



ISSN L 2710-7647

VOL.34, N° 1, enero-junio 2025

SCIENTIA

REVISTA DE
INVESTIGACIÓN DE LA
UNIVERSIDAD DE PANAMÁ

Ciencias Naturales y Exactas, Ciencias de la Tierra,
y Ciencias Computacionales





Vol. 35, N.º 1, enero-junio, 2025

ISSN L 2710 - 7647

<https://revistas.up.ac.pa/index.php/scientia/>



**REVISTA DE INVESTIGACIÓN DE LA
UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**

VOL.35, N° 1

ENERO-JUNIO 2025

<https://revistas.up.ac.pa/index.php/scientia/>



**AUTORIDADES DE LA
UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**

Dr. Eduardo Flores Castro
Rector

Dr. José Emilio Moreno
Vicerrector Académico

Dr. Jaime Javier Gutiérrez
Vicerrector de Investigación y Postgrado

Mgter. Arnold Muñoz
Vicerrector Administrativo

Mgter. Mayanin Rodríguez
Vicerrectora de Asuntos Estudiantiles

Mgter. Ricardo Him
Vicerrector de Extensión

Mgter. Ricardo A. Parker
Secretario General

Mgter. José Luis Solís
Director General de los Centros Regionales Universitarios

COMITÉ EDITORIAL/EDITORIAL COMMITTEE

EDITOR EN JEFE/EDITOR-IN-CHIEF

Jaime A. Rivera Solís

Universidad de Panamá, Geomorfólogo Ccambio, COIBA. Centro de Capacitación, Investigación y Monitoreo de Biodiversidad., Centro Regional Universitario - Veraguas, Panamá.

jaime.rivera@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-8265-7836>

EDITORES EMÉRITOS/EMERITUS EDITORS

Alfredo Lanuza-Garay

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario - Colón, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Departamento de Zoología, Panamá.

alfredo.lanusa@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0003-0480-5490>

Alfredo Figueroa Navarro

Universidad de Panamá, Departamento de Sociología, Panamá.

<https://orcid.org/0000-0002-0982-1249>

Héctor Barrios

Universidad de Panamá, Programa Centroamericano de Maestría en Entomología, Panamá.

hector.barriosv@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-0542-1731>

EDITORES CIENTÍFICOS/SCIENTIFIC EDITORS

Orlando O. Ortiz

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Panamá.

orlando.ortiz@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-7805-0046>

EDITORES ASOCIADOS/ASSOCIATED EDITORS

Alessio Papini

Università degli Studi di Firenze (UNIFI), Italia.

Alessio.papini@unifi.it

<https://orcid.org/0000-0001-7904-0336>

Arianna Michelle Hernández Sánchez

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos-IPN, México.

ariannamhs@outlook.com

<https://orcid.org/0000-0001-9045-3537>

Coral Jazvel Pacheco Figueroa

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, DACBiol, México.

coral.pacheco@ujat.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5281-9251>

Eloisa Adriana Guerra Hernández

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, México.

eagh@unam.mx

<https://orcid.org/0000-0003-3710-0884>

Félix Rodríguez

Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI), Panamá.

rodriguezf@si.edu

<https://orcid.org/0000-0002-6015-7945>

Jean Michel Maes

Museo Entomológico de León, Nicaragua.

jmmaes@bio-nica.info

<https://orcid.org/0000-0002-5425-3439>

Luc Legal

Laboratoire Ecologie Fonctionnelle et Environnement, Université Paul Sabatier, Francia/México.

luc.legal@univ-tlse3.fr

<https://orcid.org/0000-0003-0424-2931>

Nathalia Tejedor Flores

Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), Panamá.

nathalia.tejedor@utp.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-0154-1955>

Romina D'Almeida

CONICET, Instituto Superior de Investigaciones Biológicas, Argentina.

rominadalmeida@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5075-6381>

Yehudi Rodríguez

Universidad Marítima Internacional de Panamá (UMIP), Panamá.

nafisay@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-6947-9046>

Yostin Aníño

Universidad de Panamá, Museo de Invertebrados G. B. Fairchild, Panamá.

yostin0660@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-8870-8155>

Yves Basset

Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI), Panamá.

basset@si.edu

<https://orcid.org/0000-0002-1942-5717>

EDITORA ASOCIADA/ ASSOCIATE EDITOR**Damaris V. Tejedor De León**

Universidad de Panamá. Vicerrectoría de Investigación y Postgrado. Oficina de Publicaciones Académicas y Científicas. Panamá

damaris.tejedor@up.ac.pa<https://orcid.org/0000-0002-4350-196X>**SECRETARIA TÉCNICA/ TECHNICAL SECRETARY****Zaira Delgado**

Universidad de Panamá. Vicerrectoría de Investigación y Postgrado. Oficina de Publicaciones Académicas y Científicas. Panamá

zaira.delgado@up.ac.pa<https://orcid.org/0000-0002-0634-714X>**Nellys Muñoz Núñez**

Universidad de Panamá, Facultad de Enfermería, Panamá

nellys.munoz@up.ac.pa<https://orcid.org/0000-0002-2756-2068>**SOPORTE TÉCNICO/TECHNICAL SUPPORT****Edgar Pérez**

Universidad de Panamá. Vicerrectoría de Investigación y Postgrado, Panamá

edgar.perezr@up.ac.pa<https://orcid.org/0000-0002-0466-001X>

INDICE

EDITORIAL 8

Fiddler crab (*Brachyura: Ocypodidae*) inventory from the Parita Gulf, Panama. ¡Error! Marcador no definido.

Cuidado y manejo del perico piqui blanco (*Brotogeris Jugularis*), Panamá, 2023
..... ¡Error! Marcador no definido.

Efecto de la sobreexpresión de CCL1 (I-309) en las espinas dendríticas de neuronas del hipocampo ¡Error! Marcador no definido.

Brote de Leptospirosis, en la comunidad de Nuevo Vigía, provincia de Darién, junio - julio 2022 ¡Error! Marcador no definido.

Valoración de hongos endófitos asociados a la vegetación de senderos en la Reserva Forestal El Montoso, Tres Puntas, Herrera, Panamá..... ¡Error! Marcador no definido.

La tortuga laúd (*Dermochelys Coriacea*) un gigante del pacífico de Panamá en peligro ¡Error! Marcador no definido.

Física emergente: breve exploración de nuevas tendencias en física teórica.... ¡Error! Marcador no definido.

EDITORIAL

La revista **SCIENTIA** tiene por objeto publicar resultados de investigaciones originales e inéditas, en ciencias naturales y exactas, ciencias de la Tierra, y ciencias computacionales. Editada por la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado de la Universidad de Panamá, busca acrecentar y contribuir con el avance del conocimiento científico y tecnológico a nivel nacional e internacional.

En esta primera entrega 2025 ofrece a la comunidad científica (investigadores, profesores, estudiantes y profesionales consumados), cinco (5), artículos científicos inéditos producto del trabajo investigativo y del compromiso académico de los investigadores. Así, en primer plano se destaca el artículo que presenta un inventario actualizado de cangrejos violinistas para el Golfo de Parita, donde se determinaron 22 especies y, se incluye el nuevo reporte de *Leptuca tallanica*, con lo cual se aumenta el número total de especies de cangrejo violinista en el Pacífico panameño a 32 y 39 para el país. Seguidamente, se presenta un estudio cuyo objetivo fue analizar los cuidados y el manejo aplicados a las especies de perico piqui blanco (*Brotozeris jugularis*) capturadas en sitios específicos de la provincia de Los Santos; se aplicó un muestreo no probabilístico a los criadores, y los resultados reflejan que el 90% prefiere criar pericos piqui blanco, aun así, su estado actual de conservación se cataloga vulnerable. Además, esta entrega incluye una importante pesquisa que tuvo por objeto, evaluar el efecto de la sobreexpresión de la proteína CCL1 (I-309) en las espinas dendríticas de las neuronas localizadas en el hipocampo, utilizando, ratas *Sprague Dawley* (N=6) como modelo animal; siendo posible concluir que la sobreexpresión de CCL1 no modifica significativamente la densidad de espinas dendríticas en el hipocampo.

También, contiene una investigación descriptiva cuyo objetivo analizar un brote de Leptospirosis, en la comunidad de Nuevo Vigía, provincia de Darién; donde, el análisis estadístico permitió concluir que los hombres fueron los más afectados, la cefalea fue el síntoma más común y son factores de riesgo: agua almacenada sin protección, existencia de ratones y alimentos en el suelo. Igualmente, en este número resalta una investigación cuantitativa en la cual se evaluó la ocurrencia de hongos endófitos miceliales en vegetación y su relación en anuros, mediante muestreo de hojas e hisopado de anuros a lo largo de los senderos (Río La Villa, Reserva Forestal El Montuoso), y consecuente aislamiento de cepas para identificación taxonómica; concluyendo que, se identificaron 10 géneros, donde el

Lecythophora fue el predominante, además que, los anuros poseen capacidad de transportar esporas de hongos endófitos.

Por otro lado, atendiendo a los tipos de producciones científicas que contempla la revista, se presentan a la comunidad científica dos (2) ensayos producto de importantes investigaciones; en primera instancia, un estudio que indica que la tortuga Laúd es la tortuga marina más grande, y que la subpoblación del Pacífico Oriental Tropical está en peligro crítico de extinción según la UICN, principalmente debido a la disminución de sitios de anidación y la depredación humana y animal de los nidos; en consecuencia, este ensayo da una perspectiva de la situación actual de la tortuga Laúd en el Pacífico panameño, y subraya la urgencia de acciones coordinadas a nivel regional y local para evitar su extinción, protegiendo sus hábitats críticos y reduciendo las amenazas humanas y ambientales. Finalmente, esta entrega concluye con un estudio que discute un breve examen crítico de algunos modelos teóricos populares desarrollados por la comunidad científica dentro del marco de la Física fundamental; haciendo énfasis en que, estos modelos (las String-nets de la Física de Materia Condensada, la Gravedad Cuántica de Lazos, las SuperCuerdas y Branas, la Gravedad Entrópica, el modelo BCJ,... entre otros) desarrollan la hipótesis de que es posible que las leyes físicas actuales pueden derivarse o emerger de entidades físicas mucho más fundamentales que las estudiadas hasta la fecha.

Agradecemos a cada uno de los autores por haber elegido la revista **SCIENTIA** para publicar sus trabajos, así como a la Oficina de Publicaciones Científica y Académicas, de la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado de la Universidad de Panamá por el apoyo brindado, reafirmando el compromiso con la difusión de la ciencia en nuestro país.

Dr. Jaime A. Rivera Solís
Director – Editor

Fiddler crab (*Brachyura: Ocypodidae*) inventory from the Parita Gulf, Panama

Inventario de los Cangrejos Violinista (*Brachyura: Ocypodidae*) en el Golfo de Parita, Panamá

Roberto C. Lombardo González

Universidad de Panamá, Departamento de Biología Marina.
Sistema Nacional de Investigación, Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, Panamá.

roberto.lombardo@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-0279-8621>

Recibido
30/09/2024

Aceptado
25/01/2024

DOI <https://doi.org/10.48204/j.scientia.v35n1.a6621>

Abstract

We present the most recent inventory of fiddler crabs for the Gulf of Parita, covering both ecological and tourist sites of interest. Six sites in the gulf were sampled, where 22 species were identified. The most represented genus was *Leptuca* with 12 species. The inventory includes the new report of *Leptuca tallanica*, increasing the total number of fiddler crab species in the Panamanian Pacific to 32 and to 39 for the country.

Keywords: Carapace, crab, chela, distribution range, Eastern Pacific.

Resumen

Presentamos el inventario más reciente de cangrejos violinistas para el Golfo de Parita en sitios de interés ecológico y turístico. Se muestrearon seis sitios en el golfo, donde se determinaron 22 especies. El género mejor representado fue *Leptuca* con 12 especies. El inventario incluye el nuevo reporte de *Leptuca tallanica*, con lo cual se aumenta el número total de especies de cangrejo violinista en el Pacífico panameño a 32 y 39 para el país.

Palabras claves: Cangrejo, caparazón, Pacífico Oriental, quela, rango de distribución.

Introduction

Fiddler crabs are a typical component of the fauna inhabiting wetlands, mudflats, and mangroves worldwide (Crane, 1975). These crabs belong to the family Ocypodidae and have been the focus of numerous studies on behavior and ecology (Christy, 1987b, 1987a; Christy & Salmon, 1984; Christy & Wada, 2015; Crane, 1966; Kim & Christy, 2015). However, little is known about them in Panama, where most studies have been concentrated in the Panama Canal area (Lombardo, 2023). Fiddler crabs are distinguished by a notable sexual dimorphism: males possess hypertrophied claws with disproportionately robust and elongated manus and dactyls, in contrast to females (Crane, 1975; von Hagen, 1968).

Of the 107 species recognized on the “Fiddler Crabs” website (<http://www.fiddlercrab.info/index.html>) (Rosenberg, 2001, 2014, 2019), 38 are associated with marine-coastal ecosystems in Panama (Crane, 1975; Lombardo, 2022, 2024; Rosenberg, 2019). In Panama’s Pacific region, four genera are recognized: sixteen species belong to *Leptuca*, six to *Uca*, and eight to *Minuca*, along with *Petruca panamensis*, recently reclassified in the genus *Petruca* (Rosenberg, 2014, 2020; Shih et al., 2016; Shih et al., 2015). Some species exhibit cryptic characteristics, such as small size or indistinct coloration, complicating their detection (Crane, 1975; Hendrickx, 1979). This is concerning given the vast variability of coastal-marine landscapes and the changes they are undergoing due to environmental degradation (Lourie & Vincent, 2004) and climate change (Kwiecinski & D’Croz, 2008).

In this context, two possible explanations arise: (1) the presence or absence of species may have changed, or (2) previously unrecorded species may now be present without formal documentation. For this reason, an updated inventory could clarify the presence and distribution ranges of these species, providing a basis for future environmental impact assessments (Silveira et al., 2010).

Since the work of Rathbun (1902) and Crane (1941), reports on fiddler crabs in the Eastern Pacific province have established the presence and distribution of multiple species from Mexico to Peru (Beinlich & von Hagen, 2006; Crane, 1975; Hendrickx, 1979, 1995b, 1995a; Hendrickx & Salgado-Barragán, 1992; Landstorfer & Schubart, 2010; Lazarus & Cantera, 2007; Rathbun, 1902, 1904, 1935; Rosenberg, 2014, 2020; von Hagen, 1968). Recent studies report two new species for Panama: *Minuca osa* (Lombardo, 2022) and *Minuca zaca* (Lombardo, 2024). These discoveries underscore the importance of inventories, which are essential for decision-making in activities that affect biodiversity (Silveira et al., 2010). However, no recent inventories of fiddler crabs exist in Panama, complicating assessments of their population status.

Although fiddler crabs are not part of economically significant fisheries, they play essential ecological roles. They are considered ecosystem engineers (Aschenbroich et al., 2016; Kristensen, 2008) and are critical in energy flow, linking lower and upper trophic levels in mangrove ecosystems (Lindquist et al., 2009; Smith et al., 1991). As primary consumers, they are part of the diet of numerous avian predators (Lombardo González, 2023), making their populations vital for migratory birds. This recognition has been granted by the municipality of Chitré and the Western Hemisphere Shorebird Reserve Network Council (MiAmbiente, 2024).

Furthermore, the burrowing activity of fiddler crabs mixes sediment, increasing oxygen contact (bioturbation), which influences various physicochemical processes (Agusto et al., 2021; Aschenbroich et al., 2016; Booth et al., 2019; Kristensen, 2008). For example, they impact plant recruitment by influencing the distribution of organic carbon in the soil and reducing the salinity of interstitial water (Agusto et al., 2021; Aschenbroich et al., 2016; Griffiths et al., 2007; Lindquist et al., 2009). The environmental services generated by their activity are crucial to the functioning of mangroves, ecosystems internationally recognized for their value to

humanity (Cámara et al., 2004).

Fiddler crabs also have great potential as bioindicators, having been successfully used to detect trace elements and other contaminants (Bartolini et al., 2009; Lavezzo et al., 2020), as well as to assess the impact of human activity in coastal areas (Gül & Griffen, 2019). An updated inventory of fiddler crabs in the Gulf of Parita would allow for monitoring ecosystem conditions and aid in the planning of management measures. Therefore, the objective of this study was to identify the fiddler crab species in ecological and touristic sites of interest within the Gulf of Parita, Panama, Pacific.

Methods

Study site

The Gulf of Parita has a tropical savanna climate (Aw) according to the Köppen climate classification (Beck et al., 2018). Annual temperatures range between 24°C and 30°C, with minimal seasonal variation. The rainy season extends from May to November, characterized by abundant rainfall, especially in October (1,500 to 2,500 mm), and a dry season from December to April, with reduced precipitation. Relative humidity is high during the rainy season, frequently exceeding 80%, while during the dry season it decreases but remains around 60-70% (Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá, 2024).

The gulf includes approximately 15,000 hectares of intertidal mudflats, extending from the South of Antón, in the province of Coclé in the northeast, to the La Villa River, in the provinces of Los Santos and Herrera in the southwest. The Gulf includes three protected areas: the Cenegón del Mangle Wildlife Refuge, the Sarigua National Park, and the Peñón de la Honda Wildlife Refuge. Six rivers flow into Parita Bay: Hondo River, Grande River, Pocrí River, Santa María River, Parita River, and

La Villa River (Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, 1988; MiAmbiente, 2024). This study focused on the sites El Salado de Aguadulce (SA), Playa El Retén (RE), Playa El Agallito (AG), Los Aromos (RO), Playa Las Comadres (CO), and Playa El Uverito (UV). The selection criteria include the diversity of habitats available for fiddler crabs, the importance of the sites for migratory birds, access, and tourist services (Figure 1).

Sampling and species identification

Twenty trips were conducted during 2024, distributed as follows: three to El Salado de Aguadulce (May 12 and 18, June 6), two to Playa El Retén (August 6 and 10), ten to Playa El Agallito (May 19 and 23, June 8, 9, 22, and 29, July 6, 7, and 21, September 2), three to an abandoned shrimp farm in Los Aromos (April 14, May 4 and 18), one to Playa Las Comadres, and one to Playa El Uverito (Figure 1). The sampling methodology consisted of two parts. The first was direct detection of crabs in different habitat types, primarily based on substrate type. For example, stable muddy substrates in mangrove forests, along estuary shores, and sandy-muddy substrates at river mouths on beaches (Backwell et al., 1998; Crane, 1941, 1975). The second part involved photographic documentation of individuals using a camera (Sony Alpha 5100) with macro lenses (Sony 30mm f/3.5) and telephoto lenses (Sony 55-210mm f/4.5-6.3; Tamron 50-400mm f/4.5-6.3). The goal of photography in natural conditions was to maintain a reference of the coloration of individuals, given its importance for identification. Once the image capture and behavioral observations in the field were completed, reference specimens were collected either by burrow excavation or by hand at the surface.

