. En ese orden de ideas, se han trazado metas importantes de control sobre los desechos sólidos, los gases de efecto invernadero, el monitoreo de las partículas que afectan el aire y el cuidado de los ecosistemas silvestres, aspectos claves del Objetivo 11: Ciudades Sostenibles.

Específicamente en cuanto a los planes diseñados por las autoridades ambientales en 2020, el EPA Cartagena y el Dadsa de Santa Marta tienen una mayor cantidad de proyectos para contrarrestar los desechos ambientales con respecto a Barranquilla, que solo cuenta con una iniciativa en ese sentido. Sin embargo, el EPA de esta última ciudad ha elaborado dos proyectos que atienden la degradación de ecosistemas. Entretanto, en relación con pérdida de biodiversidad, el EPA Cartagena demuestra mayor preparación, según lo sugieren sus dos proyectos formulados para enfrentar dicho problema, en comparación con EPA Barranquilla y el Dadsa, que solo han desarrollado uno.

Un tema que ahora es tendencia es el cambio climático. Según el análisis realizado, desde 2020 las tres ciudades han venido trabajando en ese frente, aunque en el caso de Cartagena el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático solo se trabajó de forma piloto en el mercado de Bazurto. Otro aspecto importante es la contaminación de fuentes de agua, frente al cual el EPA Barranquilla parece ser el más consciente ya que cuenta con tres proyectos para contrarrestar las aguas residuales y mantener limpias las rondas hídricas, mientras que Santa Marta solo dispone de un proyecto. En cambio, el EPA Cartagena, según el informe del 2020, no tenía un plan estratégico para abordar esta problemática y solo ejercía un monitoreo constante en zonas como Ciénaga de la Virgen y el caño Juan Angola, con ayuda y seguimiento de Aguas de Cartagena.

La gestión de cada una de las ciudades deja en claro la preocupación y la diligencia de estos territorios con respecto a los temas ambientales. EPA Cartagena cuenta con un frente institucional, conocido como Ecobloque, encargado de vigilar y controlar de manera permanente las situaciones que estén generando afectaciones en los cuerpos de agua, el aire y el suelo, dentro del proyecto Sistema de Monitoreo Inteligente Ambiental de la Ciudad de Cartagena. EPA Barranquilla también ha formulado un proyecto con respecto a la calidad del aire, y Dadsa ha planteado otras tres iniciativas que contemplan la calidad del aire y la contaminación auditiva.

Además de monitorear y vigilar las zonas afectadas, otra tarea clave es concientizar a la comunidad sobre la importancia de la biodiversidad, en especial en tiempos en los que el calentamiento global está haciendo estragos. Por ende, es valioso destacar el trabajo educativo que las tres ciudades han realizado: EPA Cartagena mediante PRAE y PRAU; EPA Barranquilla, a través de charlas y foros virtuales; y Dadsa con jornadas de limpieza y pedagogía en playas y cuencas hídricas como la de "Reciclatón, Donatón", en beneficio de los animales,

y mesas de diálogo en donde se escucha y se concientiza a la comunidad sobre la necesidad de reciclar y mantener los servicios ambientales.

En este sentido, puede afirmarse que Santa Marta realizó una mejor gestión ambiental urbana durante 2020 no solo por velar por su biodiversidad, sino por comprometerse a fondo con la comunidad con el fin de sensibilizarla para preservar los ecosistemas y los servicios que estos brindan, ya que el cuidado del entorno natural no es un trabajo exclusivo de las autoridades ambientales; también les compete a los ciudadanos comunes.

No obstante, todos los esfuerzos descritos hasta aquí, es claro que ninguna de las tres ciudades ha impactado eficazmente en el mejoramiento de la gestión ambiental urbana en pro del desarrollo sostenible. Así lo demuestra el hecho de que hasta el momento continúen las problemáticas ambientales que afectan la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y la calidad de vida de los ciudadanos.

Algunos factores que podrían explicar el reducido avance podría ser que los intereses políticos y económicos no consideran de manera prioritaria la sostenibilidad ambiental, lo cual obstaculiza la formación de una cultura ciudadana entre la comunidad. De este modo se siguen dando situaciones como la explotación insostenible de recursos, las solicitudes de licencias para construcción urbanística, entre otras, que no cumplen con las normas de regulación frente a la naturaleza. Esto revela, puntualmente, la necesidad de formar a las personas que lideran las políticas de interés ambiental e implementar estrategias eficaces de seguimiento y evaluación de los proyectos para avanzar en la conservación y en el uso sostenible de los recursos naturales renovables. Aún más importante es generar impacto en la sociedad, para así contribuir al mejoramiento de la calidad del hábitat urbano.

Finalmente, se debe reconocer que las prioridades cambiaron durante el año 2020 por cuenta del COVID-19, lo cual posiblemente retrasó la posibilidad de atacar los frentes de la gestión. Al darles mayor importancia durante todo ese año a los temas de salud, algunos agentes afirmaron que varias de las categorías de gestión ambiental identificadas habían sido, hasta el momento, solo saludos a la bandera. No obstante, puede resultar relevante hacer una revisión de las metas de gestión, una vez concluyan los periodos de gobierno, de acuerdo con sus planes de desarrollo.

## Conflicto de intereses

Los autores manifiestan no presentar conflictos de intereses.

## Contribución de los autores

Samantha Yepes-Zabaleta y Javid Dovale-Aguas: conceptualización, desarrollo del diseño metodológico, toma de datos, análisis de datos, escritura y revisión.

## Referencias

Aguilar, E. (2013). El plan de adaptación al cambio climático de Cartagena. <http://www2.institut-gouvernance.org/es/experiencia/fiche-experiencia-46.html>.

Alam, G. M. M., Alam, K. y Mushtaq, S. (2017). Climate change perceptions and local adaptation strategies of hazard-prone rural households in Bangladesh. *Climate Risk Management*, 17, 52-63. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.06.006>

Alcaldía de Barranquilla. (2019). Silvicultura urbana. <http://barranquillaverde.gov.co/silvicultura-urbana>

Alcaldía de Barranquilla. (2021a). Distrito instala primera Mesa Distrital de Cambio Climático en la región. <https://www.barranquilla.gov.co/vive/distrito-instala-primer-mesa-distrital-cambio-climatico-region>.

Alcaldía de Barranquilla. (2021b). 30.000 metros cúbicos de sedimento se han removido en limpieza de caños. <https://www.barranquilla.gov.co/adi/30-000-metros-cubicos-de-sedimento-removidos-en-limpieza-de-canos>.

Alcaldía de Cartagena. (2022). EPA Cartagena implementa acciones para la siembra de 100.000 árboles en el Distrito. <https://www.cartagena.gov.co/>.

Alcaldía de Cartagena. (2020). EPA Cartagena implementa acciones para la siembra de 100.000 árboles en el Distrito. <https://www.cartagena.gov.co/2017-09-11-20-44-47/93-acciones-comunicacionales/1413-epa-cartagena-implementa-acciones-para-la-siembra-de-100-000-arboles-en-el-distrito>.

Ander-Egg, E. (1993). *Introducción a las técnicas de investigación social* (21.a ed.). El Ateneo.

Ariza. (2021). Informe de Seguimiento de Políticas Públicas corte 2020. Contrato 340 de 2021. Grupo de Políticas, Planeación y Seguimiento; Oficina Asesora de Planeación; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Bermúdez, W. (2019). Gestión ambiental para minimizar la contaminación de la biodiversidad en los pueblos lacustres Ciénaga Grande de Santa Marta. *Koinonía*, IV(7), 128-139.

Bettini, G. (2017). Where Next? Climate Change, Migration, and the (Bio) politics of Adaptation. *Global Policy*, 8(S1), 33-39. <https://doi.org/10.1111/1758-5899.12404>.

Botero, C. y García, L. (2011). Cuantificación y clasificación de residuos sólidos en playas turísticas. Evaluación en tres playas de Santa Marta. XIV Congreso Latinoamericano de Ciências Do Mar – XIV COLACMAR Balneário Camboriú (SC / Brasil), 2003, 1-3. <http://www.globalgarbage.org/prai/download/XIV-COLACMAR-2011/1802.pdf>.

Camacho-Donado, K.J. (2020). La Contaminación de fuentes hídricas por mal manejo de residuos sólidos en la localidad suroriente de Barranquilla entre el 2015 y 2020.

Contraloría General de la República. (2022). Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente.

Cobos, C., Rivera, J. y Benítez, J. (2021). Planta integral de tratamiento y reciclaje de basuras para el distrito de Santa Marta [Tesis de grado, Corporación Universitaria de la Costa]. [https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/920/PLAN\\_TA%20BASURA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/920/PLAN_TA%20BASURA.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Dadsa. (2018). Informe de gestión. Consejo Directivo Departamento Administrativo Distrital de Sostenibilidad. <https://drive.google.com/drive/folders/1gZpluxpsL3eAhMVUWbqXhZ0TLQZq1bNK>.

Dadsa. (2020). Santa Marta Siembra. <https://dadsa.gov.co/index.php/project/santamartasiembra/>.

Díaz, G. (2021). ¿Cartagena está llena de basura? Van más de 270.023 toneladas recolectadas en 2021. El Universal. <https://www.eluniversal.com.co/cartagena/cartagena-esta-llena-de-basura-van-mas-de-270023-toneladas-recolectadas-en-2021-XY5313033>.

Díaz, A., Granados, S. y Valdés, D. (2016). *Índice de calidad*

- ambiental urbana*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Dulzaides, M. E. y Molina, A. M. (2004). Análisis documental y de información: dos componentes de un mismo proceso. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, 12(2), 1. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3169950>.
- EPA Barranquilla. (2019). Informe de la cuantificación de la cobertura arbórea del DEIP de Barranquilla. <http://barranquillaverde.gov.co/silvicultura-urbana>.
- EPA Barranquilla. (2020). Reporte anual de calidad del aire. <http://barranquillaverde.gov.co/storage/app/media/calidad-aire/Informe%20Calidad%20del%20Aire%202020.pdf>.
- EPA Cartagena. (2021). EPA analiza calidad del agua. <https://epacartagena.gov.co/web/epa-analiza-calidad-del-agua/>.
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. (2005). Ecosistemas y bienestar humano: Oportunidades y desafíos para las empresas y la industria. World Resources Institute. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.754.aspx.pdf>.
- Hernández, H., Niebles, W. y Feria, J. (2020). La gestión de los residuos sólidos en la ciudad de Barranquilla, Colombia. *Espacios*, 41(47), 86-96. <https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n47p07>.
- INVEMAR. 2021. *Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2020*. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 268 p.
- Lacambra, C. L., Lozano, C. P., Alonso, D. y Fontalvo, M. (2003). *Amenazas naturales y antrópicas en las zonas costeras colombianas* (Serie de documentos generales de Invemar N.º 15).
- Magrin, G. O. (2015). *Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). <http://www.cepal.org/es/publicaciones/39842-adaptacion-al-cambio-climatico-america-latina-caribe>.
- Martínez, G. R. (2016). Diagnóstico de la calidad del aire de la ciudad de Cartagena de Indias, 2014 y 2015. Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Mendizábal, G. (2015). La seguridad social ante los retos del cambio climático. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado*, 48(143), 697-730.
- Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Evaluación integral: Informes de gestión de las Corporaciones Autónomas Regionales de Desarrollo Sostenible*. Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Educación Nacional. (2010). Política Nacional de Educación Ambiental Sina.
- Montaño, J. (2020). En Cartagena darían nuevo aire al Plan 4C contra el cambio climático. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/cambio-climatico-en-cartagena-dan-un-nuevo-aire-al-plan-4c-551447>.
- Moreno, M. (2008). La gestión ambiental urbana El caso de la contaminación atmosférica en Bogotá. *Revista Escuela De Administración De Negocios*, (62), 29-38.
- Murga, M. (2015). Competencias para el desarrollo sostenible: las capacidades, actitudes y valores meta de la educación en el marco de la Agenda global post-2015. *Foro de Educación*, 13(19), 55-83.
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*.
- Navarrete-Ramírez, S. M. y Rodríguez-Rincón, A. M. (2014). Protocolo Indicador Condición Tendencia Bosques de Manglar (ICTBM): Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP) (Serie de Publicaciones Generales del Invemar N.º 67). Invemar, GEF y PNUD.
- Observatorio Ambiental de Cartagena de Indias. (2020). <http://observatorio.epacartagena.gov.co/gestion-ambiental>.
- Pérez, E. (2000). *Derecho Ambiental*. McGraw-Hill.
- Plata, Á. M. e Ibarra Vega, D. (2016). Percepción local del estado ambiental en la cuenca baja del río Manzanares. *Revista Luna Azul*, 42, 235-255.
- Quiroga, R. (2007). *Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe*. Cepal.
- Ramírez, O., Da Boit, K., Blanco, E. y Silva, L. F. O. (2020). Hazardous thoracic and ultrafine particles from road dust in a Caribbean industrial city. *Urban Climate*, 33, 100655. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100655>.
- Región Caribe. (2021). *Ciénaga de Mallorquín movilizaría hasta \$1,48 billones en los próximos 10 años*. <https://regioncaribe.com.co/cienaga-de-mallorquin-movilizaria-hasta-148-billones-en-los-proximos-10-anos/>.