After collection, specimens were transported alive or, if necessary, preserved in 90% alcohol to the Biodiversity Training, Research, and Monitoring Center (CCIMBIO) for processing. The crabs were euthanized by cooling (-4°C) for ten minutes. Following this, the sex of the crabs was determined, and biometric variables

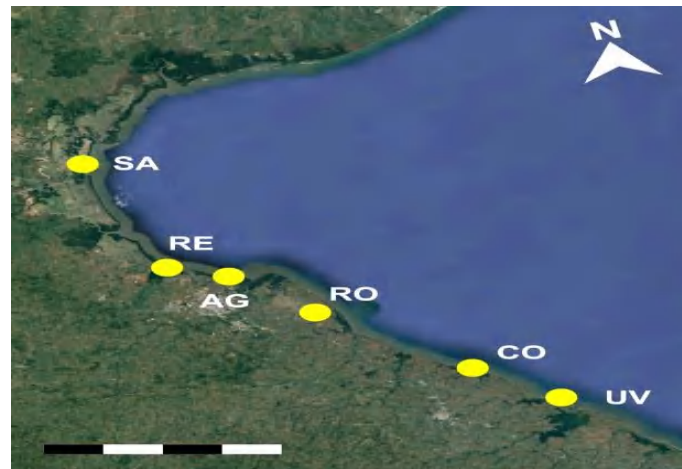
(using a caliper with 0.1 mm precision) such as carapace width (CW), chela height (QH), and chela length (QL) were recorded.

Detailed examination for species identification was carried out using specialized identification keys (Beinlich & von Hagen, 2006; Bott, 1954; Crane, 1941, 1975; Landstorfer & Schubart, 2010; Peters, 1955; Rathbun, 1902, 1904, 1935; Rosenberg, 2019; H. Te Shih et al., 2015, 2016; von Hagen, 1968; von Prael & Toro, 1985).

Additionally, the websites <https://www.fiddlercrab.info/index.html> (Rosenberg, 2014) and <https://www.inaturalist.org/journal/msr/82286-fiddler-crab-guide-pacific-coast-of-the-americas> (Rosenberg, 2023) were consulted for the identification of candidate species. Diagnostic structures were evaluated using a stereoscope (SZ2-ILST) equipped with a mounted digital camera (EP50) and EPview software (Olympus, Japan). Field images were processed for framing and resolution using the open-source program GIMP (ver. 2.10.36).

Figura 1.

Relative location of the sampling sites for fiddler crabs in the Gulf of Parita, Panama, Pacific. Sites include: El Salado de Aguadulce (SA), Playa El Retén (RE), Playa El Agallito (AG), Los Aromos (RO), Playa Las Comadres (CO), and Playa El Uverito (UV). Scale: 20 km.



Results

The presence of 22 species of fiddler crabs was determined, distributed differentially across the six sampling sites. The count includes the four genera reported for the Pacific. The best-represented genus was *Leptuca* with 12 species, followed by *Uca* with five, *Minuca* with four, and *Petruca panamensis* (Table 1). Regarding the genus *Leptuca*, the species *Leptuca tallanica* (von Hagen, 1968) is reported as new to the country (Lombardo, in press). This species increases the number of *Leptuca* species in the Panamanian Pacific to 17. Three species (*L. batuenta*, *L. inaequalis*, and *U. ornata*) were found exclusively at Playa El Agallito, while *Petruca panamensis* was collected only at El Salado.

Species identification

The identification of each species has been confirmed morphologically; however, to facilitate identification for the layman, the following annotated list is meant to aid species identification from field observations highlighting size, shape, structure, color variants and behavioral features which are of diagnostic value (see Annex for figures).

***Leptuca batuenta*:** It is among the smallest of all fiddler crabs (Table 1) and can go unnoticed due to its tiny size. However, it is easy to identify thanks to the distinctive shape of its major chela. Specifically, the pollex has a characteristic tooth pattern, where the pollex curves upward around three-quarters of its length to meet a tooth, then curves downward with a concave edge ending in a point. The claw is generally white, while the limbs tend to be a reddish-brown color (Figure 2). El Salvador to northern Peru.

***Leptuca oesterdi*:** It is distinguished by its unique aqua-blue coloration, which is often observed across the crab's entire front, although it is not always

present on the carapace or visible from the back. The major chela also has a characteristic shape, with a notch at the base of the pollex, followed by an almost straight edge that extends to the tip of the dactylus (Figure 3). El Salvador to Panamá.

Leptuca inaequalis: The major chela is a gray-brown tone, with a dark red/brown spot on the lower edge near the base of the pollex; the fingers are usually white, and an orange tint is often observed along the upper edge of the dactylus. The space between the fingers of the claw is almost always filled with mud due to small hairs on the proximal half of the pollex that trap the mud. The shape of the pollex is not markedly triangular like in *Leptuca saltitanta*, but it has a robust palm with short, thick fingers (Figure 4). El Salvador to northern Peru.

Leptuca tomentosa: Little-known but reasonably distinctive species. The upper edge of the distal section of the pollex on the major chela flattens into a straight edge leading to the tip. It has a marbled carapace in dark and light green tones, with yellow spots; green eye stalks; and a pale claw with light brown on the margins (Figure 5). El Salvador to northern Peru.

Leptuca tallanica: The identification of specimens at two sites in the Gulf of Parita was confirmed by the presence of a moderately wide front, comma-shaped hairy patches on the male carapace, a triangular hairy depression at the base of the pollex, and a strong tuberculate projection on the subdistal section of the pollex (Figure 6). Originally from southern Ecuador to northern Peru.

Leptuca umbratila: A particularly narrow front compared to other species in the *Leptuca* genus. Essentially, its front is only moderately wider than that of other *Uca* species, but without the narrow appearance between the eyes characteristic of those species (Figure 7). The major chela has yellowish to white fingers. Eye stalks are wine-red, and the anterolateral edges are straight and well-defined. El Salvador

to Colombia.

Leptuca festae: It can reach a larger size compared to other species in the *Leptuca* genus, growing up to 15 mm in carapace width. The major chela has disproportionately long fingers compared to other species in its genus (Figure 8). The coloration is generally dull brown or grayish-brown, sometimes almost black, with yellow eye stalks and slight discoloration on the major chela. The waving motion of males is circular, where the claw is raised high. El Salvador to Ecuador.

Leptuca beebei: It is very common in intertidal muddy flat sites. It structurally resembles *Leptuca stenodactylus*. It is more generalist in terms of mud or sand habitats compared to many of the other species described, and it can be confused with several of them. However, in the field, the carapace is often a mix of dull green, blue, or brown, the major chela is frequently a pale gray or white but has a dark purple spot at the base of the pollex, and its eye stalks tend to be yellow (Figure 9). El Salvador to northern Peru.

Leptuca stenodactylus: Similar in size and shape to *Leptuca terpsichores*, it is often found in sandier substrates, where the two species typically overlap. However, it stands out due to its bright coloration: a blue and white carapace, red legs, and a pink or white major chela (Figure 10). El Salvador to Chile.

Table 1

List of fiddler crab species at ecological and tourist sites in the Gulf of Parita, Panama, Pacific. The carapace width (CW) is the average observed. The substrate types include sandy (ARE), sandy-muddy (AFAN), stable mud (FAE), unstable mud (FAI), and rocky intertidal (IROC). The sampling sites are: Salado de Aguadulce (SA), Playa El Retén (RE), Playa El Agallito (AG), Los Aromos (RO), Playa Las Comadres (CO), and Playa El Uverito (UV).

Species	Authority	CW (mm)	Substrate	Sex	Locality
<i>Leptuca batuenta</i>	Crane, 1941	6.7	FAI	♂	AG
<i>Leptuca oesterdi</i>	Rathbun, 1904	11.2	AFAN, FAI	♂	AG, RE
<i>Leptuca inaequalis</i>	Rathbun, 1935	7.5	FAI	♂	AG
<i>Leptuca tomentosa</i>	Crane, 1941	15.3	AFAN, FAE	♂, ♀	SA, AG, RE
<i>Leptuca tallanica</i>	von Hagen, 1968	10.6	AFAN, FAE	♂, ♀	SA, AG
<i>Leptuca umbratila</i>	Crane, 1941	28.9	FAI	♂, ♀	AG, RE, RO, CO
<i>Leptuca festae</i>	Nobili, 1902	11.1	FAE	♂, ♀	AG, RE
<i>Leptuca beebei</i>	Crane, 1941	10.3	FAE	♂, ♀	SA, AG, RE
<i>Leptuca stenodactylus</i>	Milne-Edwards & Lucas, 1843	10.5	ARE, AFAN, FAI	♂, ♀	SA, AG, CO
<i>Leptuca deichmanni</i>	Rathbun, 1935	9.4	ARE, AFAN	♂	CO, UV, AG
<i>Leptuca terpsichores</i>	Crane, 1941	8.4	ARE	♂, ♀	AG, RE, CO
<i>Leptuca latimanus</i>	Rathbun, 1893	12.8	ARE, AFAN	♂, ♀	SA, RO, RE, AG
<i>Uca heteropleura</i>	Smith, 1870	18.9	AFAN, FAE	♂, ♀	SA, RE, AG
<i>Uca intermedia</i>	von Prael & Toro, 1985	12.7	AFAN, FAE	♂	RE, AG
<i>Uca ornata</i>	Smith, 1870	38.7	FAI	♂, ♀	AG
<i>Uca princeps</i>	Smith, 1870	38.3	FAI	♂	AG, RO
<i>Uca stylifera</i>	Milne-Edwards, 1852	21.8	AFAN, FAE	♂, ♀	SA, AG, CO
<i>Minuca argilicola</i>	Crane, 1941	10.6	FAE	♀	CO
<i>Minuca galapagensis</i>	Rathbun, 1902	21.8	FAE	♂, ♀	SA, RE, AG
<i>Minuca herradurensis</i>	Bott, 1954	22.4	AFAN, FAE	♂, ♀	SA, RE, RO
<i>Minuca zacaе</i>	Crane, 1941	10.7	FAE	♂, ♀	RO, RE
<i>Petruca panamensis</i>	Stimpson, 1859	13.5	ARE, IROC	♂, ♀	SA

***Leptuca deichmanni*:** The carapace is mottled in brown and gray tones, blending with the sandy surfaces where it typically inhabits. The front of the crab, around the mouth and eye orbits, is pale blue-gray (Figure 11B) to greenish in juveniles (Figure 11E). The exterior of the major chela is completely white, while the interior can show a mix of dark blues and reds. The tip of the pollex often has a slight concave curve. Like *L. terpsichores* and *L. stenodactylus*, it has a wider opening in

the minor chela compared to other species, such as *L. beebei*. Behavior helps differentiate *L. deichmanni* from other species, as its major chela movement is unique. *Leptuca deichmanni* performs a vertical up-and-down motion with its major chela, with a distinctive pause in the elevated position. Costa Rica to northern Colombia.

***Leptuca terpsichores*:** When males emerge from their burrows, they generally display a mottled brown-reddish color. However, within about 15 minutes, their color changes almost completely to white, except for a hint of pink or purple at the base of the major chela (Figure 12). This is the color observed most of the time. A more subtle trait is found in the minor chela: the opening between the fingers (Figure 12B) is notably large compared to most other species. Southern Guatemala to northern Peru.

***Leptuca latimanus*:** It appears to be a mix between *L. saltitanta* and *L. inaequalis*, although the pollex is not triangular and is somewhat larger. During courtship, its carapace is predominantly white (Figure 13C, D), with dark legs, and its major chela is a dark brown-red color with white tips on the fingers. The major chela has a particularly robust appearance, with a very wide palm and short, thick fingers. When shaking the chela, the inside of the arm may display shades of blue. During courtship, the movement of the major chela is accompanied by a seemingly circular motion of the minor chela in the direction of the lateral movement of the body in 2 or 3 steps. This species, like *L. terpsichores* and *L. beebei*, builds structures (semi-dome) next to the entrance of the burrow associated with courtship activity. Mexico to Ecuador.

***Uca heteropleura*:** In practice, it can be confused with some color variants of *U. princeps*. *Uca heteropleura* has a carapace and legs predominantly red to black (sometimes lightening to white or with slightly more purple tones), with the underside of the major chela red and the dactyl white. Its eye stalks are usually black with a

bright blue base (Figure 14A). The large chela tends to have relatively short and robust fingers, and its exterior surface is often notably rough. During courtship, the "greeting" movement of *U. heteropleura* is very different from that of *U. princeps*, allowing for easy differentiation in the field and even sometimes in photographs. Males of *U. heteropleura* perform their "greeting" by raising the major chela in front of them and elevating their entire body vertically on the tips of their legs, with the chela held above (Figure 14C, D). In contrast, *U. princeps* moves from side to side while keeping the chela extended laterally. El Salvador to northern Peru.

***Uca intermedia*:** It has only been recorded on the coasts of Panama and Colombia, and it appears to be a very rare species; it could only be observed at Playa El Agallito. Nevertheless, its identification in the field should be straightforward, as it is distinguished by being an almost entirely black fiddler crab, with a major chela that is yellow, orange, and red (Figure 15). Panama and Colombia.

***Uca ornata*:** The largest fiddler crabs, distinguishable from the rest by the shape of their major chela, are comparable only to the Atlantic species *U. maracoani*. The chela resembles pruning shears, with large, compressed fingers that meet at a very straight inner edge, while the upper edge of the pollex features a distinctive curvature (Figure 16). The carapace can vary from pale white (male in courtship, Figure 16A) or beige to darker tones of orange or reddish-purple, especially in females. When the crab is not covered in mud, the major chela is usually orange or dark yellow. Unfortunately, *U. ornata* and *U. insignis* (a sympatric species not observed) can be difficult to differentiate, as some distinguishing features are quite subtle. One detail that may help distinguish the males of both species is the mud pattern on the major chela of the crab. Typically, *U. ornata* is completely covered in mud, but even if most of the crab is "clean," the pollex of the major chela is almost never so. This is because the pollex has cavities filled with small hairs that hold onto the mud. This leaves males with a more or less permanent layer of mud on the

underside of the chela. In contrast, *U. insignis* has little hair on the exterior of its pollex, so it tends not to remain uncovered. El Salvador to northern Peru.

***Uca princeps*:** The most common colors in this species are pale yellow and orange, with some touches of white. The carapace of adults is usually reddish or yellow, sometimes lightening to white (Figure 17F). The ambulatory appendages tend to be more of an orange-yellow hue, while the major chela is generally a more intense orange, with the pollex and dactyl being white. The major chela of *U. princeps* typically features fingers that are longer than the palm, whereas in other species, the fingers are usually the same length or shorter than the palm. Southern California (USA) to Peru.

***Uca stylifera*:** Males of the species are easily distinguished by a long stylus that protrudes from the eye on the same side as the major chela; this stylus is approximately the same length as the rest of the ocular peduncle (Figure 18A, C-E). Although *U. intermedia* and *U. heteropleura* may have styluses, these are considerably shorter. Males have a carapace that varies from yellow to white, yellow eyes, orange-reddish to purple legs, and a major chela with an orange pollex and a white dactyl. Females of *U. stylifera* (Figure 18F) are somewhat more difficult to distinguish, as they lack the stylus and typically have a brown to dark purple coloration; they are more easily identified by their association with the males. El Salvador to northern Peru.

***Minuca argilicola*:** A little-known species, relatively small (~1 cm), predominantly beige with a slightly darker and shorter major chela. In the field, it is characterized by being very lethargic and inactive. Morphologically, the species has a rather generic appearance, somewhat similar in color to *M. galapagensis*, although the latter can reach larger sizes with a longer major chela. In this inventory, only the female of the species was observed at a single site, in the mangroves at the mouth of a creek in Playa Las Comadres (Figure 19). Costa Rica to Colombia.

Minuca galapagensis: A species with color polymorphism in at least three variants, two of which are reported in this inventory: the white variant (Figure 20) and the red variant (Figure 21). The olive-green variant with a yellow major chela was not observed. *Minuca galapagensis* appears to be one of the few species in the genus that is predominantly white. The "canonical" coloration of this species is mostly white to light beige, with a more intense yellow major chela, sometimes orange or red. Some individuals may be a more muted brown, orange, or a mix, complicating their identification, as they begin to resemble other *Minuca* species closely. Costa Rica to Ecuador; Galápagos Islands.

Minuca herradurensis: It is similar to *M. galapagensis*, but lacks the striking white color, instead showing a more "pale cream" tone and without a red morphotype. The carapace is gray or beige, with a major chela that is light brown or gray, with orange, yellow, or pink hues, and the distal half of the pollex is white. The upper surface of the manus of the major chela is usually covered with visible tubercles, while the underside has a noticeably smoother appearance (Figure 22). El Salvador to Panamá.

Minuca zaca: This is a small species (~1 cm) with a thick chela and relatively short fingers. Its carapace has a black base, with shiny gold and copper streaks and spots (Figure 23B), while the chela varies from a red-brown to an orange-pink hue, with white-tipped fingers. It is similar to *Leptuca pygmaea*, a species not observed in this inventory; however, the size and shape of the chela should be sufficient to differentiate them in the field. Originally, Mexico to Costa Rica.

Petruca panamensis: The only species of fiddler crab in the world that predominantly lives in rocky intertidal zones. Its carapace is flatter than in other species, and its major chela is notably smooth, lacking many armor details or teeth. It generally exhibits solid colors, usually light or dark gray. The major chela is often

beige, with a white pollex; however, the upper edge of the pollex is noticeably darker than the rest of the finger. El Salvador to northern Peru.

Among the species reported for the Panamanian Pacific but not observed in the present inventory are: *Leptuca dorotheae*, *Leptuca limicola*, *Leptuca pygmaea*, *Leptuca saltitanta*, *Leptuca tenuipedis*, *Minuca brevifrons*, *Minuca ecuadoriensis*, *Minuca osa*, and *Uca insignis*.

Discussion

Of the 107 species listed on the "Fiddler Crabs" website (<http://www.fiddlercrab.info/index.html>) (Rosenberg, 2014, 2019), 38 are associated with marine-coastal ecosystems in Panama (Crane, 1975; Lombardo, 2022; Shih et al., 2016). In the Caribbean, seven species are identified across three genera: four from the genus *Minuca*, two from the genus *Uca*, and *Leptuca thayeri*. In the Panamanian Pacific, four genera are recognized, with sixteen species from the genus *Leptuca*, six from the genus *Uca*, and eight from the genus *Minuca*, in addition to *Petruca panamensis*, which has been reclassified into the new genus *Petruca* (Rosenberg, 2014, 2020; Shih et al., 2015). However, this work includes the report of *Leptuca tallanica* (in press), another new species of fiddler crab for Panama, originally described in Puerto Pizarro, Peru (von Hagen, 1968) and in Puerto Bolívar, Ecuador (Crane, 1975). This tally updates the total number of fiddler crab species to 32 for the Pacific and 39 for the country. This overview suggests that, due to the scarcity of studies and the potential to employ phylogenetic techniques, the number of species could increase in the coming years.

The species reported for the region that could not be observed consist of a group of taxonomically difficult species to identify without detailed morphological analysis and others that are uncommon. In this scenario, the distribution of fiddler crab species largely depends on salinity and substrate type (Arruda et al., 2006;

Mokhtari et al., 2015; Peer et al., 2018; Thurman et al., 2013). For example, in our sampling sites, there were no tall mangrove areas and stabilized sandy-mud sediments, which are usually dominated by species of the genus *Minuca* (Crane, 1975; Lombardo, 2022). Likewise, *P. panamensis* is only found on rocky substrates. Only in El Salado was a segment of rocky intertidal observed in proximity to a mudflat and mangrove edge, which is why it was not seen at the other sampling sites. Although determining differences in diversity between sites was not our objective, habitat availability may have been an important factor in the results of our inventory, as there are fiddler crabs highly specialized to different physical characteristics of the environment (Peer et al., 2018; Thurman et al., 2013).

This study highlights the importance of comprehensive inventories to update lists and clarify the distribution ranges of fiddler crab species, which is fundamental to guiding future biodiversity conservation efforts (Silveira et al., 2010).

Conclusion

The presence of 22 species of fiddler crabs was determined. The count includes the four genera (*Leptuca*, *Minuca*, *Uca*, and *Petruca*) reported for the Eastern Pacific Realm. The best-represented genus was *Leptuca*, with 12 species.

Acknowledgements

We thank Carl Thurman, Hsi-Te Shih, John Christy, and Michael Rosenberg for preliminarily evaluating the images of specimens, the anonymous reviewers for their comments on the manuscript, and Virgilio Villalaz for directions to the site at Los Aromos.

Bibliographical References

- Agusto, L. E., Fratini, S., Jimenez, P. J., Quadros, A., & Cannicci, S. (2021). Structural characteristics of crab burrows in Hong Kong mangrove forests and their role in ecosystem engineering. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106973>
- Arruda, L. E., Braga, C., Ximenes, G., & Matthews-Cascon, H. (2006). Spatial distribution of fiddler crabs (genus *Uca*) in a tropical mangrove of northeast Brazil. *Scientia Marina*, 70(4), 759–766. <https://doi.org/10.3989/scimar.2006.70n4759>
- Aschenbroich, A., Michaud, E., Stieglitz, T., Fromard, F., Gardel, A., Tavares, M., & Thouzeau, G. (2016). Brachyuran crab community structure and associated sediment reworking activities in pioneer and young mangroves of French Guiana, South America. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 182, 60–71. <https://doi.org/10.1016/J.ECSS.2016.09.003>
- Backwell, P. R. Y., O'Hara, P. D., & Christy, J. H. (1998). Prey availability and selective foraging in shorebirds. *Animal Behaviour*, 55(6), 1659–1667. <https://doi.org/10.1006/anbe.1997.0713>
- Bartolini, F., Penha-Lopes, G., Limbu, S., Paula, J., & Cannicci, S. (2009). Behavioural responses of the mangrove fiddler crabs (*Uca annulipes* and *U. inversa*) to urban sewage loadings: Results of a mesocosm approach. *Marine Pollution Bulletin*, 58(12), 1860–1867. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2009.07.019>
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future köppen-geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- Beinlich, B., & von Hagen, H. O. (2006). Materials for a more stable subdivision of the genus *Uca* Leach. *Zoologische Mededelingen*, 80(4), 9–32. <http://www.repository.naturalis.nl/document/41396>
- Booth, J. M., Fusi, M., Marasco, R., Mbobo, T., & Daffonchio, D. (2019). Fiddler crab bioturbation determines consistent changes in bacterial communities across contrasting environmental conditions. *Scientific Reports*, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40315-0>
- Bott, R. (1954). Dekapoden (Crustacea) aus El Salvador. 1. Winkerkrabben (*Uca*). *Senckenbergiana Biologica*, 36(3/4), 155–180.
- Cámara, R., Díaz del Olmo, F., Martínez, J. R., Morón, M., Gómez-Ponce, C.,

- Tabares.E., & Vega, A. (2004). *Directrices de gestión para la conservación y desarrollo integral de un humedal centroamericano: Golfo de Montijo (litoral del Pacífico, Panamá)*.
- Christy, J. H. (1987a). Competitive mating, mate choice and mating associations of brachyuran crabs. *Bulletin of Marine Science*, 41(2), 177–191.
- Christy, J. H. (1987b). Female choice and the breeding behavior of the fiddler crab *Uca beebei*. *Journal of Crustacean Biology*, 7(4), 624–635.
- Christy, J. H., & Salmon, M. (1984). Ecology and evolution of mating systems of fiddler crabs (Genus *Uca*). *Biological Reviews*, 59(4), 483–509. <https://doi.org/10.1111/J.1469-185X.1984.TB00412.X>
- Christy, J. H., & Wada, K. (2015). Social ethology in Brachyura. In P. Castro, P. Davie, D. Guinot, F. Schram, & C. von Vaupel Klein (Eds.), *Treatise on Zoology - Anatomy, Taxonomy, Biology. The Crustacea, Volume 9 Part C* (Vol. 9, pp. 417–468). BRILL. https://doi.org/10.1163/9789004190832_010
- Crane, J. (1941). Eastern Pacific expeditions of the New York Zoological Society. XXVI. Crabs of the genus *Uca* from the west coast of Central America. *Zoologica; Scientific Contributions of the New York Zoological Society*, 26, 145–208.
- Crane, J. (1966). Combat, display and ritualization in Fiddler Crabs (Ocypodidae, genus *Uca*). *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 251(772), 459–472. <https://doi.org/10.1098/rstb.1966.0035>
- Crane, J. (1975). Fiddler crabs of the world: Ocypodidae: Genus *Uca*. In *Fiddler Crabs of the World: Ocypodidae: Genus Uca* (1st ed.). Princeton University Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1515/9781400867936>
- Griffiths, M. E., Mohammad, B. A., & Vega, A. (2007). Dry season distribution of land crabs, *Gecarcinus quadratus* (Crustacea: Gecarcinidae), in Corcovado National Park, Costa Rica. *International Journal of Tropical Biology and Conservation*, 55(1), 219–224.
- Gül, M. R., & Griffen, B. D. (2019). Burrowing behavior and burrowing energetics of a bioindicator under human disturbance. *Ecology and Evolution*, 9(24), 14205. <https://doi.org/10.1002/ECE3.5853>
- Hendrickx, M. E. (1979). Range extensions of fiddler crabs (Decapoda, Brachyura, Ocypodidae) on the Pacific coast of America. *Crustaceana*, 36(2), 200–202. <https://doi.org/10.1163/156854079X00447>

- Hendrickx, M. E. (1995a). Cangrejos. In Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca: Pacífico Centro-Oriental. (1st ed., Vol. 1, pp. 581–636). FAO. 646.
- Hendrickx, M. E. (1995b). Checklist of brachyuran crabs (Crustacea: Decapoda) from the eastern tropical Pacific. *Bulletin de L'institut Royal Des Sciences Naturelles de Belgique*, 65, 125–150.
- Hendrickx, M. E., & Salgado-Barragán, J. (1992). New records of two species of brachyuran crabs (Decapoda: Brachyura) from tropical coastal lagoons, Pacific coast of Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 40(1), 149–150.
- Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá. (2024, July 31). Clasificación Climática. IMHPA. <https://www.imhpa.gob.pa/es/clasificacion-climatica>
- Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia. (1988). Atlas nacional de la República de Panamá (Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, Ed.; 3rd ed.). Universidad de Panamá.
- Kim, T. W., & Christy, J. H. (2015). A mechanism for visual orientation may facilitate courtship in a fiddler crab. *Animal Behaviour*, 101, 61–66. <https://doi.org/10.1016/J.ANBEHAV.2014.12.007>
- Kristensen, E. (2008). Mangrove crabs as ecosystem engineers; with emphasis on sediment processes. *Journal of Sea Research*, 59(1–2), 30–43. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2007.05.004>
- Kwiecinski, B., & D’Croz, L. (2008). El cambio climático y su proyección sobre el nivel del mar en la costa del Pacífico de Panamá. *Tecnociencia*, 10(2), 95–101. <https://doi.org/10.48204/NH>
- Landstorfer, R. B., & Schubart, C. D. (2010). A phylogeny of Pacific fiddler crabs of the subgenus *Minuca* (Crustacea, Brachyura, Ocypodidae: *Uca*) with the description of a new species from a tropical gulf in Pacific Costa Rica. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 48(3), 213–218. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0469.2009.00554.x>
- Lavezzo, B., Kinoshita, A., Figueiredo, A. M. G., Pinheiro, M. M. F., & Santana, W. (2020). Detection of rare-earth elements using fiddler crabs *Leptuca leptodactyla* (Crustacea: Ocypodidae) as bioindicators in mangroves on the coast of São Paulo, Brazil. *Science of The Total Environment*, 738, 139787. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.139787>
- Lazarus, J. F., & Cantera, J. R. (2007). Crustáceos (Crustacea: Sessilia, Stomatopoda, Isopoda, Amphipoda, Decapoda) de Bahía Málaga, Valle del

- Cauca (Pacífico colombiano). *Biota Colombiana*, 8(2), 221–239.
- Lindquist, E. S., Krauss, K. W., Green, P. T., O'Dowd, D. J., Sherman, P. M., & Smith, T. J. (2009). Land crabs as key drivers in tropical coastal forest recruitment. *Biological Reviews*, 84(2), 203–223.
- Lombardo González, R. C. (2023). Predation of the fiddler crab, *Minuca osa* (Brachyura: Ocypodidae), by *Eudocimus albus* (Pelecaniformes: Threskiornithidae) from Ponuga, Veraguas, Panama. *Journal of Marine and Coastal Sciences*, 15(2), 2–17. <https://doi.org/10.15359/REVMAR.15-2.1>
- Lombardo, R. C. (2022). First record of the Fiddler Crab, *Minuca osa* from the Eastern Montijo Gulf, Panama. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 14(2), 27–35. <https://doi.org/10.15359/revmar.14-2.2>
- Lombardo, R. C. (2023). Behavior and activity pattern of *Minuca osa* (Brachyura Ocypodidae) from Ponuga, Veraguas, Panama. *Biología, Ciencia y Tecnología*, 16, 1194–1210. <https://doi.org/10.22201/fesi.20072082e.2023.16.85678>
- Lombardo, R. C. (2024). New records of *Minuca zaca* (Brachyura: Ocypodidae) in the Gulfs of Montijo and Parita, Panama. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 16(1), 33–42. <https://doi.org/10.15359/revmar.16-1.2>
- Lourie, S. A., & Vincent, A. C. J. (2004). Using biogeography to help set priorities in marine conservation. *Conservation Biology*, 18(4), 1004–1020. <https://doi.org/10.1111/J.1523-1739.2004.00137.X>
- Mi Ambiente. (2024, March 15). Las playas El Agallito y El Retén, designadas como un sitio de importancia internacional para la conservación de las aves playeras. <https://www.miambiente.gob.pa/las-playas-el-agallito-y-el-reten-designadas-como-un-sitio-de-importancia-internacional-para-la-conservacion-de-las-aves-playeras/>
- Mokhtari, M., Ghaffar, M. A., Usup, G., & Cob, Z. C. (2015). Determination of key environmental factors responsible for distribution patterns of Fiddler Crabs in a tropical mangrove ecosystem. *PLoS ONE*, 10(1), 17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117467>
- Peer, N., Rishworth, G. M., Miranda, N. A. F., & Perissinotto, R. (2018). Biophysical drivers of fiddler crab species distribution at a latitudinal limit. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 208, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.05.001>
- Peters, H. M. (1955). Die winkgebärde von *Uca* und *Minuca* (Brachyura) in

- vergleichend-ethologischer, -ökologischer und -morphologisch-anatomischer betrachtung. *Zeitschrift Für Morphologie Und Ökologie Der Tiere*, 43(5), 425–500. <http://www.jstor.org/stable/43261927>
- Rathbun, M. J. (1902). Papers from the Hopkins Stanford Galapagos expedition, 1898–1899. VIII. Brachyura and Macrura. *Proceedings of the Washington Academy of Sciences*, 4, 275–292. <http://www.jstor.org/stable/24526068>
- Rathbun, M. J. (1904). Descriptions of three new species of american crabs. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 17, 161–162.
- Rathbun, M. J. (1935). Preliminary descriptions of six new species of crabs from the Pacific Coast of America. *Proceedings of The Biological Society of Washington*, 48, 49–51.
- Rosenberg. (2023, August 28). Fiddler Crab Guide: Pacific Coast of the Americas. INaturalist. <https://www.inaturalist.org/journal/msr/82286-fiddler-crab-guide-pacific-coast-of-the-americas>
- Rosenberg, M. S. (2001). The Systematics and Taxonomy of Fiddler Crabs: A Phylogeny of the Genus *Uca*. *Journal of Crustacean Biology*, 21(3), 839–869. <https://doi.org/10.1163/20021975-99990176>
- Rosenberg, M. S. (2014). Contextual cross-referencing of species names for fiddler crabs (Genus *Uca*): an experiment in cyber-taxonomy. *PLoS ONE*, 9(7), e101704. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101704>
- Rosenberg, M. S. (2019). A fresh look at the biodiversity lexicon for fiddler crabs (Decapoda: Brachyura: Ocypodidae). Part 1: Taxonomy. *Journal of Crustacean Biology*, 39(6), 729–738. <https://doi.org/10.1093/JCBIOL/RUZ057>
- Rosenberg, M. S. (2020). A fresh look at the biodiversity lexicon for fiddler crabs (Decapoda: Brachyura: Ocypodidae). Part 2: Biogeography. *Journal of Crustacean Biology*, 40(4), 365–383. <https://doi.org/10.1093/jcbiol/ruaa029>
- Shih, H.-T., Ng, P. K. L., Davie, P. J. F., Schubart, C. D., Türkay, M., Naderloo, R., Jones, D., & Liu, M.-Y. (2016). Systematics of the family Ocypodidae Rafinesque, 1815 (Crustacea: Brachyura), based on phylogenetic relationships, with a reorganization of subfamily rankings and a review of the taxonomic status of *Uca* Leach, 1814, sensu lato and its subgenera. *Raffles Bulletin of Zoology*, 64, 139–175.
- Shih, H. Te, Ng, P. K. L., & Christy, J. H. (2015). *Uca* (Petruca), a new subgenus for

- the rock fiddler crab *Uca panamensis* (Stimpson, 1859) from Central America, with comments on some species of the American broad-fronted subgenera. *Zootaxa*, 4034(3), 471–494. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4034.3.3>
- Shih, H. Te, Ng, P. K. L., Davie, P. J. F., Schubart, C. D., Türkay, M., Naderloo, R., & Jones, D. (2016). Systematics of the family Ocypodidae Rafinesque, 1815 (Crustacea: Brachyura), Based on phylogenetic relationships, With a reorganization of subfamily rankings and a review of the taxonomic status of *Uca* Leach, 1814, Sensu lato and its subgenera. *Raffles Bulletin of Zoology*, 64(July), 139–175.
- Silveira, L. F., Beisiegel, B. de M., Curcio, F. F., Valdujo, P. H., Dixo, M., Verdade, V. K., Mattox, G. M. T., & Cunningham, P. T. M. (2010). Para que servem os inventários de fauna? *Estudos Avançados*, 24(68), 173–207. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142010000100015>
- Smith, T. J., Boto, K. G., Frusher, S. D., & Giddins, R. L. (1991). Keystone species and mangrove forest dynamics: the influence of burrowing by crabs on soil nutrient status and forest productivity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 33(5), 419–432. [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(91\)90081-L](https://doi.org/10.1016/0272-7714(91)90081-L)
- Thurman, C. L., Faria, S. C., & McNamara, J. C. (2013). The distribution of fiddler crabs (*Uca*) along the coast of Brazil: implications for biogeography of the western Atlantic Ocean. *Marine Biodiversity Records*, 6, e1. <https://doi.org/10.1017/S1755267212000942>
- von Hagen, H.-O. (1968). Studien an peruanischen Winkerkrabben (*Uca*). *Zoologische Jahrbücher, Abteilung Für Systematik, Ökologie Und Geographie Der Tiere*, 95(2), 395–468.
- von Prahl, H., & Toro, N. (1985). *Uca (Uca) intermedia* (Crustacea: Brachyura: Ocypodidae) A new Fiddler Crab from the Pacific coast of Columbia. *Zoologischer Anzeiger*, 215(5/6), 274–278.

Annex**Figure 2.**

Male specimens of *Leptuca batuenta*. Panel B: males engaged in ritualized combat with crossed chelae, but not pinching the opponent. The duel concludes with one crab overturned on its carapace or retreating to release the chela. **A-D**: El Agallito.