- Rengifo, B., Quitiaquez, L. y Mora, F. J. (2007). La educación ambiental una estrategia pedagógica que contribuye a la solución de la problemática ambiental en Colombia. XII Coloquio Internacional de Geocrítica, Bogotá, Colombia.
- Rodríguez, M. (Ed.). (2008). *Gobernabilidad, instituciones y medio ambiente en Colombia*. Foro Nacional Ambiental.
- Rodríguez, M. (2013). Perfil ambiental de la Región Caribe colombiana. *Economía & Región*, 7(2), 193-220. <https://revistas.utb.edu.co/index.php/economiayregion/article/view/56>
- Ruiz, D. (2019). *Alternativas de gestión ambiental para los puertos Colombianos Barranquilla y Cartagena*. Universidad del Rosario.
- Salinas, J. (2011). *Retos a futuro en el sector de acueducto y alcantarillado en Colombia (Documentos de Proyectos N.º 379)*. Cepal.
- Sánchez-Triana, E., Kulsum, A. y Yewqnde, A. (2008). *Prioridades ambientales para la reducción de la pobreza en Colombia: Un análisis ambiental para Colombia*. Banco Mundial; Mayol Ediciones.
- Sandoval-Escobar, M., Páramo, P., Orejuela, J., González Gallo, I., Cortés, O. F., Herrera Mendoza, K., Garzón, C. y Erazo, C. (2019). Paradojas del comportamiento proambiental de los estudiantes universitarios en diferentes disciplinas académicas. Interdisciplinaria. *Revista de Psicología y Ciencias Afines*, 36(2). <https://doi.org/10.16888/interd.2019.36.2.11>.
- Unesco. (2018). *Líderes de comunidades indígenas de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia visitan el Centro del Patrimonio Mundial*.

## Primer registro de *Peridinium gatunense* Nygaard 1925 (Dinophyceae: Peridinales) en humedales del Caribe colombiano: ampliación geográfica en Colombia

### First record of *Peridinium gatunense* Nygaard 1925 (Dinophyceae: Peridinales) in wetlands of the Colombian Caribbean: geographical expansion in Colombia

Martha Mogollón Arismendy<sup>1\*</sup> , Ana Méndez Páez<sup>2</sup> , Carlos Nisperuza Pérez<sup>3</sup>  y Efraín Hernández Buelvas<sup>4</sup> 

1. Grupo de Investigación en Botánica, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia

2. Grupo de investigación CINPIC, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia

3. Grupo de Investigación en Biotecnología (GRUBIODEQ), Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia

4. Grupo de Investigación ArqUnidos, Universidad del Sinú, Montería, Colombia

#### Resumen

Se amplía el rango de distribución del dinoflagelado *Peridinium gatunense* en Colombia con un reporte por primera vez en la región Caribe. Las muestras fueron recolectadas en las ciénagas de Ayapel, Cintura y El Porro mediante arrastres circulares con una red de 20 µm y analizadas bajo microscopio invertido (XDS-1) y electrónico de barrido (MEB). Las células registradas presentaron la tabulación normal de las tecas del género *Peridinium* (4', 3a, 7", 5c, 5s, 5""', 2""') y las características tecales de la especie. Se aportan medidas de la epiteca y la hipoteca y una secuencia de tabulación de placas antapicales. Asimismo, se incluye información sobre algunos parámetros ambientales de zonas donde *P. gatunense* puede ser hallada, en aguas continentales del Caribe colombiano.

**Palabras clave:** Caribe; Colombia; dinoflagelado; fitoplancton

#### Abstract

The distribution range of the dinoflagellate *Peridinium gatunense* in Colombia has expanded, marked by its first-ever report in the Caribbean region. Samples were collected from the Ayapel, Cintura, and El Porro marshes using circular tows with a 20 µm mesh net. These samples were subsequently analyzed using an inverted microscope (XDS-1) and a scanning electron microscope (SEM). The recorded cells exhibited the typical tabulation of the thecae within the *Peridinium* genus (4', 3a, 7", 5c, 5s, 5""', 2""') and displayed species-specific thecal characteristics. Detailed measurements of both the epitheca and hypotheca are provided, along with a sequence of tabulation of antapical plates. Additionally, this report includes information about specific environmental parameters in areas where *P. gatunense* can be found, specifically in the continental waters of the Colombian Caribbean.

**Key words:** Caribbean; Colombia; dinoflagellate; phytoplankton

**\*Autor de correspondencia:**

[mmogollon@correo.unicordoba.edu.co](mailto:mmogollon@correo.unicordoba.edu.co)

**Editor:** Lenin Flórez Leyva

**Recibido:** 28 de febrero de 2023

**Aceptado:** 08 de agosto de 2023

**Publicación en línea:** 06 de diciembre de 2023

**Citar como:** Mogollón Arismendy, M., Méndez Páez, A. Carlos Nisperuza Pérez, C. y Hernández Buelvas E. (2023). Primer registro de *Peridinium gatunense* Nygaard 1925 (Dinophyceae: Peridinales) en humedales del Caribe colombiano: ampliación geográfica en Colombia. *Intropica*, 18 (2), 226-231. <https://doi.org/10.21676/23897864.5060>.



Dentro del fitoplancton, los dinoflagelados (Dinophyceae) se han descrito como un componente minoritario en los ecosistemas acuáticos continentales con amplia distribución mundial, aunque la mayoría de las especies parecen ser subcosmopolitas (Bojorge-García y Cantoral, 2016; Rengefors y Kremp, 2018; Taylor *et al.*, 2008). Estos organismos desempeñan un papel importante en la ecología de los cuerpos de agua al indicar cambios ambientales rápidos dentro de estos hábitats (Camargo, 1994; Moestrup y Calado, 2018). Su proliferación masiva suele ser producto del incremento en la disponibilidad

de nutrientes, combinado con un aumento de la temperatura, que ocasiona fenómenos de toxicidad que pueden repercutir en las redes tróficas (Gárate-Izárraga y Muñetón-Gómez, 2008).

*Peridinium gatunense* fue registrado por primera vez en el lago Gatún, en el canal de Panamá, por Ostenfeld y Nygaard (1925). Es propio de aguas continentales tropicales y el dinoflagelado de agua dulce de mayor presencia en Brasil, sobre todo en las aguas del río Paraná. Asimismo, ha sido hallado recientemente en lagos eutróficos al suroeste de Ecuador (tabla 1).

Tabla 1. Distribución geográfica de *P. gatunense*.

Localidad	Características	Cita
Lago Gatún, Panamá	Aguas continentales tropicales y subtropicales	Ostenfeld y Nygaard (1925)
Sur África	Represas	Levanets <i>et al.</i> (2003)
Italia, Francia y Holanda	Lagos y pantanos	Lefèvre (1932), Schiller (1937), Boltovskoy (1973), Hansen y Flaim (2007)
Argentina	Embalses, ríos y lagunas	Boltovskoy (1973)
Brasil	Cuerpos de agua dulce	Cavalcante <i>et al.</i> (2017)
Suroeste de Ecuador	Lagos eutróficos	Oda y Bicudo (2006)
Colombia	Lagos y embalses	López <i>et al.</i> (2017)
		Donato-Rondón (2001), Bustamante-Gil <i>et al.</i> (2021), Gil-Guarín <i>et al.</i> (2007) y presente trabajo

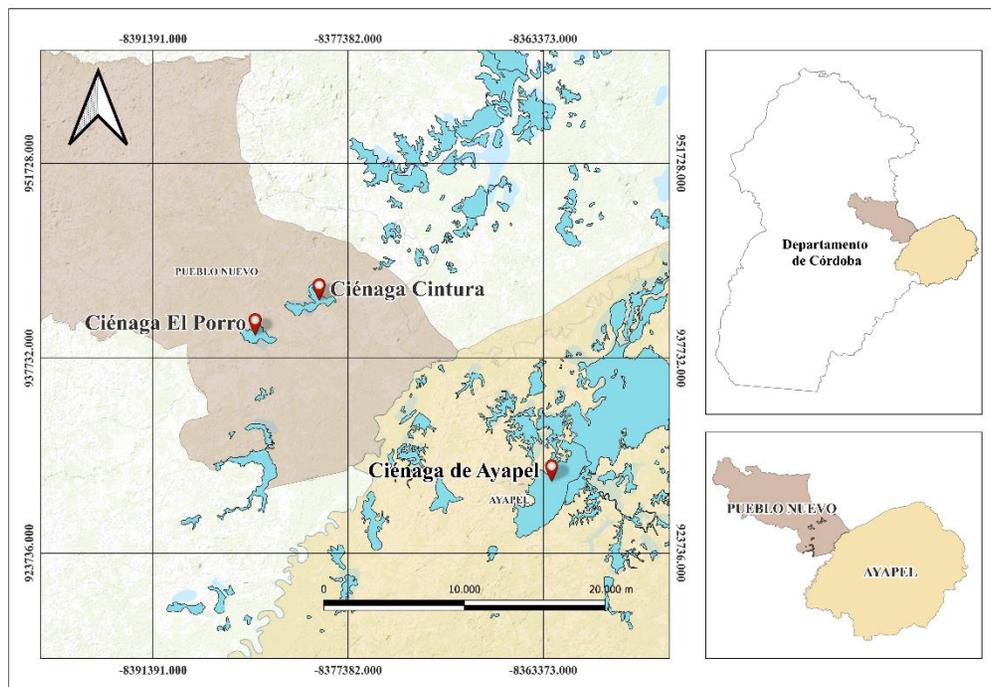


Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo, departamento de Córdoba.

Una característica importante de *P. gatunense* es su rápida respuesta a cambios ambientales, que se manifiesta produciendo floraciones en cuerpos de agua levemente alcalinos con pH entre 7 - 8 (Boltovskoy, 1983; Zohary *et al.*, 2014). Esta especie está constituida por individuos móviles unicelulares de hábito solitario con forma peridinoidea compuestos por dos valvas tecadas unidas por el cíngulo (Levanets *et al.*, 2003). Este trabajo reporta por primera vez a este dinoflagelado en el Caribe colombiano, proporcionando algunos detalles morfológicos a partir de muestras recolectadas en las ciénagas de Ayapel, Cintura y El Porro, ubicadas en el plano de inundación del río San Jorge, al sureste del departamento de Córdoba (figura 1).

Los humedales analizados se caracterizan por ser poco profundos, con rangos que oscilan entre 1,2 y 3 m. También son altamente turbios y cálidos, con valores de transparencia que fluctúan entre 0,36 y 1,8 m, y la temperatura del agua es superior a 30 °C. Sus aguas van de ligeramente neutras a básicas, con concentraciones de nitrógeno y fósforo generalmente bajas. Los mayores niveles de estas variables se registraron en la ciénaga de Ayapel (Álvarez, 2010; Hernández *et al.*, 2013, 2020).

Los ejemplares de *P. gatunense* se recolectaron entre julio de 2017 y febrero de 2018, en muestras de fitoplancton tomadas mediante arrastres circulares con una red de 20 µm y fijadas con formalina al 4 %. Se revisó el material biológico bajo microscopio invertido (XDS-1) haciendo barridos completos de las cámaras Utermöhl con objetivos de 10X, 40X y 100X (Ramírez, 2000). Para la identificación, se aislaron los microorganismos y se separaron las placas tecales con hipoclorito de sodio (Boltovskoy, 1995). Parte del material aislado se analizó por medio de microscopía electrónica de barrido (MEB) en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

El proceso de identificación de la especie se basó en caracteres diagnósticos como: disposición asimétrica de las placas de la epiteca, forma de la placa 4", presencia de placas antapicales rectangulares simétricas, tipo de suturas, reticulación de las placas, largo o proyección del surco y secuencia de la tabulación (4', 3a, 7", 5c, 5s, 5"', 2'''), siguiendo las descripciones de Boltovskoy (1973), Cavalcante *et al.* (2017) y López *et al.* (2017). Posteriormente, el espécimen fue confirmado en el museo de la Universidad Nacional de La Plata, en Argentina.

La ampliación del rango de distribución de *P. gatunense* a estos humedales del Caribe colombiano y las descripciones morfológicas realizadas en este trabajo aportan al conocimiento biológico de esta especie. A su vez, es un insumo clave para establecer estrategias que permitan comprender la dinámica de su población, con el fin de prevenir y gestionar posibles riesgos ambientales.

#### Sistemática

Clase Dinophyceae Fritsch West & Fritsch, 1927

Orden Peridinales Haeckel, 1894

Familia Peridiniaceae Ehrenberg, 1831

Género *Peridinium* Ehrenberg, 1830

*Peridinium gatunense* Nygaard 1925

La identificación del material examinado se basó en los descriptores que se encuentran en los siguientes documentos: Boltovskoy (1973), p. 334, figuras 1-5; Boltovskoy (1983), p. 4, figuras 6-10; Levanets *et al.* (2003), p. 63, figuras 1-3; López *et al.* (2017), p. 102, figura 3.

Las células recolectadas de *P. gatunense* corresponden a formas redondeadas con una leve aplanación dorsoventral. En las vistas apical y antapical se aprecia el epicono con un borde semicircular y una suave invaginación hacia la zona ventral. Las células medidas (n= 35) presentaron tamaño mediano, que osciló entre 45 - 50 µm de largo y 44 - 52 µm de transdiámetro. Se observó epiteca con ± 35 µm de altura y una hipoteca de ± 10 µm, ambas estructuras unidas por la base en la zona del cíngulo (figuras 2a, 2b, 2c).