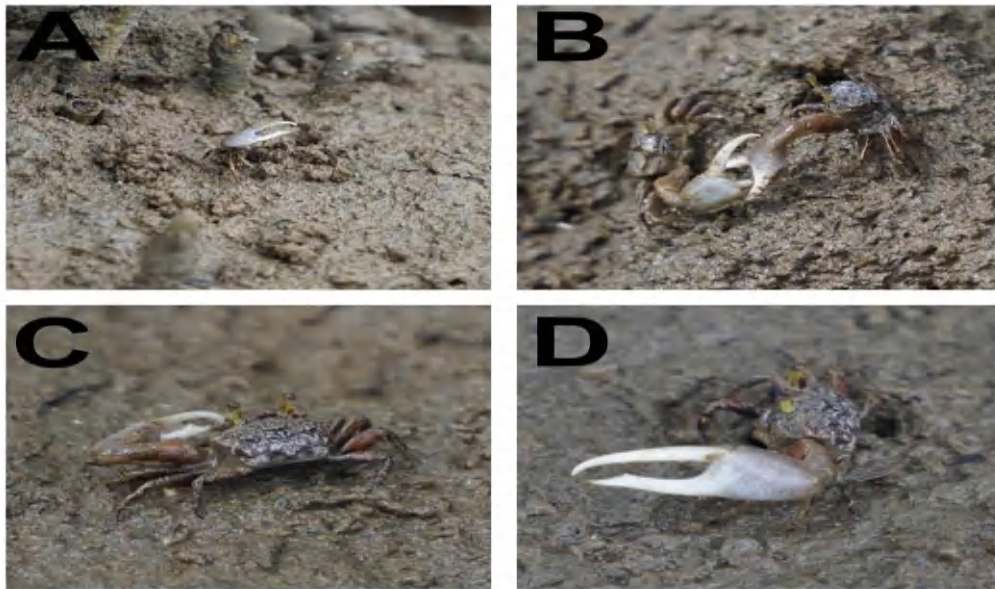


Figure 3.

Images of male specimens of *Leptuca oesterdi*. **A-D**: El Agallito; **E-F**: El Retén

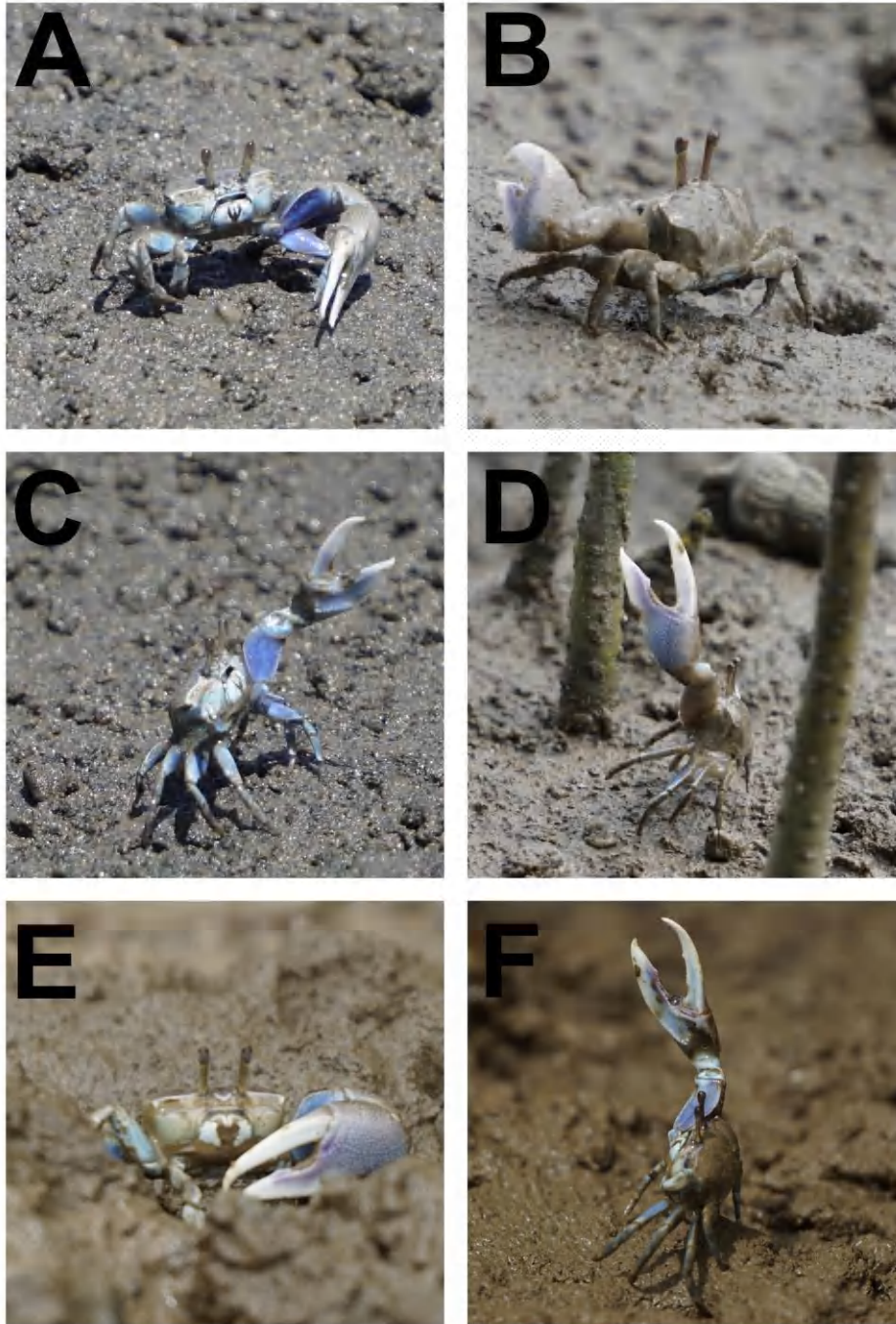


Figure 4.

Images of Leptuca inaequalis specimens. A-C: El Agallito. Panel B includes a female of the species.

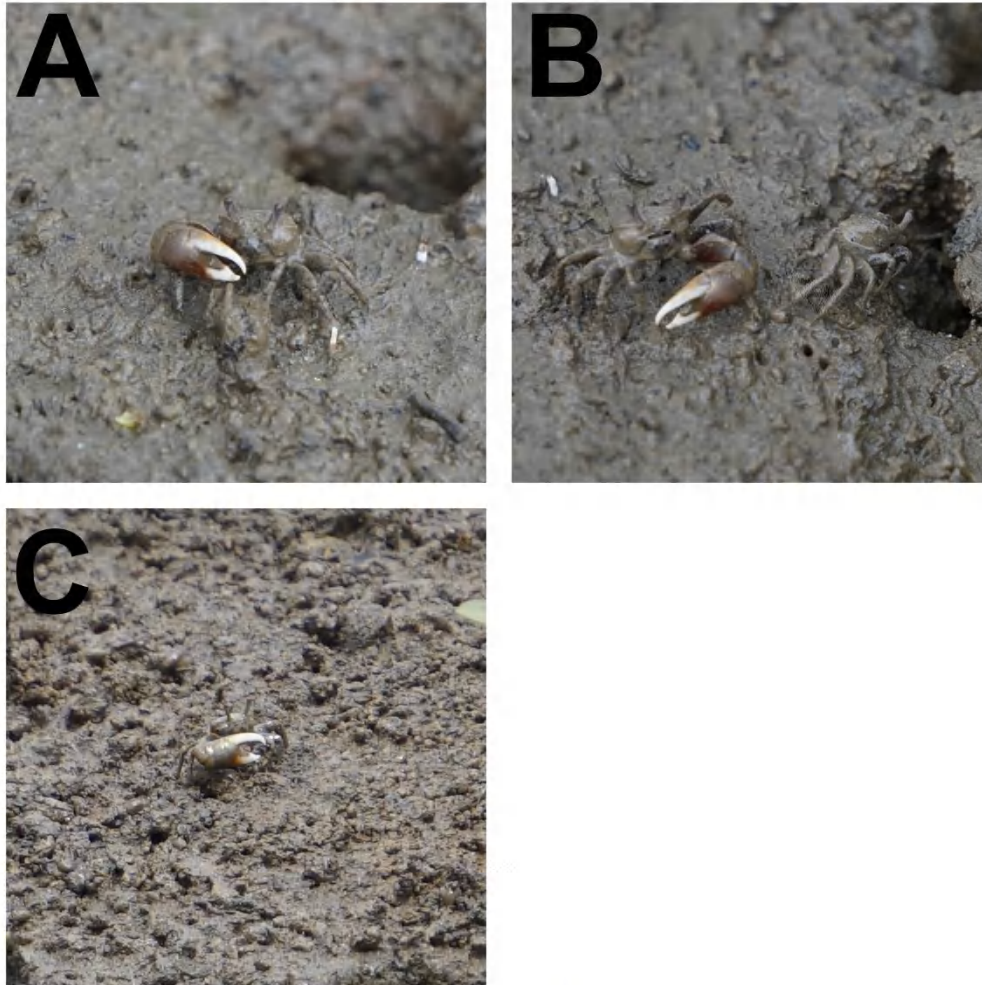


Figure 5.

Images of Leptuca tomentosa specimens. A-C: El Salado; D-F: El Agallito.

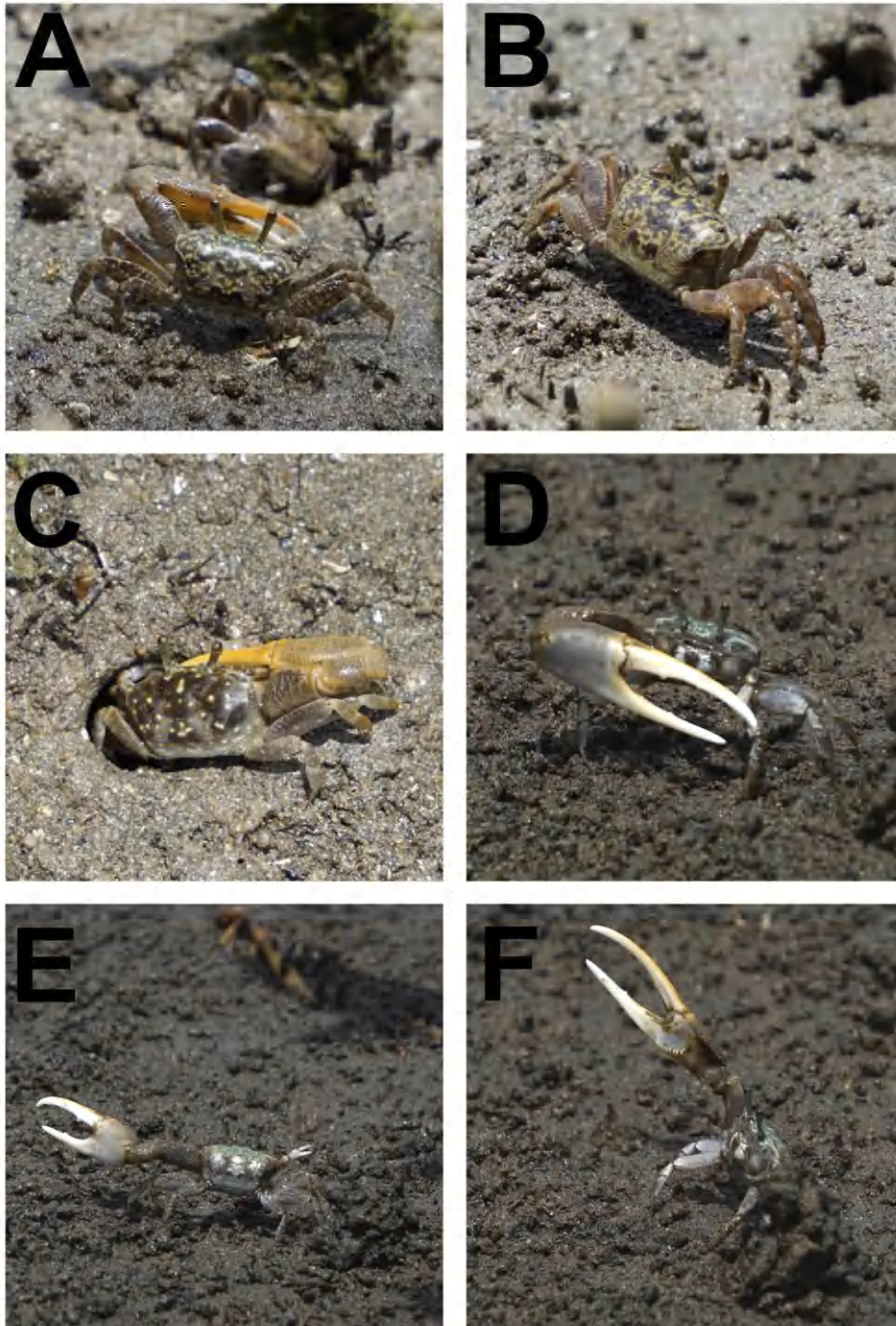


Figure 6.

Images of Leptuca tallanica specimens. A-D: El Salado.

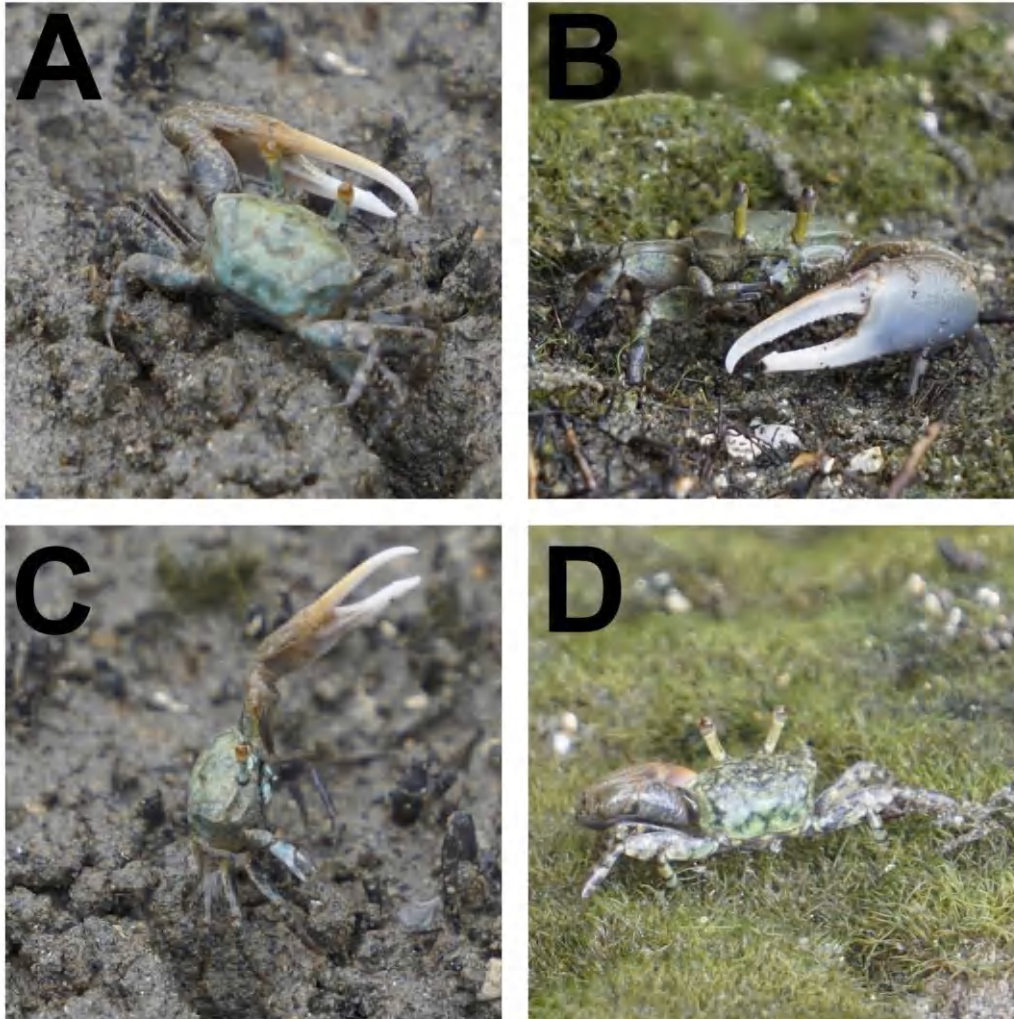


Figure 7.

Images of *Leptuca umbratila* specimens. **A-D:** El Agallito; **B:** El Retén; **C:** Las Comadres. Panel **D** features an image of the female of the species, showcasing its characteristic gray-green coloration and dark olive-green ambulatory appendages.



Figure 8.

Images of Leptuca festae specimens. A-C: El Agallito; D-F: El Retén. Panel C includes an image of the female of the species.

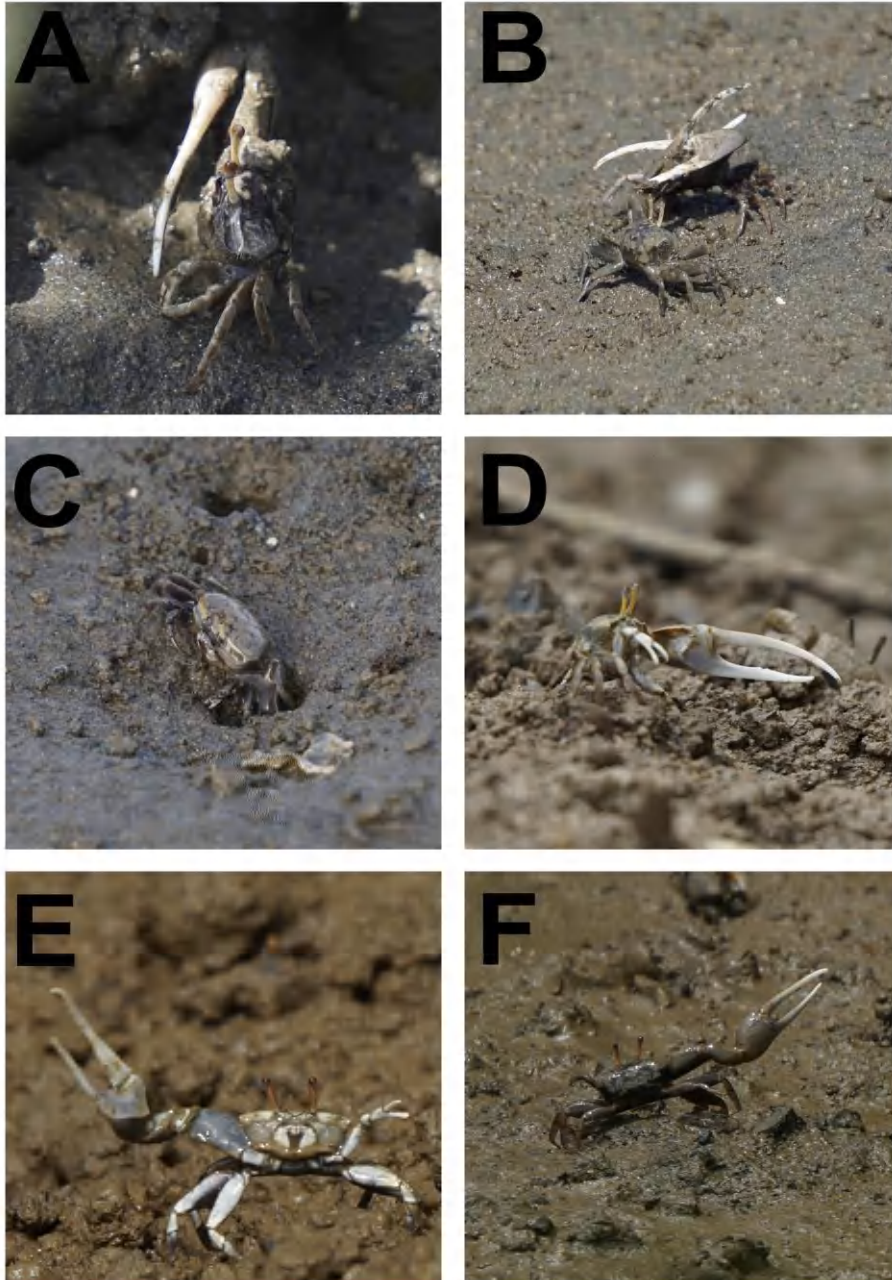


Figure 9.

Images of Leptuca beebei specimens. A, B: El Salado; C-F: El Agallito. Panel C features a male with a pillar next to his burrow courting two females.

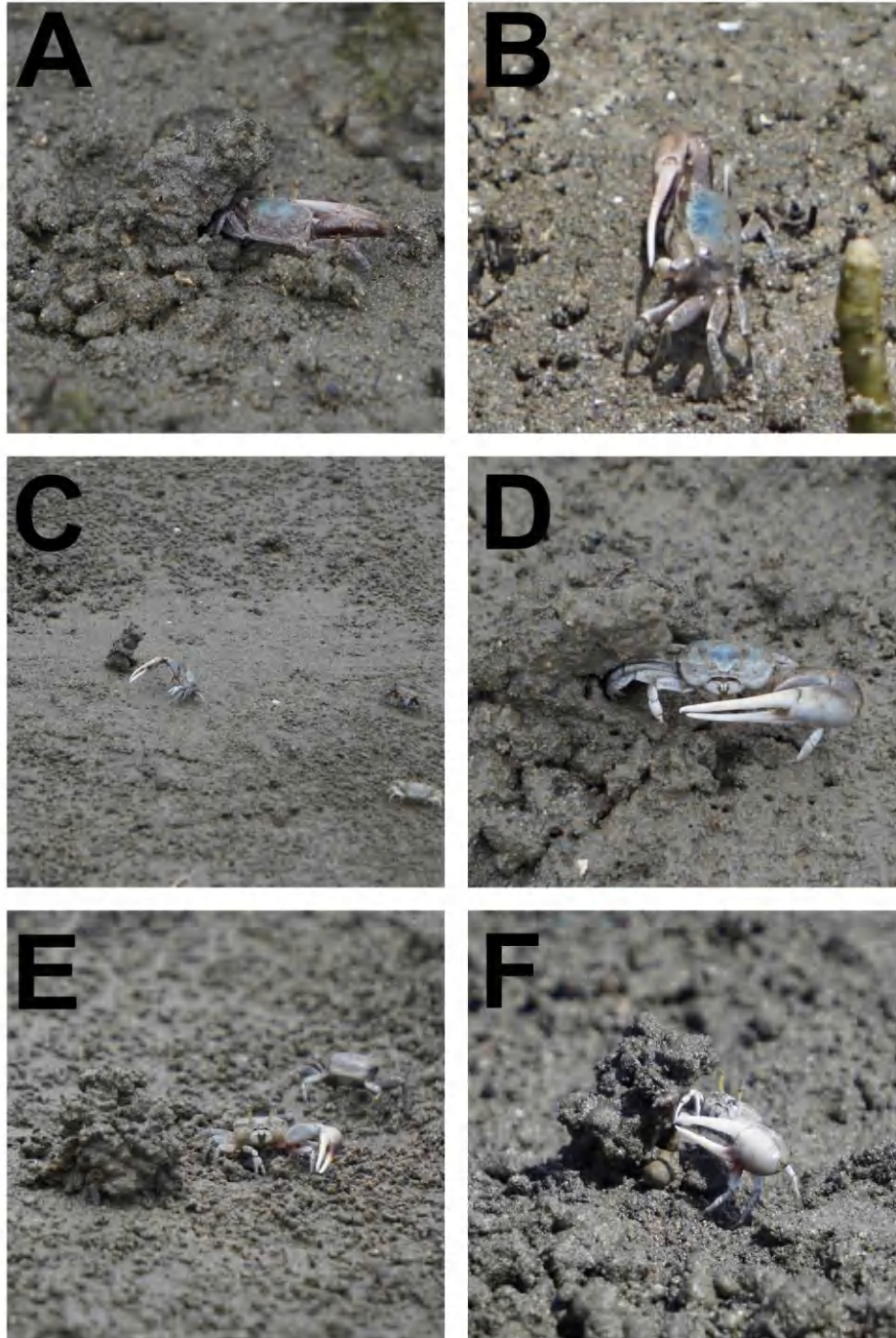


Figure 10.

Images of *Leptuca stenodactylus* specimens. **A:** El Agallito; **B-E:** El Salado; **F:** Las Comadres. Panel **D** features a female of the species.

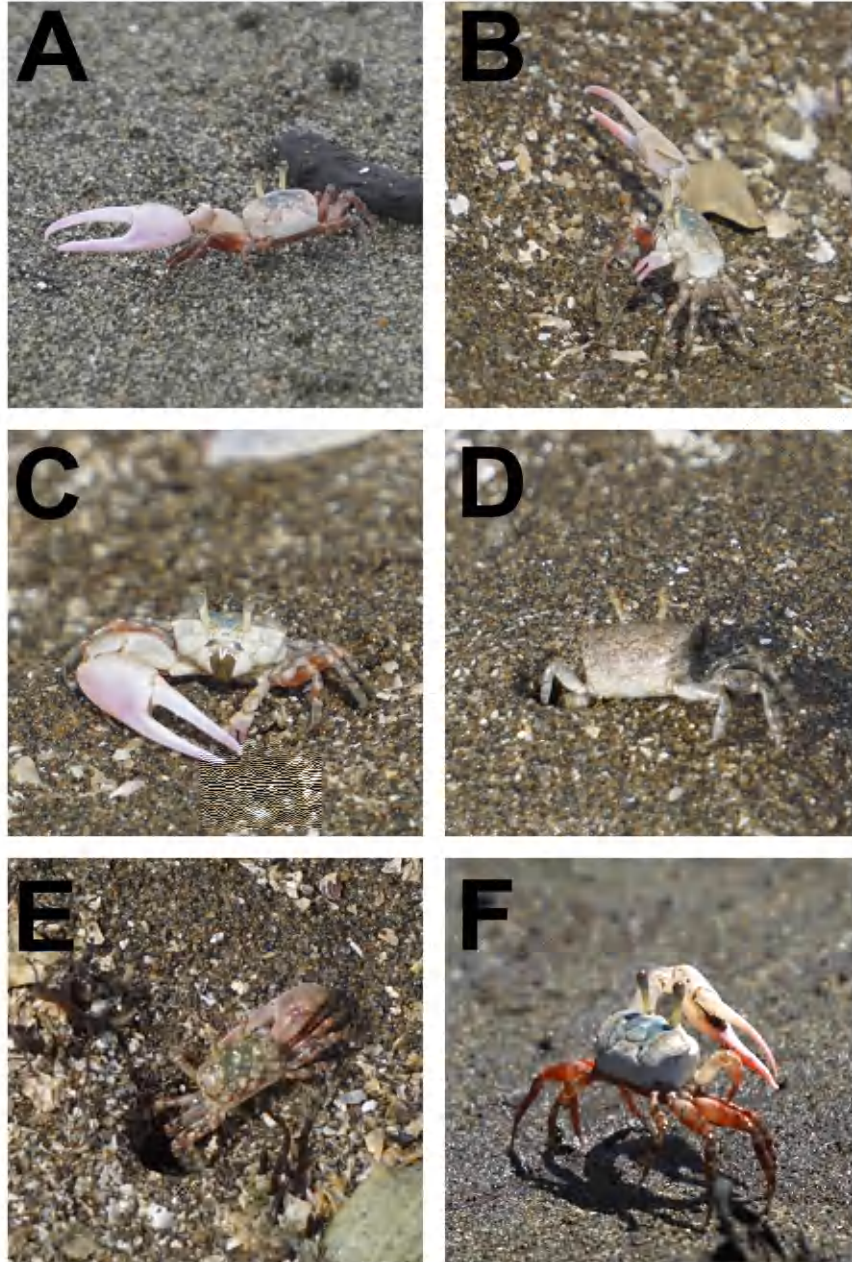


Figure 11.

Images of *Leptuca deichmanni* specimens. **A, C, F:** Las Comadres; **B:** El Uverito;
D, E: El Agallito.

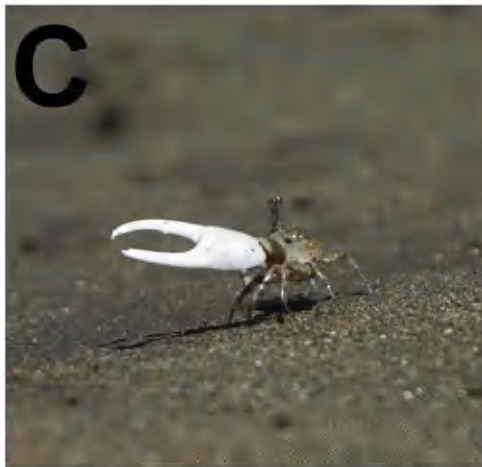


Figure 12.

*Images of *Leptuca terpsichores* specimens. A-D: El Agallito; E: El Retén; F: Las Comadres.*

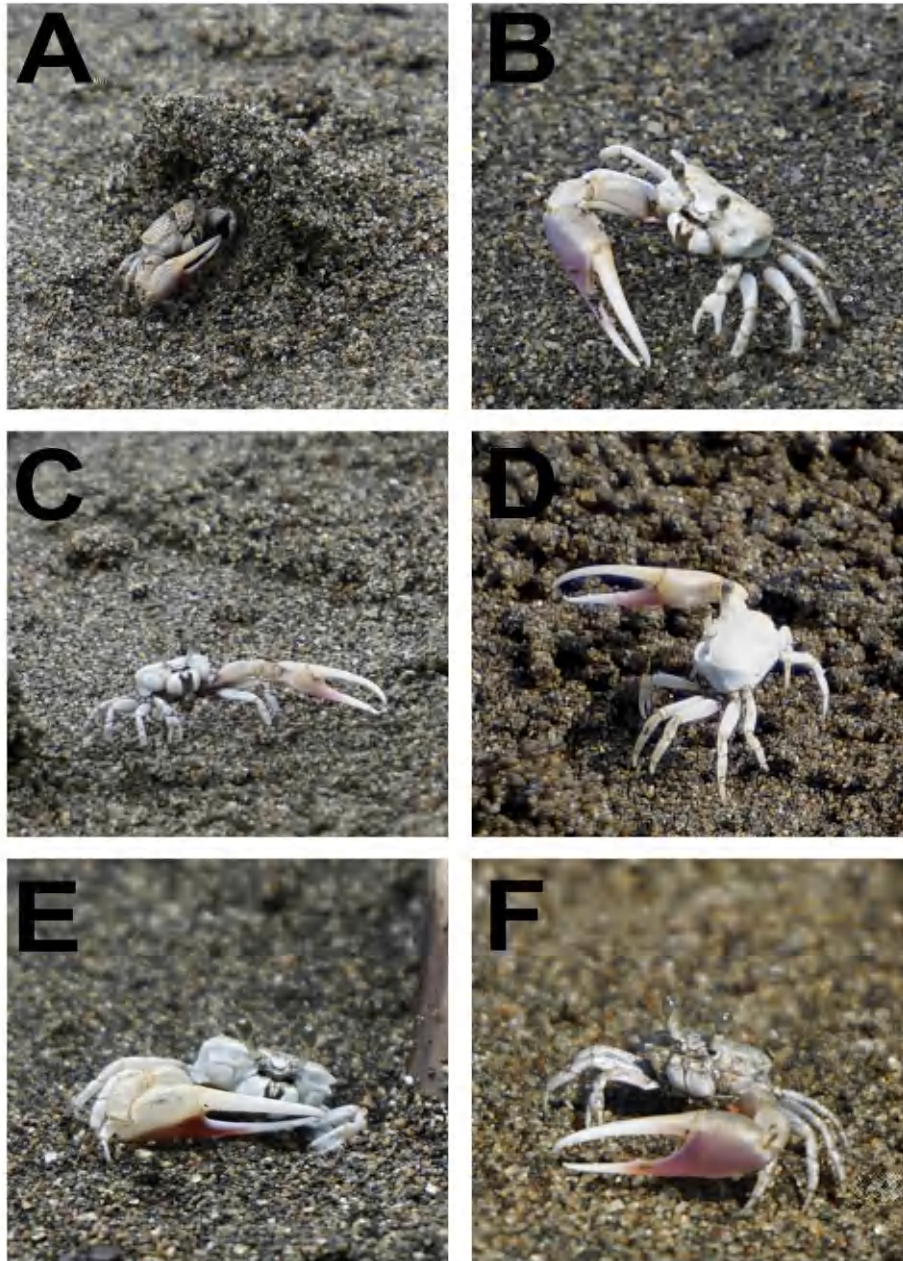


Figure 13.

Images of Leptuca latimanus specimens. A, B: El Salado; C: Los Aromos; D, F: El Retén; E: El Agallito. Panels E and F feature the female of the species.

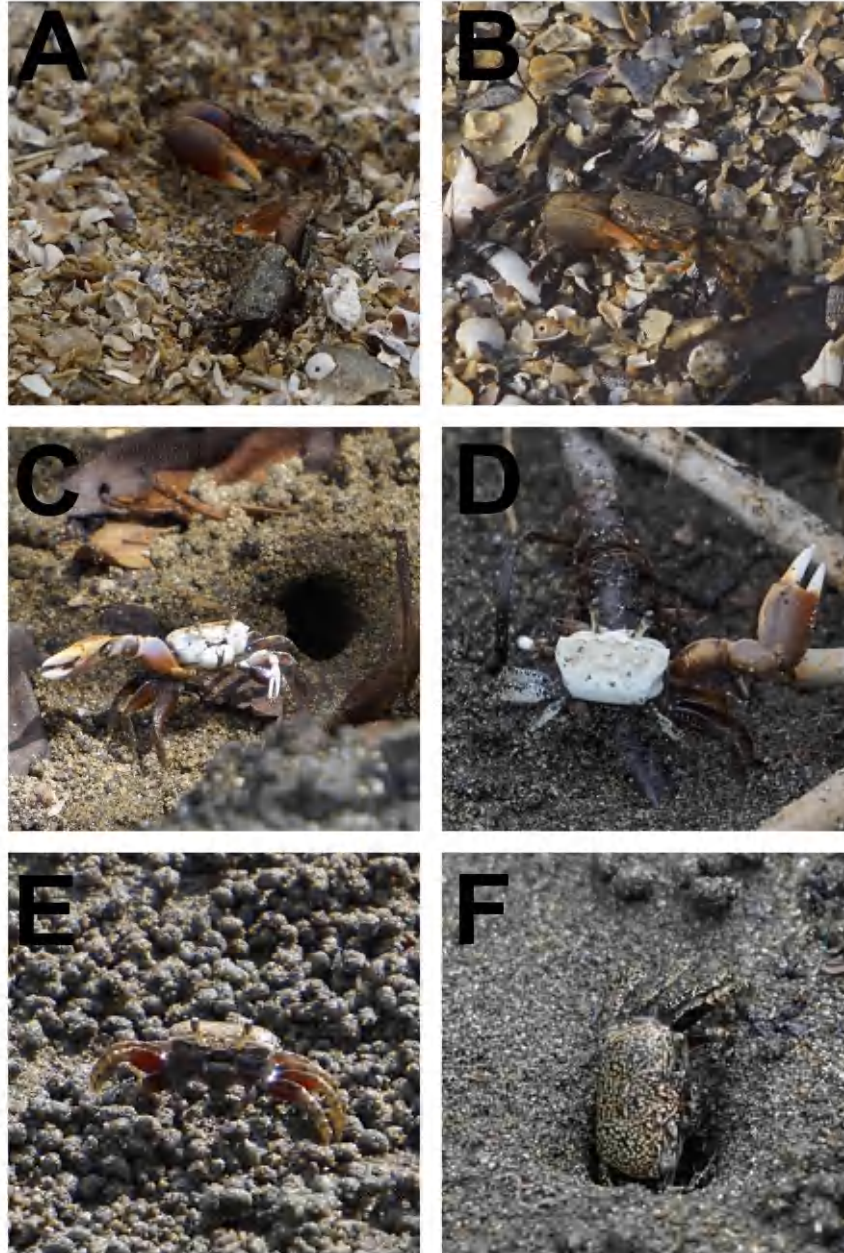


Figure 14.

Images of Uca heteropleura specimens. A-F: El Agallito. Panels E and F include the female of the species.