Se detectaron placas gruesas con poros centrales, una superficie con apariencia reticulada en el relieve y tabulación que corresponde a la representada por la fórmula 4', 3a, 7", 5c, 5s, 5"', 2'''. De tal manera, la epiteca está conformada por 14 placas asimétricas distribuidas en tres zonas, a partir de la disposición y distribución de esta. Por tanto, alrededor de la placa 3' se organizan las placas 2', 1a, 2a, 3a, y 4', que conforman el primer anillo y son el eje central de la zona apical; en el segundo anillo se disponen siete placas precingulares (1", 2", 3", 4", 5", 6", 7") junto a la placa 1', que se considera la más pequeña del anillo por ser de menor tamaño que la epiteca y por presentar una forma cóncava. Los bordes posteriores de las placas del segundo anillo se continúan en aletas precingulares en la que se detallan prolongaciones radiales (figuras 2d, 2e, 2f).

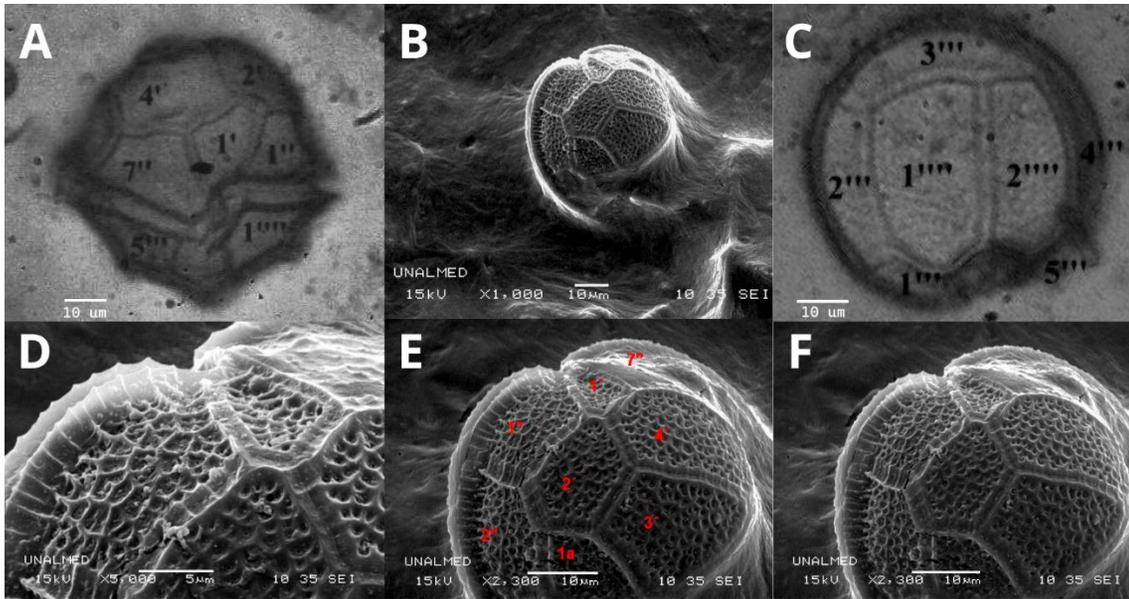


Figura 2. *Peridinium gatunense*. a) vista ventral, placas de la epiteca, hipoteca y cingulum (40X); b) vista apical; c) vista antapical del epicono (40X); d) placas tecaes gruesas con poros centrales, superficie reticulada en el relieve; e) primer anillo de placas (MEB); f) segundo anillo con placas precingulares, aletas con prolongaciones radiales, cingulo a nivel de la epiteca.

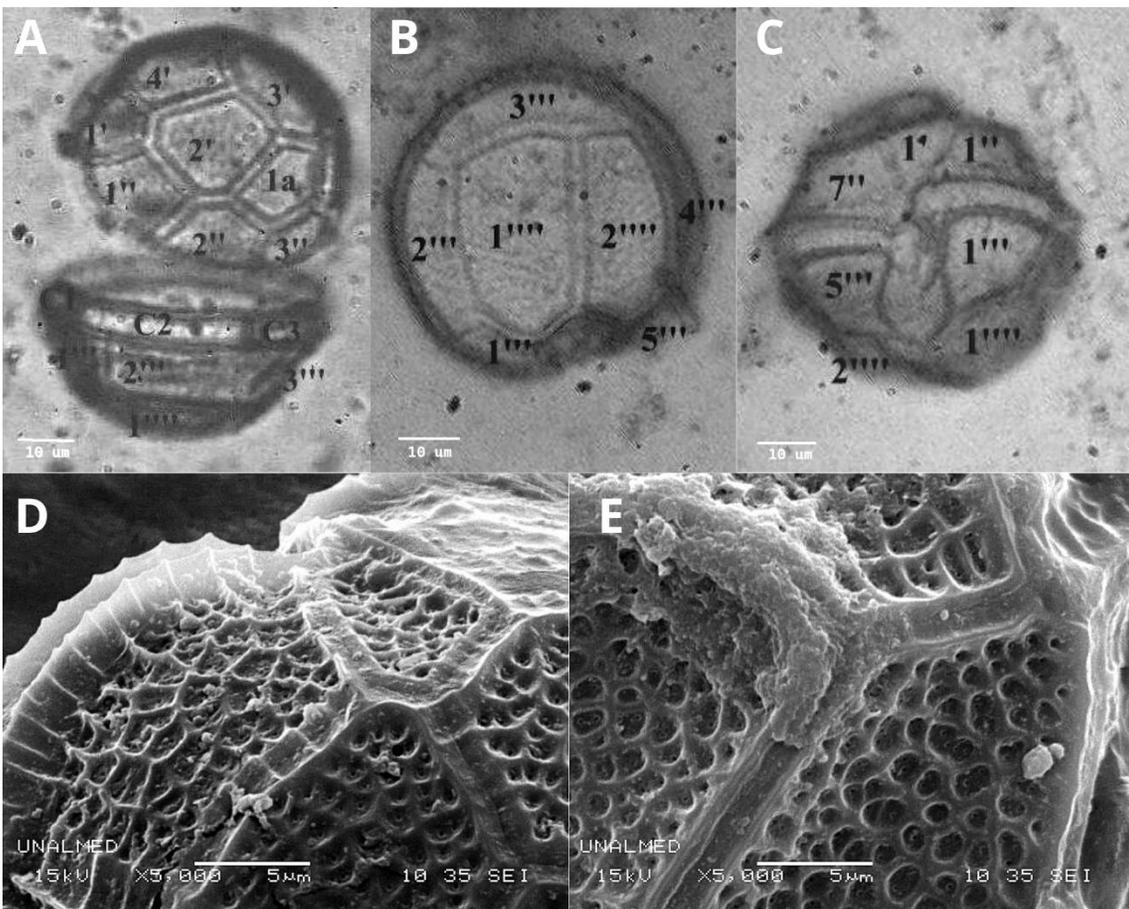


Figura 3. *Peridinium gatunense*. a) vista dorsal; b) hipoteca con cinco placas postcingulares y dos antapicales; c) vista ventral, con cingulo excavado y ligero desplazamiento (40X); d) aletas cingulares; e) canales con bordes estriados de las bandas intercalares.

En vista ventral se aprecia el desnivel que presenta el cinturón o cíngulo a nivel de la epiteca, en la altura de las placas 7" y 1". Este se observa profundamente excavado y con un ligero desplazamiento producto de un recorrido helicoidal descendente. Así, esta estructura se encuentra rodeada por aletas que nacen de las placas precingulares y postcingulares, conformadas a su vez por cinco placas largas que corresponden con las cinco placas postcingulares. La hipoteca está constituida por siete placas, de las cuales cinco son postcingulares (1", 2", 3", 4" y 5"), y dos, antapicales (1" y 2"). Las placas, 2", 3" y 4" son más largas y menos anchas que las placas 1" y 5" (figuras 3a, 3b, 3c).

De la misma manera, se pudo observar que las placas antapicales tienen forma rectangular y son las más largas y grandes de la teca. En cuanto a las bandas intercalares, se evidencian canales con bordes estriados como una prolongación del retículo que cubre las placas. Estas estructuras sirven de refuerzo a las aletas cingulares y poseen una fina sutura que las separa, de manera que se nota la imbricación de los bordes de las placas (figuras 3d, 3e).

En Colombia, *P. gatunense* ha sido registrado en el lago de Tota del departamento de Boyacá, en el embalse Guatapé de Antioquia (Duque y Donato, 1992; Ramírez, 1986) y, recientemente, Bustamante-Gil *et al.* (2021) lo hallaron en los embalses La Fe, Guatapé, Porce II y Porce III en Antioquia. Estos últimos se caracterizan por encontrarse en sistemas montañosos bajos, con mayores valores de temperatura, conductividad, color aparente, turbidez y materia orgánica que los de alta montaña. Es necesario destacar que estos autores en su estudio florístico evidenciaron que las especies de dinoflagelados detectadas en los pantanos no se identificaron en los embalses y viceversa, razón por la cual concluyeron que la distribución de los dinoflagelados en Colombia está limitada por una estructuración geográfica.

Sin embargo, los resultados de este trabajo permiten ampliar el rango de distribución de *P. gatunense* a ecosistemas cenagosos del Caribe colombiano como Ayapel, Cintura y El Porro, caracterizados por presentar los valores más bajos de transparencia (0,36 a 0,89 m) y de profundidad en que se ha registrado esta especie en el país. El hallazgo de *P. gatunense* en estos cuerpos de agua se relaciona con la capacidad que presenta el género *Peridinium* para mantenerse en las capas superficiales de la columna de agua y así superar, por medio de la locomoción, la limitante en transparencia. Asimismo, puede deberse a su capacidad de formar quistes, lo que les confiere resistencia a condiciones ambientales desfavorables o

cambiantes como aquellas a las que están sometidas estas ciénagas por tensores naturales y antrópicos (Hernández *et al.*, 2020; Oda y Bicudo, 2006).

### Conflicto de intereses

Los autores manifiestan no presentar conflictos de intereses.

### Contribución de los autores

Martha Mogollón Arismendy, Ana Méndez Páez, Carlos Nisperuza Pérez y Efraín Hernández Buelvas: conceptualización, desarrollo del diseño metodológico, toma de datos, análisis de datos, escritura y revisión.

### Agradecimientos

Agradecemos al grupo de botánica de la Universidad de Córdoba por su apoyo. También a Andrés Boltovskoy, experto en ficología del museo de La Plata, Universidad Nacional de La Plata, en Argentina, por su asesoría en la identificación de *P. gatunense*.

### Referencias

- Álvarez, J. (2010). Caracterización limnológica de las ciénagas de Arcial, El Porro y Cintura (río San Jorge) y Bañó, Charco Pescao y Pantano Bonito (río Sinú), departamento de Córdoba. En O. Rangel (Ed.), *Colombia Diversidad Biótica IX: Ciénagas de Córdoba: Biodiversidad-Ecología y manejo ambiental* (pp. 509-558). Universidad Nacional de Colombia.
- Bojorge-García, M. G. y Cantoral, E. A. (2016). La importancia ecológica de las algas en los ríos. *Hidrobiológica*, 26(1), 1-8. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2016v26n1>.
- Boltovskoy, A. (1973). *Peridinium gatunense* Nygaard. Estructura y ultraestructura tecal (Dinoflagellida). *Physis*, B 32(85), 331-344.
- Boltovskoy, A. (1983). *Peridinium cincture* f. *Westii* del mar de Galilea, sinónimo de *Peridinium gatunense* (Dinophyceae). *Limnobiós*, 2, 413-418.
- Boltovskoy, A. (1995). Taxonomía y morfología de los dinoflagelados: Métodos de trabajo. En K. Alveal, M. E. Ferrario, E. C. Oliveira y E. Sar (Eds.), *Manual de métodos ficológicos* (pp. 55-82). Universidad de Concepción.
- Bustamante-Gil, C., Boltovskoy, A., Rengefors, K., Tavera, R., Amat, E. y Ramírez-Restrepo, J. J. (2021). Checklist, new records, and taxonomic annotations of freshwater thecate dinoflagellate (Dinophyceae) in Colombia. *Phytotaxa*, 509(2), 135-167. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.509.2.1>.

- Camargo, J. A. (1994). The importance of biological monitoring for the ecological risk assessment of freshwater pollution: A case study. *Environment International*, 20(2), 229-238. [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(94\)90140-6](https://doi.org/10.1016/0160-4120(94)90140-6).
- Cavalcante, K. P., Craveiro, S. C., Calado, A., Ludwig, T. A. y Cardoso, L. D. S. (2017). Diversity of freshwater dinoflagellates in the state of Paraná, Southern Brazil, with taxonomic and distributional notes. *Fototea A Journal of the Czech Phycological Society*, 17(2), 240-263. <https://doi.org/10.5507/fot.2016.026>
- Donato-Rondón, J. (2001). *Fitoplancton de Los Lagos Andinos del Norte de Sudamérica (Colombia), Composición y factores de distribución del Fitoplancton*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Duque, S. y Donato, J. (1992). Biología y ecología del fitoplancton de las aguas dulces en Colombia. *Cuadernos Divulgativos*, 35, 1-21.
- Gárate-Izárraga, I. y Muñetón-Gómez, M. D. S. (2008). Florecimiento de *Peridinium quinquecorne* Abé in La Ensenada de La Paz, Golfo de California (Julio 2003). *Acta Botánica Mexicana*, (83), 33-47. <https://abm.ojs.inecol.mx/index.php/abm/article/view/1059>.
- Gil-Guarín, I. C., Villabona-González, S. L. y Ríos M. (2007). Dinámica temporal y espacial de los grupos funcionales del fitoplancton en un embalse tropical colombiano. *Limnetica*, 41(2), 339-354. <https://doi.org/10.23818/limn.41.20>.
- Hansen, G. y Flaim, G. (2007). Dinoflagellates of the Trentino province, Italy. *Journal of Limnology*, 66(2), 107-141.
- Hernández, E., Aguirre, N., Palacio, K., 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 Ingeniería*, 69, 216-228.
- Hernández, E., Aguirre, N., Palacio, K., Palacio, J., Ramírez, J. J., Duque, S. R., Mogollón, M. y Kruk, C. (2020). Clasificación de grupos morfofuncionales del fitoplancton en seis sistemas lénticos de las regiones Caribe, Andina y Amazónica de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(171), 392-406. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1082>.
- Lefèvre, M. (1932). Monographie des especes d'eau douce du genre *Peridinium*. *Archivio Botanico per la Sistematica, Fitogeografia e Genética*, 2, 1-21.
- Levanets, A. A., Taylor, J. C., Teidt, A. y Boltovskoy, S. (2003). Morphology of *Peridinium gatunense* (Dinoflagellata) from Potchefstroom Dam, South Africa. *Microscopy Society of Southern Africa- Proceedings*, 33, 63.
- López, J., Yucra, H., Bárcena, V. y Saavedra, R. (2017). Morfología y taxonomía de dinoflagelados tecados (Peridinales: Peridiniaceae) en la represa Tahuin (Oro, Ecuador) y Poechos (Sullana, Perú). *The Biologist* (Lima), 15(1), 99-108. <https://doi.org/10.24039/rtb2017151146>.
- Moestrup, Ø. y Calado, A. J. (2018). Classification of freshwater dinoflagellates. En *Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 6 - Freshwater Flora of Central Europe, Vol. 6: Dinophyceae* (pp. 47-49). Springer Spektrum.
- Oda, A. C. y Bicudo, C. E. M. (2006). Ecología de *Peridinium gatunense* y *Peridinium umbonatum* (Dinophyceae) en un reservorio oligotrófico tropical poco profundo (Estanque IAG), São Paulo, sureste de Brasil. *Acta Limnologica Brasiliensis*, 18(2), 165-180.
- Ostenfeld, C. H. y Nygaard, G. (1925). On the phytoplankton of the Gatun Lake, Panama Canal. *Dansk Botanisk Arkiv, Udgivet af Dansk Botanisk Forening*, 4(10), 1-16.
- Ramírez, J. J. (1986). Fitoplancton de red en el embalse El Peñol, Colombia. *Actualidades Biológicas*, 15(56), 2-13.
- Ramírez, J. J. (2000). *Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios*. Editorial Universidad de Antioquia.
- Rengefors, K. y Kremp, A. (2018). The ecology of freshwater dinoflagellates. En Ø. Moestrup y A. J. Calado (Eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 6-Freshwater Flora of Central Europe*. Springer Spektrum.
- Schiller, J. (1937). Dinoflagellatae (Peridinea) in monographischer Behandlung. En L. Rabenhorst (Ed.), *Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz 2 Teil* (pp. 1-589). Akademische.
- Taylor, F. J., Hoppenrath, M. y Saldarriaga J. F. (2008). *Dinoflagellate diversity and distribution*. *Biodiversity and Conservation*, 17, 407-418. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9258-3>.

## Abundancia y distribución de familias de poliquetos (Annelida: Polychaeta) asociados a sustratos artificiales en la bahía de Cartagena, Caribe colombiano

## Abundance and distribution of families of polychaetes (Annelida: Polychaeta) associated with artificial substrates in the bay of Cartagena, Colombian Caribbean

Tatiana Marin Amado\* y Liseth Johana Arregocés Silva 

Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH), Área Protección del Medio Marino, Cartagena, Colombia

### Resumen

La Bahía de Cartagena es considerada una de las puertas comerciales con más actividad turística y portuaria del país, destacando por su tráfico marítimo altamente dinámico. A lo largo de la bahía se reconoce la presencia de boyas de señalización marítima, que facilitan diversas operaciones náuticas y portuarias, proporcionando a su vez un hábitat ideal para una gran diversidad de invertebrados marinos, incluyendo la clase Polychaeta. Sin embargo, son pocos los estudios que reportan y analizan la dinámica de grupos taxonómicos como los poliquetos en sustratos artificiales en este sector portuario. Este estudio tuvo como objetivo caracterizar la abundancia y distribución de poliquetos asociados a las boyas de señalización del canal de acceso de la Bahía de Cartagena durante diferentes épocas climáticas. Durante el estudio se recolectaron un total de 1,144 ejemplares de poliquetos, registrándose las familias Capitellidae, Cirratulidae, Eunicidae, Hesionidae, Lumbrineridae, Nereididae, Sabellidae, Serpulidae y Syllidae. Las mayores abundancias se registraron en las épocas seca y de lluvia. En cuanto a la distribución de los ensamblajes de poliquetos en la bahía, se determinaron dos grupos de boyas: uno ubicado en la parte interna de la bahía y otro grupo más cercano al Canal del Dique. Esto indica una mayor variación en los ensamblajes ubicados en las estaciones con mayor influencia de la descarga de agua dulce, así como en aquellas influenciadas por aguas oceánicas en las áreas de mayor intercambio en la bahía. Las familias Nereididae, Syllidae y Cirratulidae presentaron variaciones debido a posibles cambios ambientales estacionales en el área de estudio.

**Palabras clave:** macrofauna, boyas, inventario, estacionalidad, puerto

### Abstract

The Bay of Cartagena is considered one of the commercial gateways with more tourist and port activity in the country, noted for its highly dynamic maritime traffic. Throughout the bay there are maritime signaling buoys, which facilitate various nautical and port operations, providing an ideal habitat for a great diversity of marine invertebrates, including the Polychaeta class. However, few studies have reported and analyzed the dynamics of taxonomic groups such as polychaetes on artificial substrates in this port sector. This study aimed to characterize the abundance and distribution of polychaetes associated with the marker buoys in the access channel of the Bay of Cartagena during different periods of the year. A total of 1,144 polychaete specimens were collected during the study, including the families Capitellidae, Cirratulidae, Eunicidae, Hesionidae, Lumbrineridae, Nereididae, Sabellidae, Serpulidae and Syllidae. The highest abundances were recorded during the dry and rainy seasons. Regarding the distribution of polychaete assemblages in the bay, two groups of buoys were determined: one located in the inner part of the bay and another group closer to the Canal del Dique. This indicates a greater variation in the assemblages located in the stations with greater influence of freshwater discharge, as well as in those influenced by oceanic waters in the areas of greater exchange in the bay. The families Nereididae, Syllidae and Cirratulidae presented variations due to possible seasonal environmental changes in the study area.

**Key words:** macrofauna, buoys, inventory, seasonality, harbor

\*Autor de correspondencia: [amadotatiana58@gmail.com](mailto:amadotatiana58@gmail.com)

Editor: Juan Carlos Narvaéz

Recibido: 22 de septiembre de 2023

Aceptado: 18 junio de 2024

Publicación en línea: 18 junio de 2024

Citar como: Marin Amado y Arregocés Silva, L.J. (2023)

Abundancia y distribución de familias de poliquetos (Annelida: Polychaeta) asociados a sustratos artificiales en la bahía de Cartagena, Caribe Colombiano, *Intropica* 18 (2), 232-238



Los poliquetos presentan una gran capacidad de colonización y distribución en el medio marino. De hecho, son un componente común de sustratos artificiales como boyas de señalización, cabos, muelles flotantes y cascos de embarcaciones, entre otros. Además, desempeñan un rol ecológico importante como indicadores de contaminación ambiental, procesos de bioturbación y reciclaje de nutrientes (León *et al.*, 2019).

Existe la necesidad de disponer de información biológica de las zonas influenciadas por el tráfico marítimo, con el fin de contar con datos actualizados de la biología de áreas costeras e identificar posibles cambios en las comunidades que se produzcan con el tiempo, entre otros fenómenos (Awad *et al.*, 2014). En este documento se presentan información acerca de la abundancia y la distribución de las familias de poliquetos encontrados en la bahía de Cartagena, considerada uno de los principales puertos de transbordo en el Caribe (Arregocés y Cañón, 2015) debido a sus condiciones naturales y ubicación privilegiada. Esta zona cuenta con estructuras de señalamiento marítimo que proporcionan refugio y protección para numerosas comunidades incrustantes y aumentan la diversidad de la epibiota en los puertos (Connell y Glasby, 1999; Lim *et al.*, 2009).

Durante la época de transición (junio) de 2019 y la época seca (febrero) y de lluvia (agosto) de 2020, se extrajo material

biológico adherido a ocho boyas de señalización (figura 1) haciendo uso de una espátula y un cuadrante de PVC de área 33,3 cm<sup>2</sup> (Suárez, 2011). Estas muestras se preservaron en etanol al 70 %, y posteriormente se realizó la identificación taxonómica a categoría de familia mediante las claves de Fauchald (1977) y Harris *et al.* (2009). Se construyó una matriz de datos de abundancia por taxa empleando el programa Microsoft® Excel®. A partir de esta, se realizaron gráficos de barras para analizar la estructura de la comunidad a escala espacial y temporal, teniendo en cuenta aspectos como número de familias y abundancias.

Las afinidades entre las boyas muestreadas, de acuerdo con su composición faunística y abundancia de las familias, se determinaron utilizando el índice de disimilitud de Bray-Curtis (Anderson *et al.*, 2011). Para visualizar la similitud de las muestras en términos de composición y abundancia de especies, se derivó una ordenación de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) en dos dimensiones, utilizando 1000 configuraciones iniciales aleatorias (Clarke y Warwick, 2001). Se empleó la rutina SIMPER para identificar las familias que contribuyeron de manera más significativa a la similitud de un hábitat o golfo determinado (Clarke y Warwick, 2001). La contribución de cada especie a la disimilitud fue ordenada y sumada secuencialmente para obtener su porcentaje acumulativo.

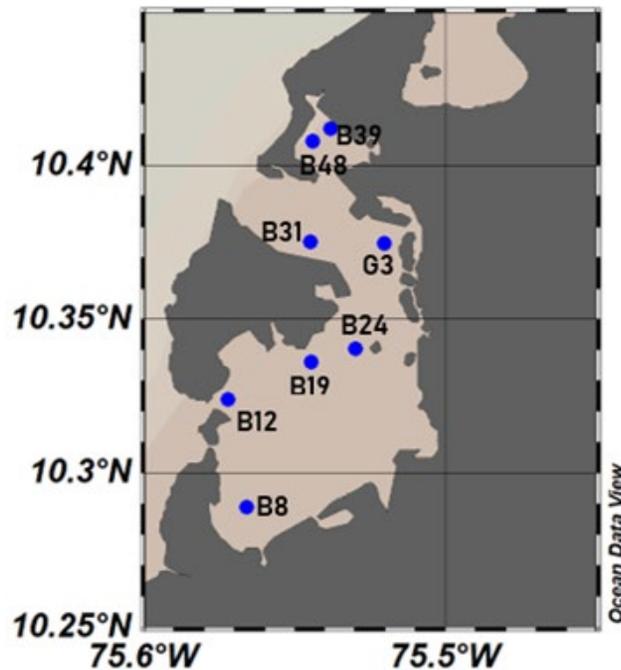


Figura 1. Ubicación de las estaciones monitoreadas en la bahía de Cartagena.

Durante el estudio se recolectaron un total de 1144 organismos distribuidos en nueve familias de Polychaeta (figura 2). La mayor abundancia se registró en época de lluvia, con 554 individuos, mientras que en la época seca se registraron 467, y en la época transición, 123.

Las familias más representativas durante el periodo de transición fueron Nereididae, Sabellidae y Syllidae, mientras que en las épocas seca y lluviosa se evidenció una mayor abundancia de las familias Nereididae, Syllidae, Cirratulidae y Serpulidae (figura 2).

En cuanto al comportamiento espacial de los poliquetos en las boyas, se observó una mayor abundancia de estos organismos en las boyas B48, B39 y B31, ubicadas en el sector interno de la bahía (figura 3). Estas diferencias también fueron evidenciadas por el análisis de ordenamiento por escalamiento multidimensional no paramétrico (NMDS), ya que las boyas se agruparon de manera diferencial, con una separación amplia entre aquellas ubicadas en la parte interna de la bahía y las más cercanas al Canal del Dique (figura 4).