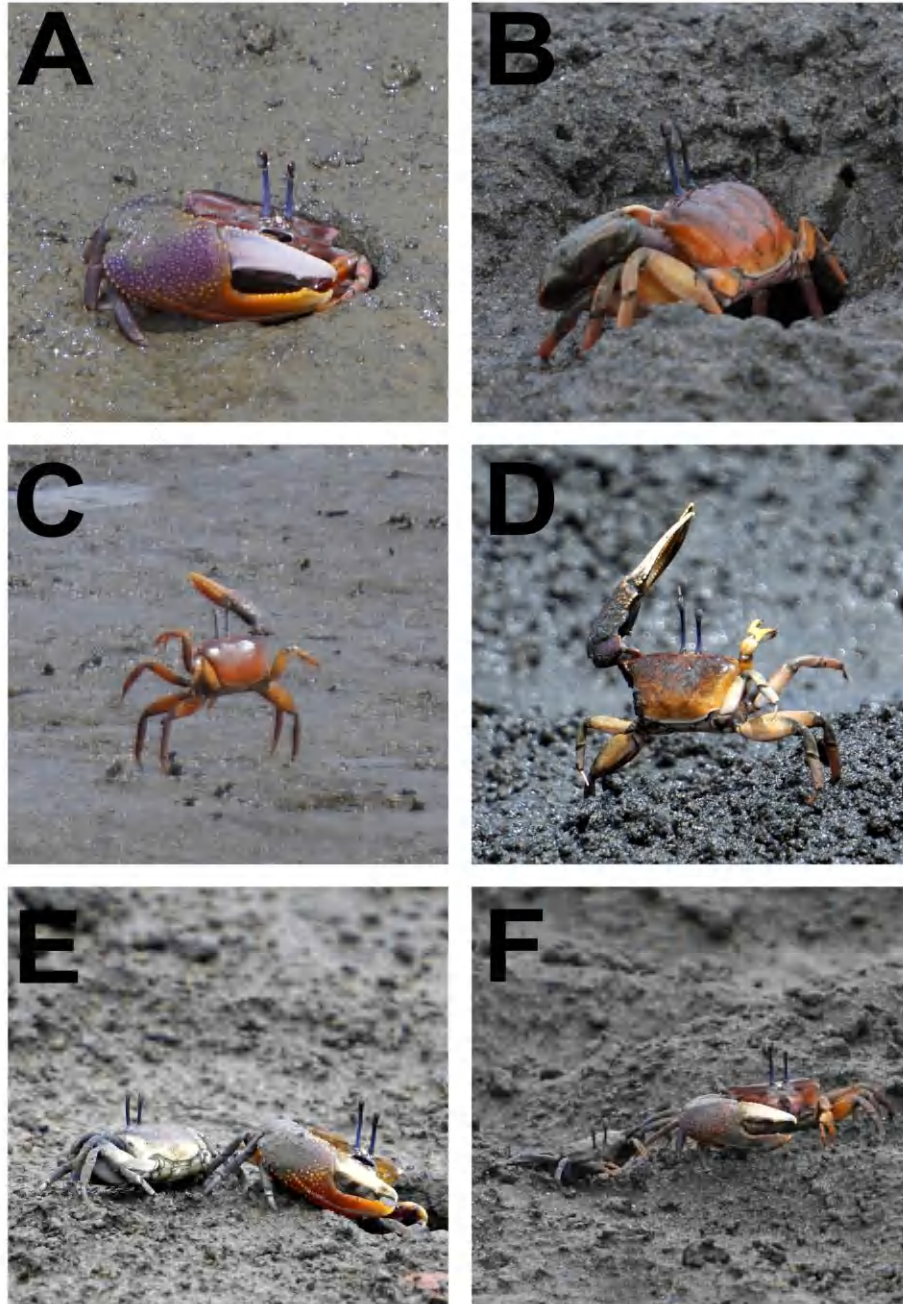


Figure 15.

Images of *Uca intermedia* specimens. **A-F:** El Agallito. Note the short ocular style on the side of the major claw.

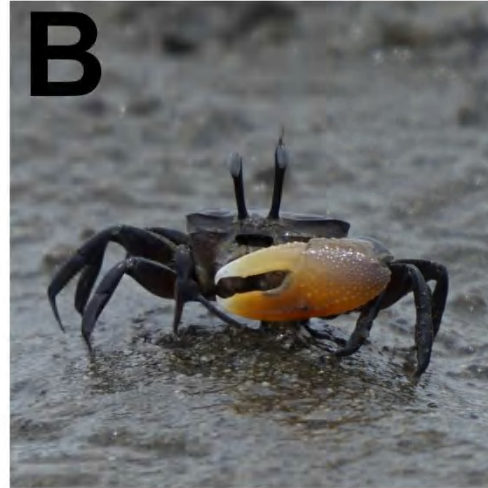


Figure 16.

Specimens of Uca ornata. A-F: El Agallito. Panel E shows a young male with residual colors, while panel F displays the female of the species.

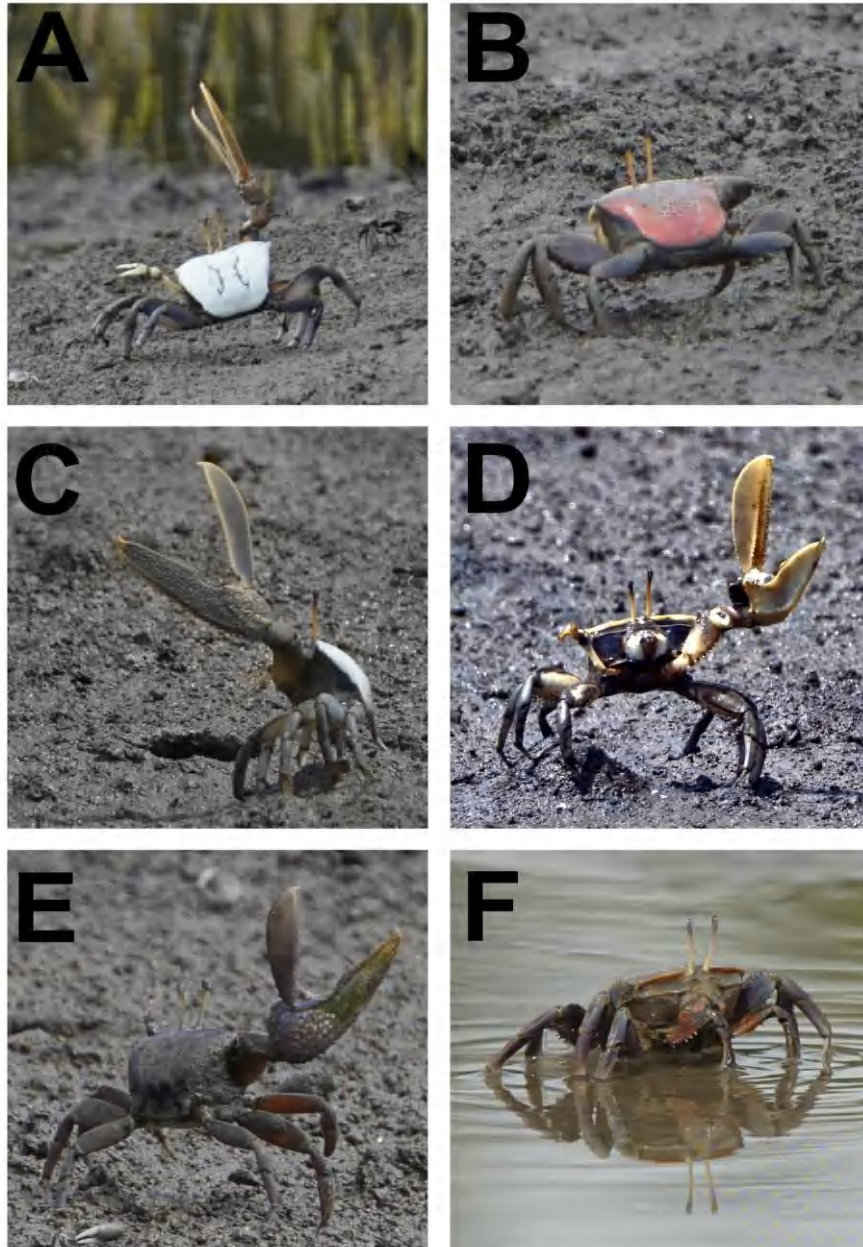


Figure 17.

Images of specimens of Uca princeps. A-C, F: El Agallito; D, E: Los Aromos.

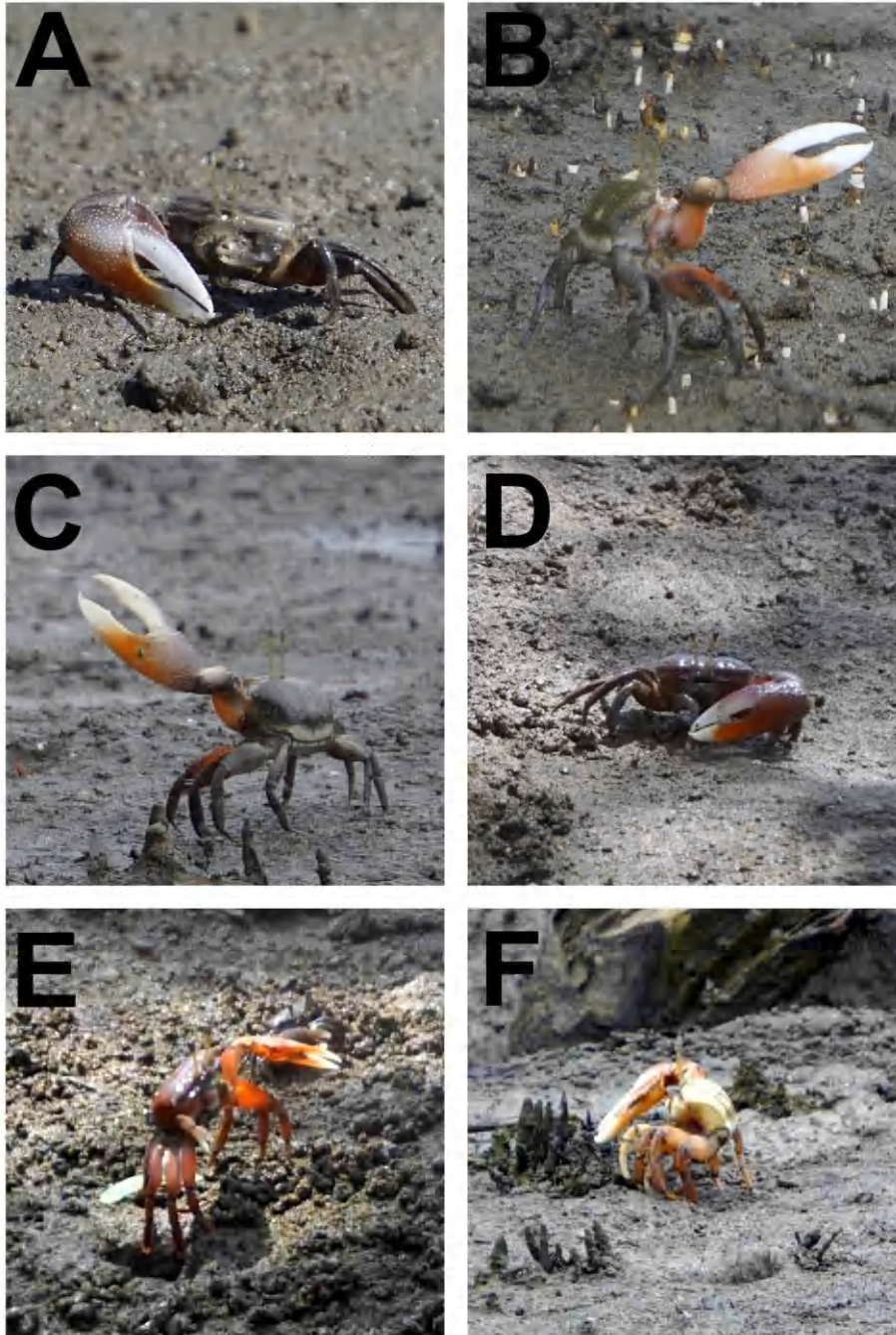


Figure 18.

Images of specimens of *Uca stylifera*. **A, D, E:** El Agallito; **B, C, F:** El Salado. Panel **F** shows the female of the species.

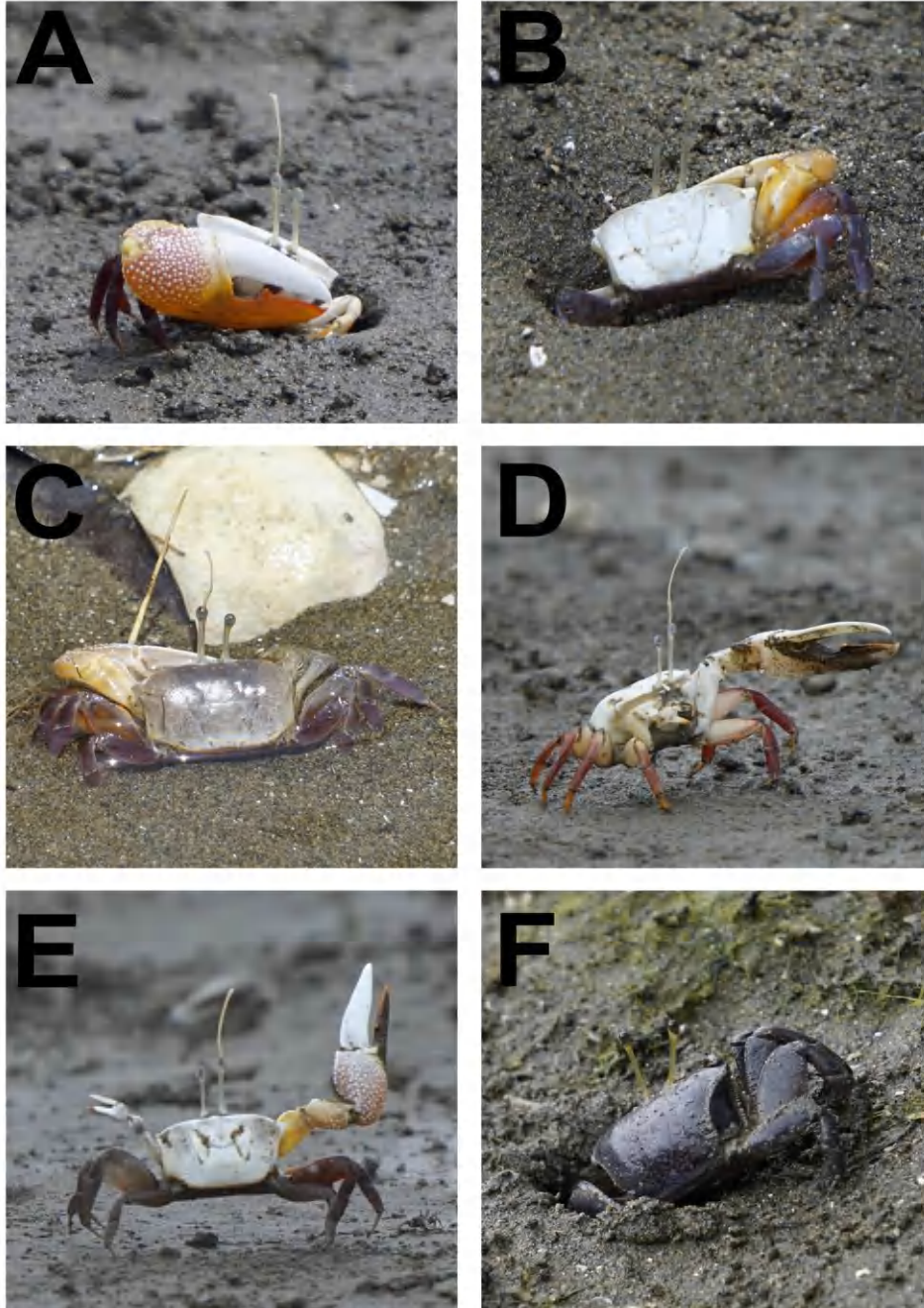


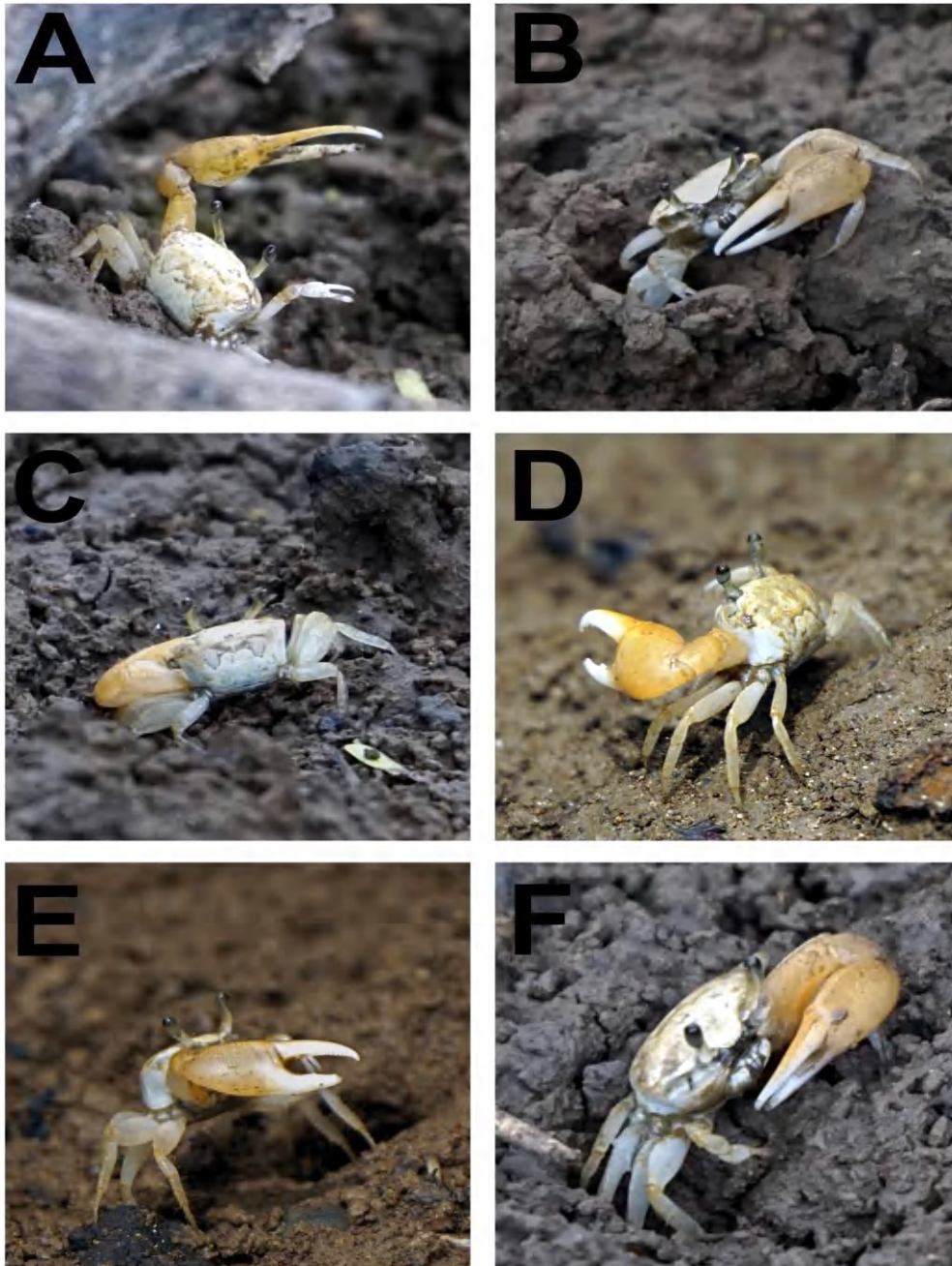
Figure 19

Image of the female of the species Minuca argilicola captured at Playa Las Comadres.