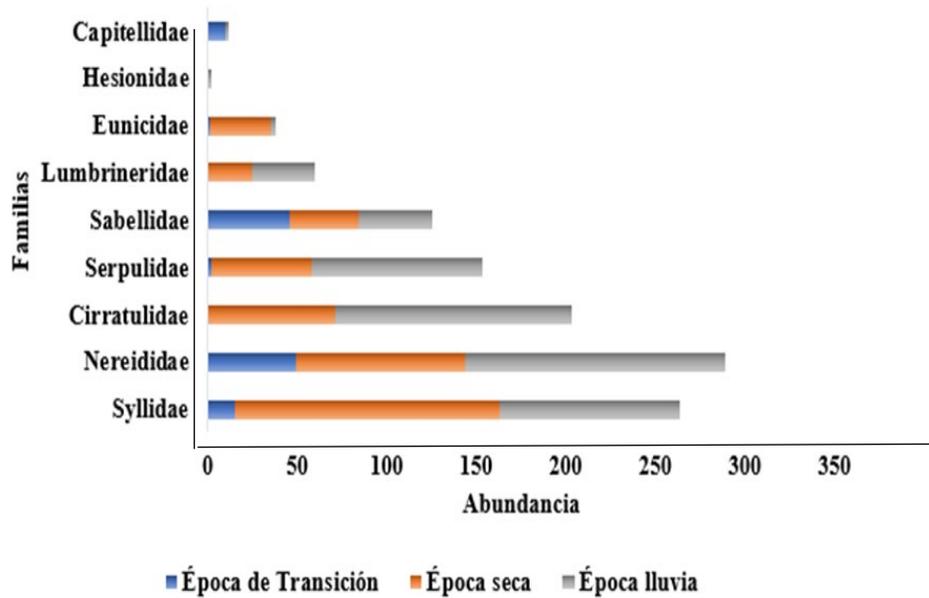


Figura 2. Abundancia de familias según la época climática.

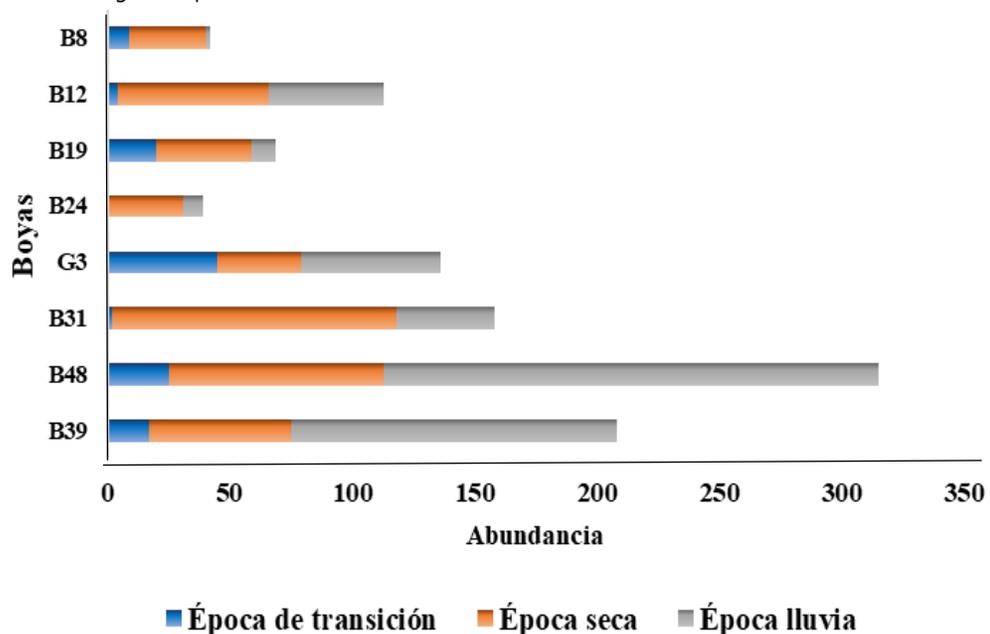


Figura 3. Abundancia de familias por boya de señalización según la época climática.

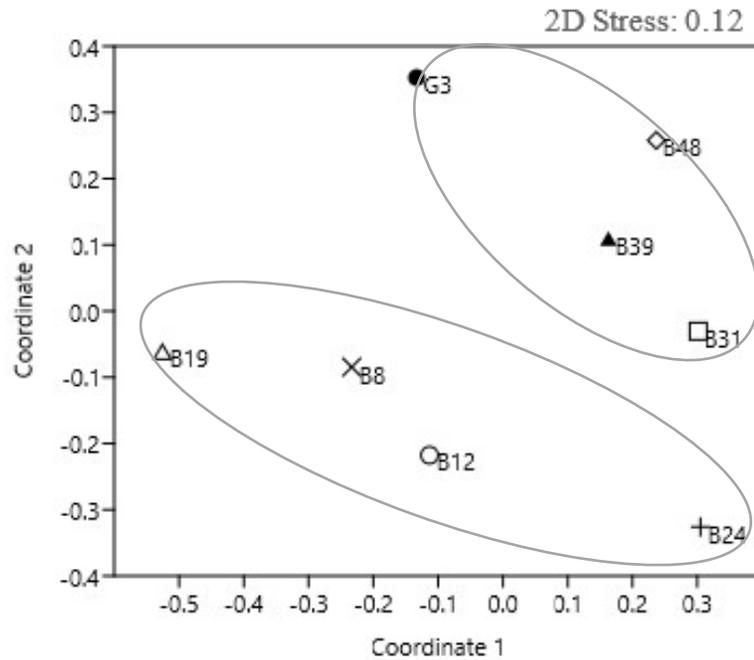


Figura 4. NMDS que muestran el agrupamiento diferencial de las boyas durante cada época climática con base en la abundancia por familia. ◇: B48, ▲: B39, △: B19, □: B31, ●: G3, ×: B8, ⊕: B24, ○: B12.

Con base al análisis SIMPER, al evaluar el aporte de las distintas familias a la disimilitud entre boyas y épocas monitoreadas, se evidencia que las familias que más contribuyeron a estas

diferencias durante las tres épocas climáticas fueron: Syllidae (12,49 %), Cirratulidae (11,73 %) y Nereididae (11,03 %). (tabla 1)

Tabla 1. SIMPER para detectar la contribución de las familias a la disimilitud entre las boyas y épocas monitoreadas. T: época de transición, S: época seca y L: época lluviosa. PCD: porcentaje de contribución a la disimilitud; PA: porcentaje acumulado

Comparación entre boyas y épocas	PCD (%)	PA (%)
Syllidae_S	12,49	12,49
Cirratulidae_L	11,73	24,22
Nereididae_L	11,03	35,25
Cirratulidae_S	8,463	43,71
Syllidae_L	7,805	51,52

## INTROPICA

Las familias Nereididae, Syllidae y Cirratulidae presentaron una mayor abundancia frente a las demás, a pesar de la variación en las condiciones físicas y químicas que han sido registradas previamente en estudios de invertebrados marinos en el área (Pineda y Cañon, 2022). Si bien los antecedentes de organismos asociados a sustratos artificiales son escasos para el Caribe colombiano, representantes de estas familias han sido

documentados por Gracia *et al.* (2013), quienes realizaron una caracterización de invertebrados marinos asociados a plataformas de gas en La Guajira (Colombia), señalando la predominancia de la familia Syllidae, uno de los grupos más dominantes en número de especies y en individuos.

Asimismo, autores como Díaz-Díaz y Liñero-Arana (2006),

Fernández *et al.* (2016), Hernández *et al.* (2001), Martín y Bastida (2008) y Prado-Navarro *et al.* (2016) destacan a estas familias (Syllidae, Nereididae y Cirratulidae) como características y abundantes en sustratos naturales. De acuerdo con lo descrito en la literatura (Royo *et al.*, 2009), factores como la diversidad en ciclos de vida, formas de alimentación, estrategias reproductoras y tolerancia al estrés (tanto antrópico como natural) les han permitido a los poliquetos establecerse en diferentes tipos de sustratos naturales y artificiales hasta representar un grupo abundante y diverso del bentos marino. Tal es el caso de los nereididos, uno de los grupos más reconocidos dentro de los invertebrados marinos.

Ahora, los representantes de la familia Cirratulidae ocupan diversos hábitats; de hecho, es común encontrarlos en sedimentos, bajo rocas, pastos marinos, algas, e incluso asociados a conchas de bivalvos (Prado-Navarro *et al.*, 2016). Para la bahía de Cartagena en particular, se han observado en manglares y fondos fangosos que se encuentran expuestos a descargas de aguas negras (Dueñas, 1979).

Es importante resaltar que la disponibilidad de microhábitats para los poliquetos representa un componente esencial para su asentamiento, dado que es común encontrarlos formando parte de organismos sésiles como bivalvos, cirrípedos, corales y esponjas. La fijación y el establecimiento de estas especies como primeros macroincrustantes colonizadores contribuye a una estabilización de las condiciones microambientales al facilitar la deposición y acumulación de sedimentos. Gracias a esto, grupos como los sabélidos, los serpúlidos y los terebélidos encuentran un sustrato adecuado para prosperar (Díaz-Díaz y Liñero-Arana, 2006).

Es común encontrar poliquetos asociados a ambientes sometidos a perturbación ambiental (Hernández *et al.*, 2001), como en el caso de la bahía de Cartagena, que se encuentra constantemente influenciada por actividades antrópicas, domésticas e industriales (Beltrán, 2011). Algunas familias, como Capitellidae y Lumbrineridae, indicadoras de presencia de materia orgánica de origen humano y aguas servidas (Del Pilar *et al.*, 2008; Díaz-Díaz *et al.*, 2021), se presentaron en estaciones cercanas al Canal del Dique (B19 y B12), lo que confirma la influencia de aguas vertidas. La particularidad de estos grupos, y en especial de Capitellidae, es que incluyen especies oportunistas que pueden colonizar rápidamente y aumentar de manera dramática sus poblaciones bajo condiciones de alta influencia antropogénica (Helguera *et al.*, 2011).

El alto número de organismos en las estaciones localizadas en el sector interno de la bahía (B39 y B48) puede estar relacionado con condiciones más estables, como la escasa corriente y la poca influencia del oleaje frente a otras estaciones expuestas a constantes cambios de salinidad y temperatura, además del continuo tráfico de embarcaciones (B19, B8 y B12). Por otra parte, en cercanías a los estrechos de la bahía, debido a la precipitación gravimétrica de suspensión y a la dilución por aguas marinas limpias, existen focos locales de fitoplancton (Tuchkovenko *et al.*, 2002) que pueden favorecer el desarrollo de otros organismos que proveen alimento, refugio o soporte (Díaz-Díaz y Liñero-Arana, 2006) para el establecimiento de algunas familias de poliquetos. En este estudio, se encontraron comúnmente poliquetos adheridos a conchas de bivalvos y cirrípedos, parte de la biota típica en estas boyas.

Los resultados sugieren que la variación espacial repercute en la abundancia y la distribución de los poliquetos encontrados en la bahía de Cartagena, y también puede estar asociada con la distribución de otros organismos (sustrato biológico). Ahora bien, a pesar del importante rol que ocupan en la cadena trófica y de que son bioindicadores, este grupo es poco estudiado en Colombia y, particularmente, las investigaciones se centran en otros sustratos diferentes a los artificiales, los cuales resultan idóneos para el establecimiento de organismos movilizados por embarcaciones de tráfico marítimo entre puertos. Sin lugar a duda, la actualización de inventarios de fauna y flora representa ventajas para identificar posibles especies no nativas y sus impactos, y a su vez sirve de línea base para la conservación de la biodiversidad natural de estas zonas.

### **Conflicto de intereses**

Los autores manifiestan no presentar conflictos de intereses.

### **Contribución de los autores**

Tatiana Marin Amado y Liseth Johana Arregocés Silva: conceptualización, desarrollo del diseño metodológico, toma de datos, análisis de datos, escritura y revisión.

### **Referencias**

Arregocés, L. y Cañón, M. (2015). Descripción del tráfico marítimo en la Bahía de Cartagena, Caribe colombiano y sus implicaciones en la introducción de especies por agua de lastre. *Boletín Científico CIOH*, 33, 187-194.