Figure 20

Specimens of *Minuca galapagensis* of the "white" morphotype. A-F, El Retén.

**Figure 21**

Images of specimens of *Minuca galapagensis* of the "red" morphotype. **A, C**, El Salado; **B**, El Agallito; **D**, El Retén (female of the species).



Figure 22

Specimens of *Minuca herradurensis*. **A**, El Salado; **B-C**, **E-F**, El Retén; **D**, Los Aromos (female of the species).



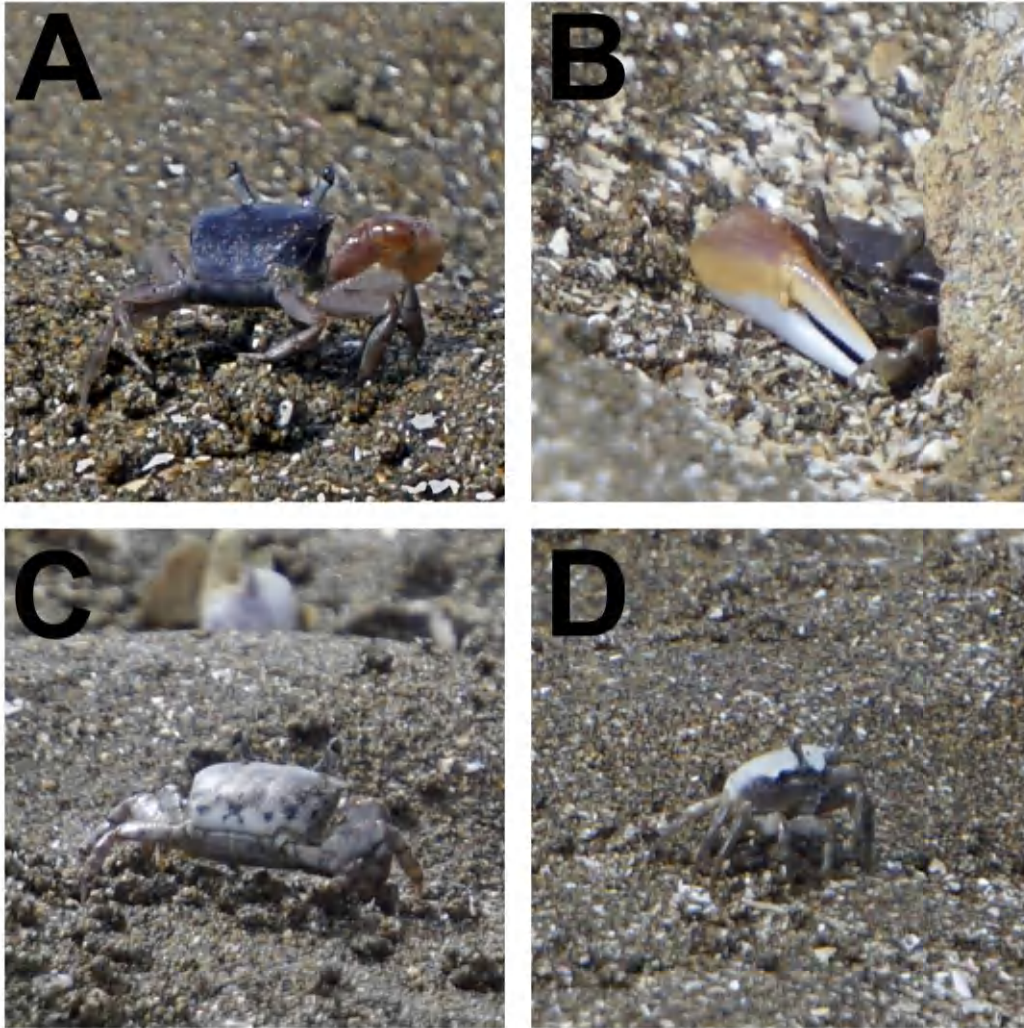
Figure 23

Image of specimens of *Minuca zaca*. **A**, Los Aromos; **B-D**, El Retén.



Figure 24

*Image of specimens of *Petruca panamensis*. A-D, El Salado. Panels C and D show females of the species.*



Cuidado y manejo del perico piqui blanco (*Brotogeris Jugularis*), Panamá, 2023

care and management of the white billed parakeet (*Brotogeris Jugularis*), Panama, 2023

Félix Camarena

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Azuero, Panamá

Autor de Correspondencia: felix.camarena@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-5601-3252>

Koraima Tejada

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Panamá

koraima210599@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7667-3488>

Virgilio Villalaz

Centro Regional Ramsar para el Hemisferio Occidental (CREHO), Panamá

virgilio.05vd@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0692-1420>

Nadiezhdha Ruiz

Ministerio de Salud, Panamá

nadiezhdha.ruiz@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6477-4561>

Ricardo Calderón

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Los Santos, Panamá

ricardo.calderon.2280@udelas.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-7289-9479>

Silverio D. Pimentel

Ministerio de Educación, Panamá

didielpimentel@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-1456-6699>

Miguel Pinto

Universidad del Sur de Indiana, Evansville, Indiana, Estados Unidos

miguelanpint29@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9858-7337>

Lourdes Arosemena

Universidad Especializada de las Américas (UDELAS), Panamá

lourdes.rosemena.8@udelas.ac.pa

<https://revistas.up.ac.pa/index.php/scientia/>

<https://orcid.org/0000-0003-1779-6896>

Katherin Rodríguez

Universidad de Panamá, Facultad de Humanidades, Panamá

katherin.rodriguez@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0003-4639-831X>

Recepción
26/06/2023

Aprobación
09/09/2024

DOI <https://doi.org/10.48204/j.scientia.v35n1.a6656>

Resumen

Año tras año, al inicio de la época seca en el área de Los Santos, cientos de nidos de *Brotogeris jugularis* son abiertos, y los pichones son sacados de sus nidos y llevados a las casas de los criadores. El objetivo de esta investigación es analizar los cuidados y el manejo aplicados a las especies de perico piqui blanco (*Brotogeris jugularis*) capturadas en la región de Los Santos, República de Panamá. La población está compuesta por jóvenes criadores, de entre 12 y 18 años, de varias instituciones educativas en la provincia de Los Santos. Los sujetos de estudio son específicamente los pericos piqui blanco (barbi naranja), y la muestra se centra en 50 estudiantes de estos colegios, representando parte de la comunidad de criadores de esta especie.

El tipo de muestra seleccionada para definir el grupo de observación fue no aleatorio. Se utilizó el muestreo no probabilístico, ya que la selección de los individuos se hizo de forma directa y a conveniencia, dado que la población de criadores de estas aves es pequeña y algunos no brindan la información requerida. Los resultados reflejan que el 90% prefiere criar pericos piqui blanco, el 48% respondió que crían de 1 a 3 individuos, y el 46% de los encuestados reportó que se les mueren de 1 a 3 pericos. El estado actual de conservación del perico piqui blanco en la región de Los Santos es vulnerable, por lo que se propone implementar un plan de educación ambiental de manera puntual.

Palabras clave: *Brotogeris jugularis*, criadores de pericos, conservación

Abstract

Year after year, at the beginning of the dry season in the Los Santos area, hundreds of *Brotogeris jugularis* nests are opened, and the chicks are removed from their nests and taken to the breeders' homes. The objective of this research is to analyze the care and management applied to the species of white-billed parakeet (*Brotogeris jugularis*) captured in the Los Santos region, Republic of Panama. The population is made up of young breeders, between 12 and 18 years old, from various educational institutions in the province of Los Santos. The study subjects are specifically the white-billed parakeets (orange-chinned), and the sample focuses on 50 students from these schools, representing part of the community of breeders of this species. The type of sample selected to define the observation group was non-random. Non-probabilistic sampling was used, since the selection of individuals was done directly and at convenience, given that the population of breeders of these birds is small and some do not provide the required information. The results reflect that 90% prefer to raise white-billed parakeets, 48% responded that they raise 1 to 3 individuals, and 46% of those surveyed reported that 1 to 3 parakeets die. The current state of conservation of the white-billed parakeet in the Los Santos region is vulnerable, so it is proposed to implement an environmental education plan in a timely manner.

Keywords: *Brotogeris jugularis*, parakeet keepers, conservation

Introducción

Los Psitácidos, una familia de aves tropicales que incluye al perico piqui blanco (*Brotogeris jugularis*), han sido utilizados como animales de ornato y compañía desde tiempos prehispánicos. Estas aves son valoradas por el color de su plumaje y en el caso de los loros, por su capacidad para imitar sonidos, lo que les otorga un gran significado simbólico (Herrera et al., 2023). El perico piqui blanco (*B. jugularis*) se caracteriza por tener una cola corta (17-18 cm) y cuneiforme, con un plumaje principalmente verde, una pequeña mancha anaranjada en la barbilla, hombros pardos y coberteras alares inferiores amarillas. Debido a su camuflaje, generalmente es difícil de observar en el campo (Ridgely y Gwynne, 2005).

Según la gaceta oficial, *B. jugularis* se encuentra en estado vulnerable Ministerio de Ambiente, (2016). La Ley 14 del 28 de octubre de 1977, que aprueba la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES), prohíbe el comercio internacional de especies de fauna y flora que se encuentran en peligro (Gaceta oficial 18506 del 27 de enero de 1978). Por su parte, *B. jugularis* utiliza los bosques riparios como sitios de reproducción, debido a la alta disponibilidad de termiteros en las partes altas de los árboles, mientras que los entornos urbanos se presentan como sitios de alimentación por la abundancia de frutales naturales y cultivados (Hernández et al., 2022).

Sin embargo, muchas especies de Psitácidos enfrentan amenazas debido a actividades humanas, como el crecimiento desmesurado de las ciudades, el aumento de la población y la caza ilegal. Estas condiciones obligan a las aves a abandonar su hábitat natural y buscar refugio en espacios urbanos para sobrevivir (Rodas et al., 2016). Específicamente, *B. jugularis* enfrenta amenazas directas, como la caza ilegal para comercio o tenencia como mascota, así como amenazas indirectas, como la pérdida y fragmentación de sus hábitats (Hernández et al., 2022). De hecho, *B. jugularis* fue la especie de Psitácido con mayor cantidad de decomisos en el comercio ilegal en Colombia (Rojas et al., 2013).

En este contexto, un estudio realizado en el departamento del Tolima, Colombia, revela la crítica situación del comercio ilegal de fauna silvestre, enfocándose en la conservación y manejo de especies como *B. jugularis* y *Amazona ochrocephala*., se incautaron 155 taxones, de los cuales el 60% eran aves, lo que subraya la necesidad de

implementar medidas de protección efectivas. En 2010, se identificaron 28 especies en comercio, con más de la mitad incluidas en los apéndices de CITES, lo que indica su vulnerabilidad (Briñez et al., 2013).

El manejo y los cuidados en cautiverio del perico piqui blanco en la región de Los Santos, Panamá, representan una línea base importante para proyectos de protección de estas especies vulnerables. Esto nos permitirá decidir la dirección de los programas de educación ambiental necesarios para su conservación.

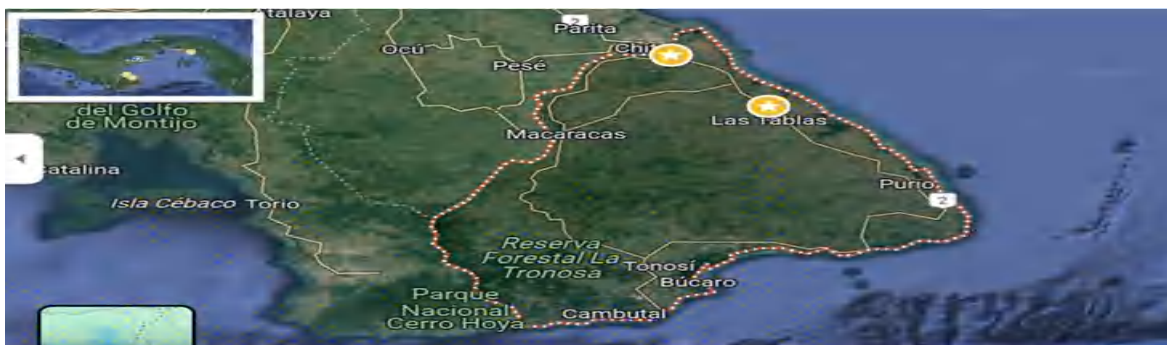
El objetivo de esta investigación es analizar los cuidados y el manejo aplicados a las especies de perico piqui blanco (*B. jugularis*) capturadas en la región de Los Santos, República de Panamá.

Materiales y métodos

Esta investigación da a conocer como es la alimentación, los cuidados en cautiverio del perico piqui blanco en la región de Los Santos (ver figura 1), en la época seca, durante el año 2023.

Figura 1.

Ubicación del sitio de estudio.



Fuente: Google Earth

En la figura 1 se observa el mapa de la provincia de Los Santos en donde viven los criadores de pericos piqui blancos, de Guararé y la Villa de Los Santos, estos lugares están marcados con estrellas.

El diseño de la investigación es no experimental, ya que no se realizó

manipulación de la variable independiente, ni se cuentan con grupos experimentales y de control para generar contraste. Por su naturaleza, se define como transversal, ya que se llevará a cabo en un tiempo previamente definido, y descriptivo, dado que presenta una explicación exacta del fenómeno estudiado.

Población: criadores, entre 12 y 18 años, del Instituto Profesional y Técnico de Azuero, el Colegio Francisco I. Castellero y el Instituto Coronel Segundo de Villarreal, en la provincia de Los Santos, que han realizado la cría de pericos piqui blanco en sus labores cotidianas en dicha comunidad.

Sujetos: Pericos piqui blanco (barbi naranja).

Muestra: 50 jóvenes. estudiantes del colegio, que son una parte de la población de criadores de pericos piqui blanco, provenientes de diferentes comunidades de la provincia de Los Santos.

Tipo de muestra: La muestra seleccionada para definir el grupo de observación fue no aleatoria. Se utilizó un muestreo no probabilístico, ya que la selección de los individuos se realizó de forma directa y por conveniencia, dado que la población de criadores de estas aves es reducida y algunos no brindan la información requerida.

Hipótesis

Ho El conocimiento detallado sobre las condiciones de captura y mantenimiento de los pericos en cautiverio interviene positivamente en los planes de educación ambiental implementados en escuelas y comunidades, permitiendo una mayor concienciación y acción hacia la conservación de estas especies.

Hi El conocimiento detallado sobre las condiciones de captura y mantenimiento de los pericos en cautiverio no interviene positivamente en los planes de educación ambiental implementados en escuelas y comunidades, permitiendo una mayor concienciación y acción hacia la conservación de estas especies.

Instrumento de medición

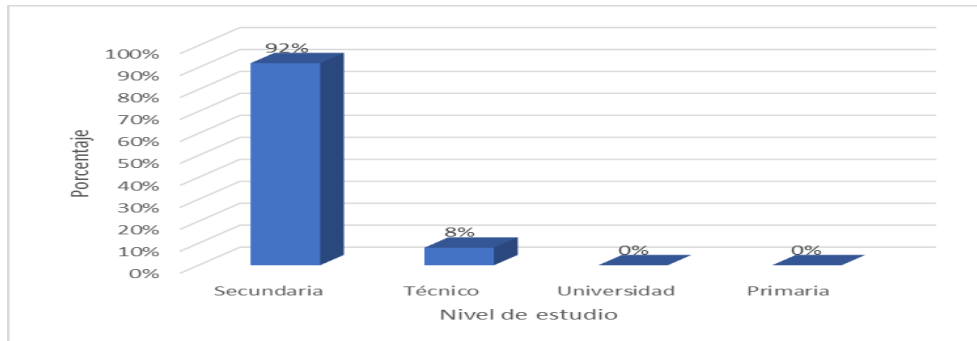
Instrumento: encuestas con pregunta de selección.

Resultados

La figura 2 muestra que el 92% de los encuestados tienen nivel de estudios secundarios y un 8% poseen nivel de estudio técnico.

Figura 2.

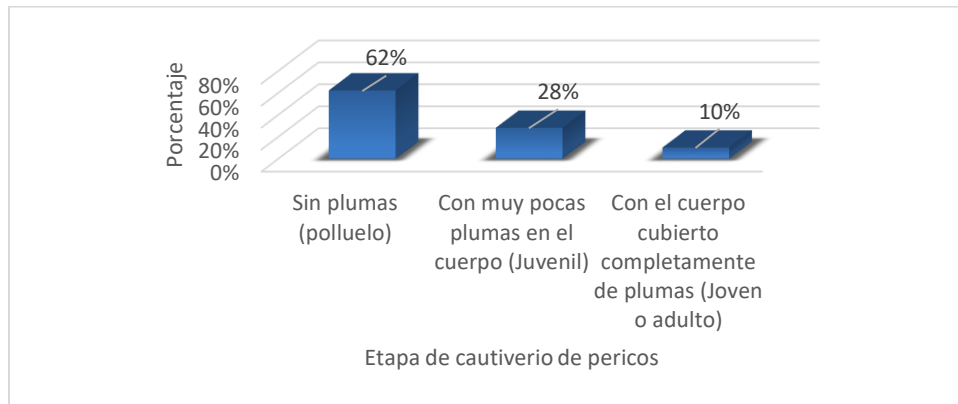
Nivel de estudio de los jóvenes que crían perico piqui blanco



En la figura 3 se observa que el 62% de los pericos piqui blanco están sin plumas al momento de comenzar su cría en cautiverio, seguido de un 28% de pericos con muy pocas plumas en su cuerpo y un 10% con el cuerpo cubierto de plumas.

Figura 3.