- Awad, A., Haag, F., Anil, A.C. y Abdulla, A. (2014). Guidance on Port Biological Baseline Surveys (GloBallast Monograph Series N.o 22). GEF-UNDP-IMO.
- Anderson, M.J., Crist, T.O, Chase, J.M., Vellend, M., Inouye, B.D., Freestone, A.L, Sanders, N.J, Cornell, H.V., Comita, L.S., Davies, K.F., et al. (2011). Navigating the multiple meanings of *b* diversity: a roadmap for the practicing ecologist. *Ecology Letter*, 14:1928. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01552.x>.
- Beltrán, J. (2011). Relación entre la comunidad fitoplanctónica y el entorno abiótico de la Bahía de Cartagena, para establecer un índice de calidad de aguas y su variación espacio temporal [Tesis de pregrado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano]. Repositorio Institucional Utadeo.
- Clarke, K.R. y Warwick, R.M. (2001). Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation (2nd ed.). Plymouth: PrimerE, Ltd
- Connell, S. D. y Glasby, T. M. (1999). Do urban structures influence local abundance and diversity of subtidal epibiota? A case study from Sydney Harbour, Australia. *Marine Environmental Research*, 47(4), 373-387.
- Del Pilar, Y., De la Ossa, J. A., Loya-Fernández, A., Ferrero-Vicente, I. M., Gimenez-Casaldueiro, F. A. y Sánchez-Lizaso, J. L. (2008). Efecto del vertido de aguas residuales en el poblamiento de poliquetos en San Pedro del Pinatar. En Actas del Cuarto Congreso de la Naturaleza de la Región de Murcia y I Sureste Ibérico (pp. 345-354).
- Díaz-Díaz, O. y Liñero-Arana, I. (2006). Poliquetos (Annelida: Polychaeta) asociados a sustratos artificiales en tres localidades del golfo de Cariaco, Venezuela. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad del Oriente*, 18(1), 3-10.
- Díaz-Díaz, O., Troccoli, L. y Díaz-Pérez, O. (2021). Estructura de la comunidad de poliquetos de fondos blandos en tres localidades de la Bahía de Mochima, Venezuela. *Scientia Journal of Basic Science and Technology*, 23(2), 65-88.
- Dueñas, P. R. (1979). Inventario preliminar de los poliquetos (Annelida) de aguas someras de la Bahía de Cartagena y áreas adyacentes [Trabajo de pregrado, Fundación Universitaria de Bogotá Jorge Tadeo Lozano].
- Fauchald, K. (1977). The polychaete worms: Definitions and keys to the orders, families and genera. Natural History Museum of Los Angeles County, *Science*, 28, 1-188.
- Fernández, V., Londoño, M. y Ramírez, J. J. (2016). Polychaetes from Red Mangrove (*Rhizophora mangle*) and their relationship with the water conditions in The Gulf of Urabá, Colombian Caribbean. *Acta Biológica Colombiana*, 21(3), 611-618.
- Gracia, A., Cruz, N., Borrero, G., Báez, D. P., y Santodomingo, N. 2013. Invertebrados marinos asociados con las plataformas de gas en La Guajira (Caribe Colombiano). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 42, 361-386.
- Harris, L., De León-González, J. A. y Salazar-Vallejo, S. I. (2009). Morfología, Métodos, Clave para Familias y Clasificación. En J. A. De León-González, J. R. Bastida, L. F. Carrera, M. E. García, A. Peña, S. I. Salazar y V. Solís (Eds.), Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México y América Tropical (pp. 3-34). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey.
- Helguera, Y., Díaz-Asencio, L., Fernández-Garcés, R., Gómez-Batista, M., Guillén, A., Díaz-Asencio, M. y Armenteros, M. (2011). Distribution patterns of macrofaunal polychaete assemblages in a polluted semi-enclosed bay: Cienfuegos, Caribbean Sea. *Marine Biology Research*, 7(8), 757-768.
- Hernández, C. E., Muñoz, G. y Rozbaczylo, N. (2001). Poliquetos asociados con *Austromegabalanus psittacus* (Molina, 1782) (Crustacea: Cirripedia) en Península Gualpén, Chile central: Biodiversidad y efecto del tamaño del sustrato biológico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 36(1), 99-108.
- Kohn, A. J. y Lloyd, M. C. (1973). Marine polychaete annelids of Easter Island. *Internationale Revue Der Gesamten Hydrobiologie Und Hydrographie*, 58(5), 691-712.
- León, M., Lagos, A., Quiroga, S. y Dueñas, P. (2019). Poliquetos de la costa Caribe en Colombia: una lista de chequeo actualizada y algunas anotaciones taxonómicas. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43(169), 646-652.
- Martin, J. P. y Bastida, R. (2008). Contribución de las comunidades bentónicas en la dieta del róbalo (*Eleginops maclovinus*) en la ría Deseado (Santa Cruz, Argentina). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 36(1), 1-13.

- Prado-Navarro, A., Díaz-Castañeda, V., Leija-Tristán, A. y De León-González, J. A. (2016). Composición y estructura de las comunidades de poliquetos (Annelida) asociadas a fondos blandos de la costa occidental de la península de Baja California, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(1), 74-85.
- Pineda-Osorio M.C. y Cañon Páez, M. L. (2022). Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados marinos asociada a sustratos duros artificiales en la bahía de Cartagena, durante 2018 y 2019 en diferentes épocas climáticas. *Boletín científico CIOH*, 41(1):3-18.
- Royo, M., Torres, J., Tena, J. y Valero, M. (2009). Comunidad de poliquetos de los fondos blandos de la playa de Canet d'en Berenguer. *Nereis. Estudios y propuestas científico técnicas*, (2), 41-49.
- Suárez, N. Y. (2011). Levantamiento de la línea base de macromoluscos (Bivalvia-Gastropoda) en la Bahía de Cartagena, Caribe colombiano como contribución a la gestión de agua de lastre en el territorio nacional [Tesis de pregrado, Universidad del Magdalena]. Repositorio Institucional Unimagdalena. Colombia.
- Trujillo, C., Sosa, Z. y Linero, K. (2009). Estructura de la macroinfauna asociada a los fondos blandos del Caribe norte colombiano. *Intropica*, 4(1), 101-112.
- Tuchkovenko, Y., Lonin, S. A. y Calero, L. A. (2002). Modelo de eutroficación de la Bahía de Cartagena y su aplicación práctica. *Boletín Científico CIOH*, 20, 28-4 .
- Rengefors, K. y Kremp, A. (2018). The ecology of freshwater dinoflagellates. En Ø. Moestrup y A. J. Calado (Eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 6-Freshwater Flora of Central Europe*. Springer Spektrum.
- Schiller, J. (1937). Dinoflagellatae (Peridineae) in monographischer Behandlung. En L. Rabenhorst (Ed.), *Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz 2 Teil* (pp. 1-589). Akademische.
- Taylor, F. J., Hoppenrath, M. y Saldarriaga J. F. (2008). *Dinoflagellate diversity and distribution. Biodiversity and Conservation*, 17, 407-418. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9258-3>.

## Melisopalinología en mieles de origen apícola comercializadas en Bucaramanga, Santander

## Melissopalynology in honeys of beekeeping origin commercialized in Bucaramanga, Santander

Alberto Castellanos Riveros<sup>1</sup> , Eliécer Pineda Ballesteros<sup>2\*</sup> , Freddy Reynaldo Téllez Acuña<sup>2</sup> 

1. CIDAGRO. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Bucaramanga, Santander, Colombia

2. GUANE. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Bucaramanga, Santander, Colombia.

### Resumen

Este artículo presenta los resultados de una investigación que determinó e identificó granos de polen en mieles comercializadas en almacenes de "grandes superficies" en la ciudad de Bucaramanga. Este estudio permitió determinar si las mieles que consumen los Bucaramanguenses tienen origen botánico, a partir de la identificación de marcadores palinológicos identificados en microfotografías, comparadas con estudios realizados en Colombia. Se seleccionaron muestras de 10 marcas de un total de 100 existentes en el mercado, para el año 2016. Para determinar la familia taxonómica se buscó en la bibliografía de estudios colombianos la morfología de los granos de polen y se compararon con las microfotografías del estudio determinando la similitud. Se aplicó la metodología de la acetólisis de Erdtman para observar los granos de polen de cada una de las muestras y determinar a qué familia taxonómica pertenecían. Se identificaron 8 familias entre las que sobresalen Asteraceae, Arecaceae, Mimosoidae que se repiten entre muestras, seguidas de otras como Muntingiaceae, Piperaceae, Cyclanthaceae, Moraceae, Urticaceae, Apiaceae, Brassicaceae, que aparecieron una vez por muestra. Los resultados mostraron que una muestra era tipo polifloral, cuatro tipo monofloral y el resto no contenía polen.

**Palabras clave:** abejas; apicultura; melisopalinología; miel; polen

### Abstract

This paper presents the results of an investigation that determined and identified pollen grains in honeys marketed in "large supermarkets" in the city of Bucaramanga. This study made it possible to determine whether the honeys consumed by the people of Bucaramanga have a botanical origin, based on the identification of palynological markers identified in microphotographs, comparing them with studies carried out in Colombia. Samples of 10 brands were selected from a total of 100 existing in the market, in the year of 2016. To determine the taxonomic family, the morphology of the pollen grains was searched in the bibliography of Colombian studies and compared with the microphotographs of the study to determine the similarity. Erdtman's acetolysis methodology was applied to observe the pollen grains of each of the samples and determine to which taxonomic family they belonged. Eight families were identified, among which *Asteraceae*, *Arecaceae*, *Mimosoidae* were the most common, followed by others such as *Muntingiaceae*, *Piperaceae*, *Cyclanthaceae*, *Moraceae*, *Urticaceae*, *Apiaceae*, *Brassicaceae*, which appeared once per sample. The results showed that three samples were polyfloral type, two were monofloral type and the rest contained no pollen.

**Key words:** bees; beekeeping; melissopalynology; honey; pollen

**\*Autor de correspondencia:**

[alberto.castellanos@unad.edu.co](mailto:alberto.castellanos@unad.edu.co)

**Editor:** Juan Carlos Narvaéz

**Recibido:** 23 de febrero de 2023

**Aceptado:** 30 de junio de 2024

**Publicación en línea:** 30 de junio de 2024

**Citar como:** Castellanos Riveros, A., Pineda Ballesteros E. y, Téllez Acuña, F. R. (2023). Melisopalinología en mieles de origen apícola comercializadas en Bucaramanga, Santander. *Intropica*, 18 (2), 239- 246. <https://doi.org/10.21676/23897864.5007>.



## Introducción

En La agenda prospectiva de investigación, de la cadena productiva agroindustrial de las abejas y la apicultura de Colombia, establece que el mundo se encuentra en la megatendencia de los alimentos naturales, sostenibles ambientalmente, determinando una dinámica de mercado creciente (Egea-Hernández *et al.*, 2010). Esta es una oportunidad para la apicultura colombiana, no solo para cubrir y llegar a nuevos mercados internacionales sino, para atender y estimular el mercado interno. Para los actores de la cadena productiva la prioridad es atender al mercado interno, constituyéndose en una alternativa para la sustitución parcial de importaciones, pues en Colombia la apicultura es un sector emergente (Sánchez *et al.*, 2013). Parte de las limitaciones de la cadena productiva se concentran en la falta de calidad, “el escaso cumplimiento de normas, la carencia de estudios específicos sobre inteligencia de mercados, el exiguo acceso a los créditos disponibles y la necesidad de una mayor formación y capacitación técnica y comercial de los apicultores” (Egea-Hernández *et al.*, 2010, p. 15).

El comportamiento de la cadena productiva apícola, en cuanto al consumo *per capita*, ha aumentado de 35 gramos en 2007 (Laverde *et al.*, 2010) a 87 gramos en 2019 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2020a), consumo que aún es bajo comparado con mayores consumidores como Turquía, Alemania y Canadá cuyo consumo está alrededor de 1 000 gramos al año (Sánchez *et al.*, 2018). En Colombia se demanda la miel por parte de la industria cosmética y farmacéutica (50 %) y por la población dirigido al consumo directo (50 %) (Erasso-Arango y Montoya-Restrepo, 2011).

Por otra parte, la calidad y el origen de la miel de abejas son los principales factores que determinan el precio y por tanto, el consumo. Esto coincide con lo afirmado por Sánchez *et al.*, (2013) quienes indican tres tendencias que determinan el precio de la miel. El primero, las características particulares médicas o botánicas, por ejemplo, la miel de Manuka de Nueva Zelanda (Mandal y Mandal, 2011) o las mieles francesas como la de córsega (Woodcock *et al.*, 2009) que se asocian con los sellos de origen (Mariotti, 2013); el segundo, es el valor medio en el mercado determinado por su origen como por ejemplo las mieles que se consumen en Alemania y; tercero, las ventas de altos volúmenes a bajos precios (comodities), como el caso de China, Argentina y otros

países productores.

Para determinar la calidad de la miel existe reglamentación como el codex standar for honey de la miel (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO] y World Health Organization [WHO], 2019). Adicional a lo anterior está la comisión internacional de la miel (International Honey Commission) que define los requerimientos de calidad y determina los criterios de aplicación de procedimientos de evaluación específicos. En Colombia se aplican las normas NTC (1273 de 2007), y la resolución 1057 de 2010 que establecen el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que debe cumplir la miel de abejas para el consumo humano y en particular, los requisitos fisicoquímicos.

A partir del interés de algunos países en cualificar mieles se ha introducido un concepto de calidad, este es el análisis melisopalinológico (Mariotti, 2013), que permite caracterizar las mieles por su origen botánico, regional y por la frecuencia de aparición de los distintos tipos polínicos (Basilio y Noetinger, 2012). La importancia de la melisopalinología, según Espinosa-Cifuentes (2004), radica en que permite establecer el origen botánico de las mieles. Su reconocimiento se hace mediante el análisis al microscópico de los granos de polen presentes en la miel. Esto es posible usando un método de aclaramiento para la observación en microscopio denominado acetólisis (Erdtman, 1943). La acetólisis permite clasificar las mieles en multiflorales o monoflorales de acuerdo con las proporciones botánicas contenidas (Villanueva, 2002). En España y Francia se han aplicado estos procedimientos siguiendo la normativa de la Unión Europea (Consejo de la UE, 2001).

## Materiales y Métodos

Se realizó un censo de 10 marcas de miel que se ofrecen al público en los anaqueles de almacenes de cadena de la ciudad de Bucaramanga (Santander) para el año 2016. A partir de las muestras se hicieron montajes de acuerdo con la metodología de Acetólisis de Erdtman (1943) y que según Fonnegra (2005) es frecuentemente empleada en los estudios paleopalinológicos y palinotaxonómicos; esta técnica es efectiva debido a que facilita la degradación de la intina y el protoplasma del grano de polen, permaneciendo solamente la pared externa de esporopolenina (exina). Con esta técnica, dicha pared se vuelve transparente, permite el paso de la luz,

facilitando la observación de los detalles de estructura y escultura de esta.

### El método aplicado

1. Se disolvió en un tubo falcon 10 ml de miel correspondiente a cada muestra en 30 ml de agua destilada caliente (a 40 °C aproximadamente), agitando con una varilla de vidrio hasta que la solución se observó homogénea.

2. La solución se distribuyó en 6 tubos y se centrifugó a velocidad media (3 000 rpm) durante 3 minutos (se utilizó una centrífuga clínica modelo C.L., de International Equipment Co., con velocidad de 1 a 7, RCF: 1350 xg, Velocidad máxima: 3 400 RPM, Control de velocidad y tiempo: Digital).

3. El sobrenadante se descartó y al precipitado de cada tubo se adicionó 0,5 ml de ácido acético glacial (3 ml total en los 6 tubos falcon); se agitó con la varilla de vidrio y a continuación se vació el contenido de los 6 tubos en uno solo. Se centrifugó a velocidad media durante 3 minutos y se descartó el sobrenadante nuevamente.

4. En cámara de extracción, al precipitado se agregaron 2 ml de solución de acetólisis (9 partes de ácido acético anhídrido por 1 parte de ácido sulfúrico concentrado). Su acción corrosiva degrada los componentes orgánicos con excepción de la exina de los granos de polen. Se puso el tubo al baño María durante 3 a 5 minutos, agitando periódicamente; luego se centrifugó a igual velocidad (3 000 rpm) y se descartó el sobrenadante.

5. El precipitado se mezcló con 2 ml de ácido acético glacial, se centrifugó a la misma velocidad y nuevamente se decantó.

6. Se agregó 2 ml de agua destilada, se agitó con la varilla de vidrio, se centrifugó a velocidad media y se descartó el sobrenadante.

7. El precipitado se agitó y se lavó con alcohol al 70 % a 3 000 rpm (2-3 ml), repitiendo el procedimiento dos veces con alcohol al 95 % o superior.

8. Los tubos falcon con las muestras de polen se ubicaron en una gradilla en posición vertical; posteriormente se eliminó el sobrenadante y se realizó el montaje con el sedimento de cada muestra de forma semipermanente utilizando el método glicerogelatina fucsina, que posibilita la observación al

microscopio cubriendo con cubreobjetos y presionando para sacar las burbujas de aire. Se sellaron con esmalte transparente en los bordes evitar que se secan las placas con el contenido en ellas.

9. La glicerogelatina fucsina contiene en su fórmula de preparación: 50 ml de glicerina, 7 g de gelatina, 1 g de fenol y una pequeña cantidad de fucsina básica diluidos en 42 ml de agua destilada, mezclada con agitador eléctrico en campana de gases debido al carácter tóxico del fenol. Antes de su uso se calentó en baño María para su ubicación en las placas portaobjeto.

10. Se usó tres placas por marca de miel para observar la presencia de polen. Luego se procedió al conteo de 500 granos de polen por placa recorriendo en zigzag cada una de las placas, mediante microscopio óptico regular objetivo 100x x 10x con aceite de inmersión.

11. En una tabla, de manera manual, se relacionaban las frecuencias de cada grano de polen diferente encontrado en el recorrido por placa (500) y totalizando los 1 500 para las tres placas.

12. Posteriormente se obtuvo un promedio por familia-género diferente en cada una de las placas sobre los 1 500 granos de polen contados correspondientes a dichas placas. Los granos de polen contenidos en las muestras se observaron utilizando un microscopio óptico con cámara incorporada con la cual se tomaron las microfotografías (Leica DMLS2). Para determinar si una miel es monofloral se aplicó el criterio que, según Córdova-Córdova *et al.* (2013), el tipo de polen, que caracteriza la miel, debe estar presente en el sedimento en un 45 %.

13. Se relacionó y se separó cada grano de polen comparándolo con catálogos palinológicos de la literatura existente en Colombia. Dependiendo del tipo de granos de polen obtenidos por placa, se realizó la valoración porcentual en proporción sobre 1 500 granos de polen contados correspondientes a dichas placas.

### Resultados

A partir del análisis de las muestras se obtuvo un porcentaje de presencia de polen en un 45 % de las muestras del censo (tabla 1). En las muestras del 1 al 5 no se observó algún grano de polen. A partir de la muestra 6 se percibió la presencia de polen.

En la tabla 1 se identifica y se relacionan las figuras de acuerdo con su contenido por muestra. En la figura 1 se pueden observar las fotografías de los granos de polen documentados en estos resultados. Las 5 muestras que presentaron mayor riqueza o abundancia fueron respectivamente la 7a, 8a, 6a 9a y 10a, que corresponde a las familias Moraceae, Apiaceae, Muntingiaceae, Asteraceae y Brassicaceae respectivamente, todas de flora endémica colombiana. Además, se encontró que las muestras 6a, 7a, 8a y 9a se consideran como monoflorales, pues tenían una familia por encima del 45 % (tabla 1).

## Discusión

Al analizar las muestras, en algunas se obtuvo un porcentaje del 45 % de presencia de polen (ver tabla 1), infiriéndose con ello

que la miel comercializada en la ciudad de Bucaramanga posiblemente puede estar adulterada. Esto ocurre particularmente con mieles invertidas o mieles de azúcar, lo que está de acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR, 2018), cuando afirman que productos como la miel de abejas, son frecuentemente falsificados y adulterados. Esta situación establece espacios de investigación que pueden aportar para el control de la calidad de la miel, incentivando y garantizando el consumo de productos auténticos. Los resultados aquí presentados no son comparables con estudios que hayan usado la melisopalínología, como herramienta para determinar la existencia de origen botánico a partir de la detección de polen en mieles comercializadas, pues en Colombia no se evidenciaron dichos trabajos, al momento de revisar la literatura disponible.

Tabla 1. Distribución porcentual e Identificación taxonómica de los granos de polen identificados en cada muestra. \*NA no aplica. \*\* de 1 500 granos de polen contados

Marca	Figura	Familia	GéneroEspecie	(%)**	Referencia
1-2-3-4-5	0			0	NA*
	6a	Muntingiaceae	<i>Fraxinuschinensis</i> .	45	(Montoya-Pfeiffer, 2014)
	6b	Piperaceae	<i>Piper</i> sp.	30	(Nates-Parra <i>et al.</i> , 2013)
6	6c	Arecaceae	<i>Bactris pilosa</i>	10	(Rangel <i>et al.</i> , 2021)
	6d	Cyclanthaceae	<i>Carludovica palmata</i>	5	(Montoya-Pfeiffer, 2014)
	6e	Asteraceae	<i>Achyrocline lehmannii</i>	10	(Velásquez <i>et al.</i> , 2016)
	7a	Moraceae	<i>Poulsenia armata</i>	70	(Montoya-Pfeiffer, 2014)
7	7b	Urticaceae	<i>Cecropia</i> spp	30	(Valencia-Cardona y Velásquez-Ruiz, 2014)
	8a	Apiaceae	<i>Azorella aretioides</i>	65	(Velásquez y Rangel, 1995)
8	8b	Mimosoidae	<i>Mimosa</i> spp	30	(Valencia-Cardona y Velásquez-Ruiz, 2014)
	8c	Arecaceae	<i>Aiphanes hirsuta kalbreyeri</i>	5	(Rangel <i>et al.</i> , 2021)
	9a	Asteraceae	<i>Critonia morifolia</i> .	45	(Montoya-Pfeiffer, 2014)
9	9b	Asteraceae	<i>Chrysanthemum</i> sp.	30	(Ortiz-de-Boada y Nates-Parra, 1987)
	9c	Mimosoidae	<i>Mimosa</i> spp	25	(Valencia-Cardona y Velásquez-Ruiz, 2014)
	10a	Brassicaceae	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	37	(Velásquez y Rangel, 1995)
10	10b	Asteraceae	<i>Critonia morifolia</i> .	32	(Montoya-Pfeiffer, 2014)
	10c	Asteraceae	<i>Chrysanthemum</i> sp.	31	(Ortiz-de-Boada y Nates-Parra, 1987)

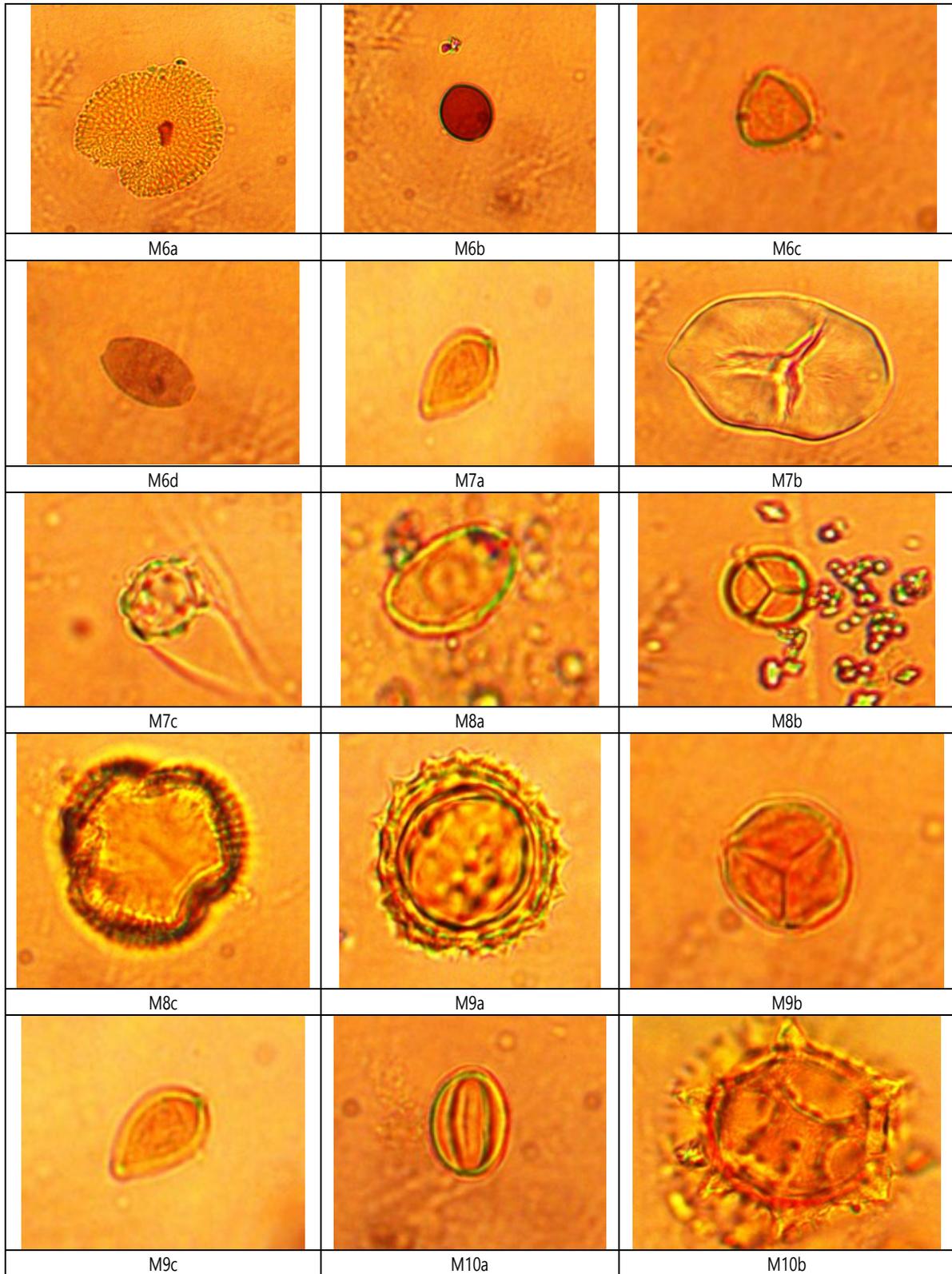


Figura 1. Muntingiaceae (*Fraxinus chinensis*) (M6a), Piperaceae (*Pipersp.*) (M6b), Cyclanthaceae (*Carludovica palmata*) (M6c), Moraceae (*Poulsenia armata*) (M6d), Urticaceae (*Cecropia* spp) (M7a), Asteraceae (*Achyrocline lehmannii*) (M7b), Apiaceae (*Azorella aretioides*) (M7c), Mimosoidae (*Mimosa* spp) (M8a), Arecaceae (*Aiphanes hirsuta kalbreyeri*) (M8b), Asteraceae (*Critonia morifolia*) (M8c), Asteraceae (*Chrysanthemum* sp.) (M9a), Mimosoidea (*Mimosa* spp) (M9b), Brassicaceae (*Capsella bursa-pastoris*) (M9c), Asteraceae (*Critonia morifolia*) (M10a), Asteraceae (*Chrysanthemum* sp.) (M10b). Aumento 1 000X

Los artículos consultados, que incluyen a la melisopalinología como método, no reportan la ausencia de polen en términos porcentuales en muestra alguna, solo reportan estudios y descripciones específicamente de los granos de polen mediante estudios de tipo vertical y sin seguimiento evidente en el tiempo (estudios horizontales) y el contenido para muestras particulares (Corral, 1984; Ortiz-de-Boada y Nates-Parra, 1987; Nates-Parra *et al.*, 2013; Montoya-Pfeiffer *et al.*, 2014).

A pesar de no haber encontrado otros estudios sobre miel comercializada, se comparó los hallazgos con las evaluaciones melisopalinológicas de miel extraída directamente de las colmenas y publicadas en Colombia en los últimos 40 años y se encontró que, contrario a dichos estudios, en las muestras analizadas se evidenció poca variabilidad de especies o morfotipos. En este estudio se identificaron 10 familias botánicas en total y máximo por muestra, mientras que, en otros estudios, estas fueron mayores. En Montoya-Pfeiffer *et al.*, (2014) se encontraron 122 especies distribuidas en 54 familias, 59 especies correspondientes a morfotipos encontrados en miel de *Apis mellifera* producida en la Sierra Nevada de Santa Marta. Por su parte, Corral (1984) hallaron 32 tipos diferentes de granos de polen distribuidos en 21 familias y 26 géneros usando un análisis polínico aplicado en siete muestras de miel de abejas procedentes de siete municipios diferentes del departamento de Antioquia entre 1981 y 1982; Ortiz-de-Boada y Nates-Parra (1987) describieron 14 especies vegetales en miel de *A. mellifera* en tres apiarios de la Sabana de Bogotá, destacándose las familias Myrtaceae *Eucalyptus globulus*, Caprifoliaceae *Sambucus nigrum* como las especies con mayor frecuencia en la miel multifloral de 3 apiarios. Girón-Vanderhuck (1995) identificó 91 tipos polínicos en muestreos mensuales de polen y de miel biche en el municipio de Salgar (Antioquia). Concluye en su estudio que *A. mellifera* utiliza una gran cantidad de recursos florales como fuente de polen y néctar y la utilización de cada recurso fue en proporciones menores del 10%. *C. arabica*, *M. pudica* y *M. albida* fueron las especies más frecuentadas por las abejas durante todo el año. La mayoría de los tipos polínicos identificados pertenecían a las familias Asteraceae (Compositae), Leguminosae, Poaceae (Gramínea), Euphorbiaceae y Rubiaceae, y una proporción de estas plantas son hierbas, bejucos o arbustos que permanecen florecidos durante todo el año y abundan en barrancos, bordes de carretera y caminos.

En otro estudio, Nates-Parra *et al.* (2013) reportaron el hallazgo de 297 especies distribuidas en 69 familias al utilizar marcadores

palinológicos para caracterizar el origen geográfico y botánico de mieles provenientes de los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Santander y Magdalena, analizando 184 muestras de miel procedentes de 131 apiarios. Por su parte, Valencia-Cardona y Velásquez-Ruiz (2014) realizaron la caracterización palinológica de diez muestras de miel de la abeja *A. mellifera* en el año 2011. Las muestras fueron tomadas del apiario asociado al Laboratorio de Investigaciones Melitológicas y Apícolas (LIMA) de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín; el análisis cualitativo y cuantitativo del espectro polínico identificó que el 16 % del total de los taxa a nivel de especie, 37 % fue asociado a un género, 42 % a familia y 5 % a subfamilia.

De acuerdo con los resultados expuestos se evidencia el potencial que tiene la melisopalinología para diferenciar las mieles comercializadas, como se hace en España y Francia. La importancia de ampliar este tipo de estudios se reflejará en el hecho de establecer protocolos regularizarlos y generalizarlos en Colombia, hecho que le dará un valor agregado a la miel, incidiendo en los ingresos de los apicultores y generando un estímulo para que se aumente la producción (Ministerio de agricultura y desarrollo rural [MDADR], 2020b; Sánchez *et al.*, 2013), redundando en la capacidad para competir en el contexto internacional, debido al valor agregado en la miel (Mariotti, 2013).

De los resultados presentado se infiere que de las 5 muestras con presencia de granos de polen la composición en ellas no era igual, lo que sugiere que el procedimiento puede ofrecer al productor apícola elementos para iniciar un proceso de obtención de la denominación de origen. Esto puede ser aprovechado para mejorar los precios de la miel y por tanto generar más ingresos. En otras palabras, se tendría un potencial económico favorable para los productores agropecuarios (Espinosa-Cifuentes, 2004) Pero esto solo será posible a través de la implementación de protocolos de control de calidad de tipo longitudinal, que contemplen en particular la evaluación de factores como la variabilidad climática en el tiempo y en el espacio permitiendo así mismo evaluar la diversidad de la miel en un contexto determinado, como los implementados en los países donde se realiza la denominación de origen protegida.

## Conclusiones

Se identificó una brecha de conocimiento relacionada con la caracterización de las mieles comercializadas en Colombia, este

hecho pone de manifiesto la necesidad de formular una propuesta o procedimiento para abordar la melisopalinología como un ejercicio académico y riguroso que deberían emprender los apicultores, acompañados de la academia, mediante el diseño de una propuesta de línea de investigación que masifique esta práctica, a través de un programa de enseñanza que prepare al apicultor para leer su entorno y reconocer científicamente morfologías botánicas presentes en las mieles, abriendo la posibilidad a cualificar la producción apícola.

Los resultados mostraron que las especies botánicas Moraceae (70 %), Apiaceae (65 %) Cyclanthaceae (5 %), y Arecaceae (5 %) fueron más abundantes y menos abundantes respectivamente con respecto de la presencia de polen en la miel de abejas analizadas, esto permite inferir la variabilidad de origen botánico de dichas mieles constituyéndose como un gap de conocimiento que, debidamente abordado, se convertirá en oportunidades para la realización de estudios acerca del origen geográfico conducente a la obtención de la denominación de origen.

### Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

### Contribución de los autores

Alberto Castellanos Riveros, Freddy Reynaldo Téllez Acuña y Eliécer Pineda Ballesteros: Conceptualización, conceptualización, escritura y edición, desarrollo del diseño metodológico, toma de datos y análisis de datos. adquisición de la financiación.

### Referencias

Basilio, A. M. y Noetinger, M. (2012). Análisis polínico de mieles de la región Chaqueña: comparación del origen floral entre las zonas; domo central y esteros, cañadas y selvas de ribera. *Revista investigaciones agropecuarias. RIA*, 32(002).127-134. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86431209>

Córdova-Córdova, C. I., Ramirez-Arriaga, E., Martínez-Hernández, E. y Zaldívar-Cruz, J. M. (2013). Caracterización botánica de miel de abeja (*Apis mellifera* L.) de cuatro regiones del estado de Tabasco, México, mediante técnicas melisopalinológicas. *Universidad y ciencia*, 29(1), 163-178.

Corral, B. H. (1984). Análisis polínico en muestras de miel de abejas en algunas regiones del departamento de Antioquia. *Actualidades Biológicas*, 13(49), 56-66. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.330253>

Directiva 2001/110/CE del Consejo de 2001. (2001, 20 de diciembre). Consejo de la Unión Europea. Diario Oficial No L 010. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001L0110>

Egea-Hernández, L. M., Rodríguez-Zárate, D. M., Peña-Sáenz, J. E. y Laverde-Rodríguez, J. C. (2010). *Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de las abejas y la apicultura en Colombia con énfasis en miel de abejas*. Giro Editores Ltda.

Erasso-Arango, N. y Montoya-Restrepo, L. A. (2011). Análisis de percepción de marca Producto Miel de Abejas en el mercado de Bogota. *Poliantea*, 7(12), 131-148.

Erdtman, G. (1943). *An Introduction to Pollen Analysis. A new series of plant science books*. Chronica Botanica Company.

Espinosa-Cifuentes, N. (2004). *Caracterización de la flora apícola visitada por cinco Especies de abejas sin aguijón en el meliponario Sinai, Aldea San Antonio las flores, Pajapita, San Marcos. Ciudad de Guatemala*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Biblioteca Central USAC. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2060.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2060.pdf)

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO] and World Health Organization [WHO]. (2019). *Codex Alimentarius Standard for Honey*. Ref. Nr. CL 1993/14-SH. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/en/>

Fonnegra, C. (2005). *Introducción a la palinología. Métodos de estudio palinológico*. Universidad de Antioquia.

Girón-Vanderhuck, M. (1995). Análisis palinológico de la miel y la carga de polen colectada por *Apis mellifera* en el suroeste de Antioquia, Colombia. *Boletín Museo Entomológico Universidad del Valle*, 3(2), 35-54. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/4697>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (2007). *Miel de abejas* (NTC 1273:2007).

Laverde, J. C., Egea, L. M., Rodriguez, D. M. y Peña, J. E. (2010). *Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico*

- para la cadena productiva de las abejas y la apicultura en Colombia con énfasis en miel de abejas. Giro Editores Ltda.
- Mandal, M. D. y Mandal, S. (2011). Honey: its medicinal property and antibacterial activity. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 1(2). 154-160. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(11\)60016-6](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(11)60016-6)
- Mariotti, C. (2013). Indicación geográfica y denominación de origen. Alternativas para agregar valor a la miel. Oficina de estudios y políticas agrarias (ODEPA). <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/70075/Indicacion-geografica-DO-miel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2020a). *Cadena de las Abejas y la Apicultura*. Dirección de Cadenas Pecuarias, Pesqueras y Acuícolas.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2018). *Cadena productiva de las abejas y la apicultura. Cifras sectoriales 2018*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Apicola/Documentos/2018-12-30%20Cifras%20sectoriales.pdf>
- Ministerio de agricultura y desarrollo rural [MDADR]. (2020). *Cadena de las Abejas y la Apicultura (CPAA). Dirección de Cadenas Pecuarias, Pesqueras y Acuícolas. 1° Trimestre 2020*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Apicola/Documentos/2020-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Montoya-Pfeiffer, P. M., León-Bonilla, D. y Nates-Parra, G. (2014). Catálogo de polen en mieles de *Apis mellifera* provenientes de zonas cafeteras en la Sierra Nevada de Santa Marta, Magdalena, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 38(149). 364-384. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-39082014000400003](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082014000400003)
- Nates-Parra, G., Montoya, P. M., Chamorro, F. J., Ramirez, N., Giraldo, C., Obregón, D. (2013). Origen Geográfico y Botánico de mieles de *Apis mellifera* (Apidae) en cuatro departamentos de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 18(3), 427-438. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/38290>
- Ortiz-de-Boada, D. y Nates-Parra, G. (1987). Procedencia Botánica del Polen de la Miel Almacenada por *Apis mellifera* en Alrededores de la Sabana de Bogotá II: Polen en la Miel. *Agronomía Colombiana*, 4, 39-42. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/33761>.
- Rangel, J. O., Bogotá, R. G. y Jimenez, L. C. (2021). Atlas Palinológico de la Amazonia Colombiana IV. Familia Arecaceae. *Caldasia*, 23(1): 281-300.
- Resolución 1057 de 2010. (2010, 25 de marzo). Ministerio de la Protección Social. Diario Oficial No 47.662.
- Sánchez, O. A., Castañeda, P. C., Muños, G., Tellez, G. (2013). Aportes para el análisis del sector apícola colombiano. *Cienciagro*, 2(4). 469-483. [http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/pdf/rca/v2n4/v2n4\\_a05.pdf](http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/pdf/rca/v2n4/v2n4_a05.pdf)
- Sanchez, C., Castignani, H. y Rabaglio, M. (2018). *El Mercado Apícola Internacional*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_cicpes\\_instdeconomia\\_sanchez\\_mercado\\_apicola\\_internacional.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_cicpes_instdeconomia_sanchez_mercado_apicola_internacional.pdf)
- Valencia-Cardona, L. O. y Velásquez-Ruiz, C. A. (2014). Caracterización palinológica de mieles del apiario del laboratorio de investigaciones melitológicas y apícolas de la universidad de Colombia sede Medellín. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 3(1). 19-40. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rfc/article/view/49302>.
- Velásquez, C.A., Gil, J. H. , Urrego, J. F., Durango, D., Castañeda, I. M., 2016. Análisis Palinológico y Físicoquímico de Miel de Abejas (*Apis mellifera* L.) Procedente de Algunos Municipios del Oriente y Suroeste de Antioquia (Colombia). *Revista de la Facultad de Ciencias*. 5(2): 65-87.
- Velázquez R, C. A. y Rangel CH., J. O. (1995). Atlas Palinológico de la Flora Vascular del Páramo I, las Familias más Ricas en Especies. *Caldasia*, 17(82-85):509-568.
- Villanueva, R. (2002). Polliferous plants and foraging strategies of *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) in the Yucatán Peninsula. *Revista de Biología Tropical*, 50(3-4). 1035-1044.
- Woodcock, T., Downey, G. y O'Donnell C. P. (2009). Near infrared spectral fingerprinting for confirmation of claimed PDO provenance of honey. *Food Chemistry*. 114(2). 742-746. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.034>