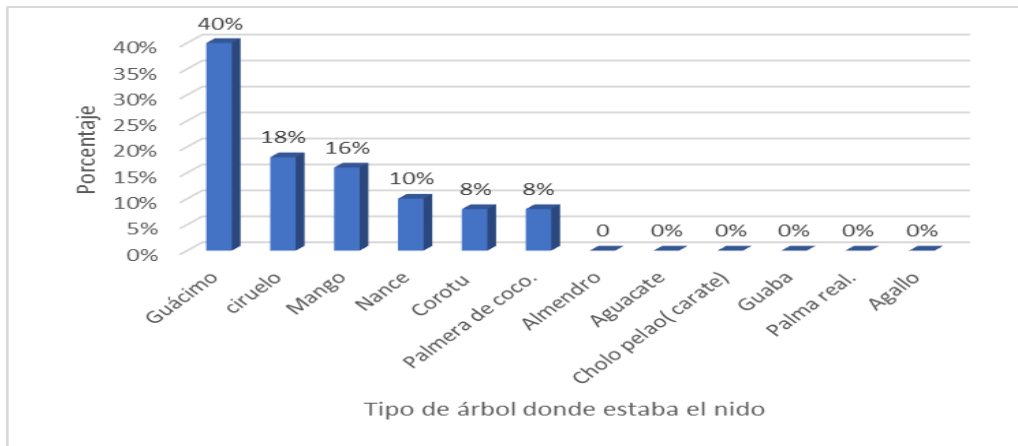
Etapas en que se crían los pericos en cautiverio.



En la figura 4. Los árboles en que predominan los comejenes o nidos de pericos en las áreas urbanas lo encabezan el Guásimo con un 40%, seguido de ciruelo con un 18% y en tercer lugar el mango con un 16%.

Figura 4.

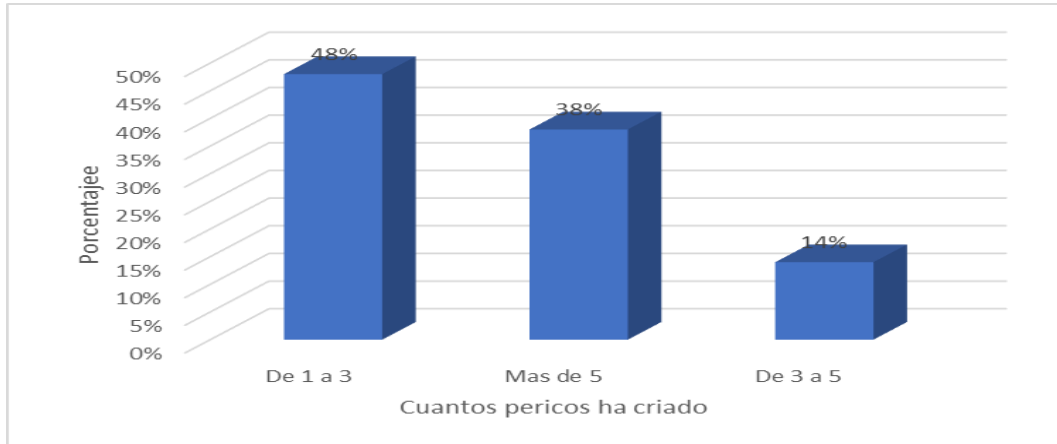
Árboles en donde se encontraban los comejenes o nidos de pericos.



En la figura 5 que observamos, sobre la cantidad de pericos criados, el 48% de los encuestados criaban de 1 a 3 pericos en la temporada, el 38% criaban más de cinco pericos y el 14% criaban de 3 a 5 pericos por temporada.

Figura 5.

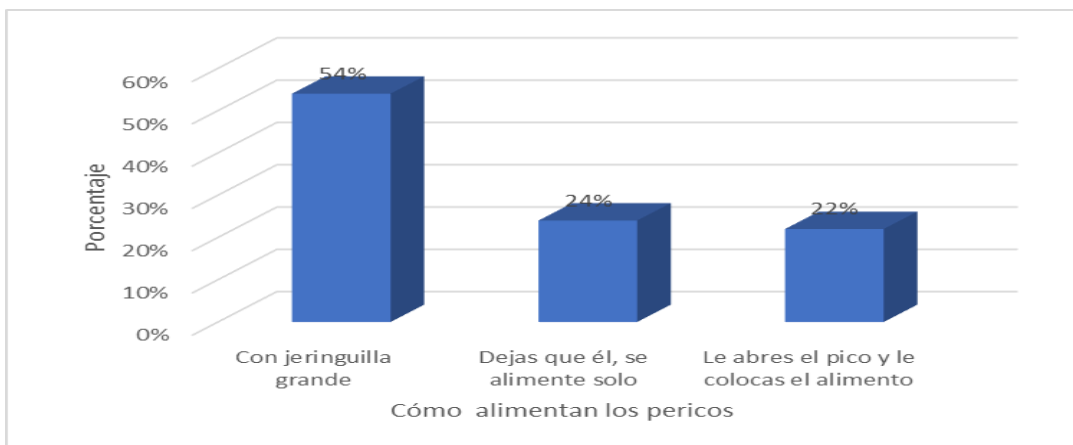
Cantidad de pericos criados por personas o familias.



El 54% de los encuestados admiten que usan una jeringuilla grande para alimentar a los pericos, un 24% deja que se alimenten solos y un 22% le abren el pico para alimentarlos

Figura 6.

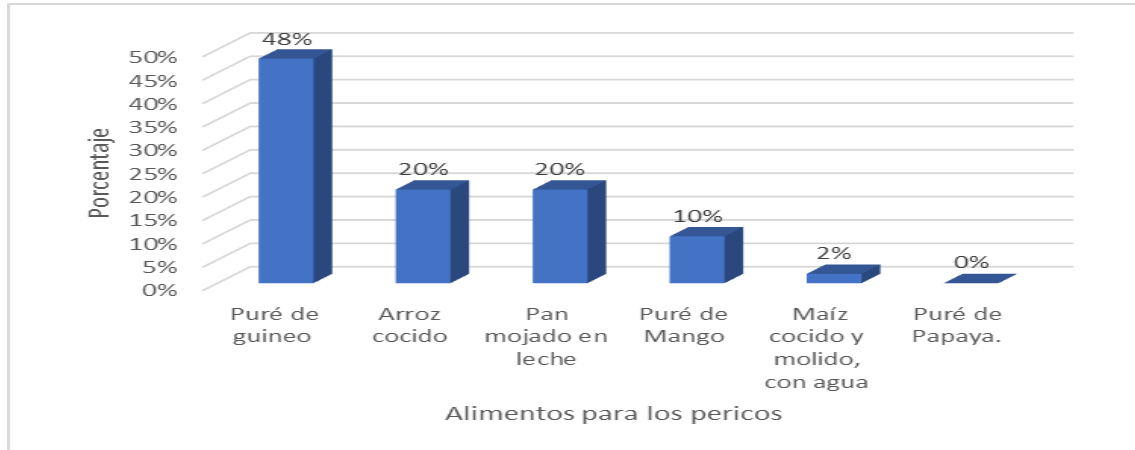
Como se daba la alimentación de los pericos en cautiverio



En cuanto a que tipo de alimento se les proporciona a los pericos en cautiverio, el 48% comenta que puré de guineo, el 20% arroz cocido y pan mojado con leche, y un 10% pure de mango.

Figura 7.

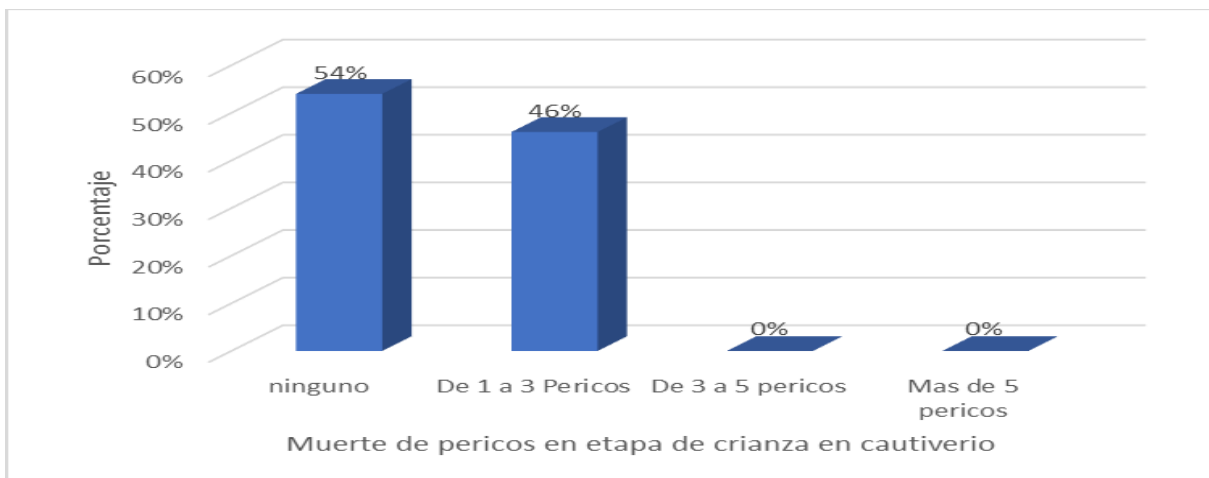
Alimentación de los pericos en cautiverio.



En la figura 8, el 46% de los encuestados comenta que de uno a tres pericos se le han muerto en la etapa de crianza mientras que un 55% comenta que jamás se le ha muerto ninguno de ellos.

Figura 8.

Muerte de los pericos en etapa de crianza durante el cautiverio.



El 54% de los encuestados consideran que con agua de arroz bañan a los

pericos tal como se presenta en la tabla 9, mientras que un 34% considera que bañarlo con agua limpia es lo más aconsejable. Y un 12% respondió que no le practican ningún tipo de baño a los pericos.

Figura 9.

Cuidado del plumaje y aseo de los pericos piqui blancos

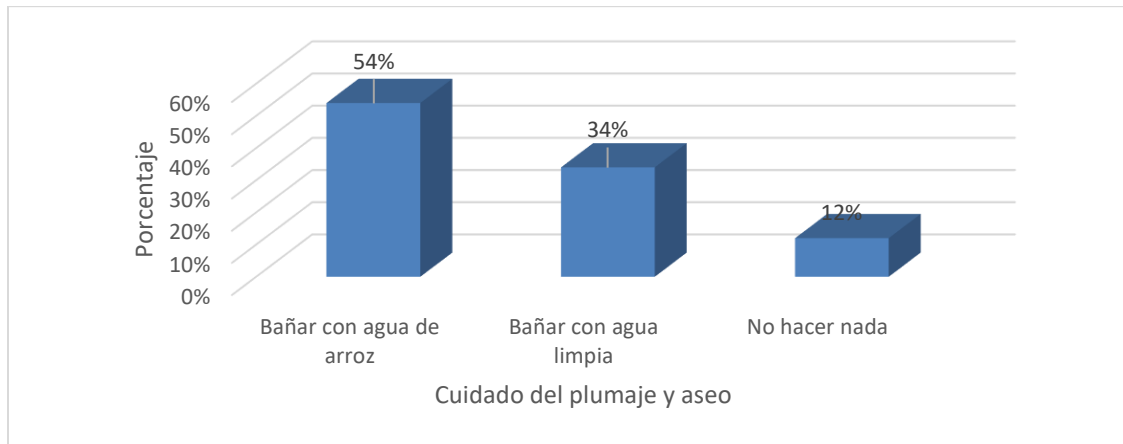


Figura 10.

Pericos en diferentes etapas en cautiverio.



Fuente: (ROAVIS/CAWEN).

Nota: 11-A, Pericos piqui blancos con el cuerpo cubierto de plumas. 11.B, Comején en un árbol (es el lugar que los pericos hacen sus nidos. 11-C, Pericos en el interior de su nido, un comején 11-D, Pericos con pocas plumas en el cuerpo y el de la esquina inferior derecha en la misma figura es un perico con cuerpo sin plumas (polluelo).

Discusión

Un 92% de los jóvenes de las escuelas sujetas a este estudio, en donde el objetivo era estudiar la alimentación y cuidados en cautiverio del perico piqui blanco en la región de Los Santos, en la estación seca, son del nivel Premedia – Media (secundaria) en el rango de 12 a 18 años, los cuales se dedican a la cría de pericos en cautiverio y específicamente a la especie *B. jugularis*; mientras que un 8% pertenecen al nivel técnico.

Este comportamiento, de tener aves como mascotas, este arraigado, ya que como lo comenta Cooke et. al. (2011) la familia de los psitacidos tiene gran importancia en la alimentación y ritos ceremoniales de los pueblos prehispánicos y cómo, estas especies siguen teniendo preponderancia en las poblaciones costeras que conforman la Región de Azuero de hoy día. Cabe destacar la presencia de huesos de loro (*A.ochrocephala*) en entierros en poblaciones prehispánicos de esta región (Ridgely y Gwynne, 2005, p.167).

Herrera et. al. (2023) describe en su investigación, que, en Plato, Magdalena del Caribe Colombiano, el uso de fauna silvestre como mascotas afecta principalmente a las especies *Ara araruana*, *Ara macao*, *Eupsittula pertinax*, *Brotogeris jugularis*, *Amazona ochrocephala*, *Thraupis episcopus*, y *Sicalis flaveola*, esto concuerda con algunos autores que señalan que Psitácidos y aves Canoras, por su comportamiento social y llamativos colores, son frecuentemente utilizadas como mascotas.

Con respecto a la figura 3, el 62% de los pericos cautivos son atrapados en la etapa de polluelo (ver figura 11-D), ya que no vuelan (Ruiz et. al., 2018).

En la figura 4, los árboles en que predominan los comejenes o nidos de pericos (ver figura 11- B) en las áreas urbanas lo encabezan el Guácimo con un 40%, seguido de ciruelo con un 18% y en tercer lugar el árbol de mango con un 16% lo que coincide con Echeverry et. al., (2022) ya que los árboles concuerdan. Además, señala que los árboles sirven de

alimento al producir frutos como: mango (*Mangifera indica*), guayaba (*Psidium guajava*) e higuierón (*Ficus luschnathiana*) y yemas e inflorescencias de guarumo (*Cecropia peltata*). Estas plantas se encontraban cerca de cuerpos de agua, bordes de carreteras y asentamientos humanos.

Con respecto a la figura 5, en la cual se evidencia que el 48 por ciento crían de 1 a 3 pericos, siendo la especie *B. jugularis* (figura 11-A) la más afectada en un 90 por ciento. El estudio señala que la especie *B. jugularis*, es altamente afectada por la comercialización ilegal debido a características como: su pequeño tamaño, facilidad de mantenimiento y un menor precio en el mercado, que los hacen muy preferidos como aves de jaula (Baquer y Baptiste, 2004) citado por (Restrepo y Pulgarín, 2017). Otro estudio del parque Summit coloca al *B. jugularis* (perico piqui blanco) como especie de mayor abundancia registrada en el Parque Municipal Summit (Guevara y Delgado, 2021). Lo que coincide con el hecho de que al ser más abundante existe más capturas de esta especie referente a la otra. Además, según Rojas *et. al.*, (2013), *B. jugularis* fue la especie de Psitácido con mayor cantidad de decomisos en base al comercio ilegal en Colombia con 285 en el año 2013. Esta especie, se enfrenta a amenazas de origen antropogénico directas como la caza ilegal para comercio o tenencia como mascota e indirectas como la pérdida y fragmentación de sus hábitats (Hernández *et. al.*, 2022).

En la figura 6, el 54 por ciento de los pericos capturados son alimentados con jeringas grandes, específicamente con puré de guineo en un 48 por ciento, con arroz cocido y pan mojado con leche en un 20 por ciento en ambos casos (figura 7). Estudios con *B. jugularis* en cautiverio recomiendan una proporción de 50 gr / animal / día de frutas, verduras, semillas y suplementos, variando la fuente de dichos alimentos (Dynamica, 2006). Podemos señalar que *B. jugularis* alimentados sólo con puré de guineo y arroz o pan con leche, realmente no supe la alimentación necesaria en sus primeras etapas de vida. De ahí que uno a tres pericos muere en la etapa de crianza, según el 46 por ciento de los encuestados (figura 9). En muchos países se recurre a la alimentación artificial tradicional de pichones de loros de vida libre con pan mojado en leche, pero productos lácteos como leche suministrados en exceso en la dieta pueden provocar diarreas en los psitácidos, ya que estas especies no cuentan con la enzima lactasa capaz de desdoblar la lactosa presente en estos alimentos (Soto y Bert, 2011). Mientras que, un 55 por ciento comenta

que jamás se le ha muerto ninguno de ellos, alcanzando la experticia en la cría de esta especie de la familia de los Psitácidos. Este perico se alimenta de diversos frutos silvestres, pero también se le reconoce como plaga para el cultivo de maíz (Monge, 2013). Pero, muchos criadores coinciden en que al alimentarlos con jeringas tiene la problemática que también se le inyecta aire en el tracto digestivo al alimentarlos y con ende en el buche, poniéndolos tristes y desnutridos, ya que se están inflados con aire y no con alimentos.

Dada la alta mortalidad derivada de la extracción de especímenes adultos de los ambientes naturales, la mayoría de los casos observables de sobrevivientes en cautiverio, corresponde a animales capturados en estadios neonatales o juveniles criados por sus captadores, de lo cual necesariamente se derivan procesos profundos de amansamiento, que acarrearán necesariamente alteraciones fisiológicas y conductuales que podría poner en riesgo su bienestar y sobrevivencia, sin dejar de lado otro factor definitorio que es la imposibilidad de su retorno a los ambientes naturales, sin la previa mediación de procesos de rehabilitación que son complejos, costosos y prolongados, además de poco frecuentes dentro del territorio nacional (Cely, (2021).

Con respecto al cuidado del plumaje y aseo de los pericos piqui blancos que realizan sus captadores, el 46 por ciento lo bañan con agua de arroz, 34 por ciento con agua limpia y el 12 por ciento no hacen nada, este dato demuestra lo arraigado que está la creencia de los mismo que el agua de arroz, estimula las defensas, el apetito y el desarrollo en pájaros jóvenes para lograr un hermoso plumaje, pero no coincide con otro autor que comenta que el uso de regaderas automáticas o aspersores de agua sobre las superficies del techo o suelo del aviario simulando la lluvia a la que no tenía acceso los animales por la construcción del aviario, permitieron evidenciar otros comportamientos de los animales como bañarse, limpiarse la plumas, acicalarse entre individuos, agitar las alas y emitir sonidos en un lapso pequeño de tiempo. Este comportamiento podría ser interpretado como un elemento enriquecedor que les agrada mucho y les proporciona confort en días muy calurosos (Rivera, 2015).

Conclusiones

El 90% prefiere criar pericos piqui blanco, el 48% respondió que crían de 1

a 3 individuos, y el 46% de los encuestados reportó que se les mueren de 1 a 3 pericos. El 54% de los encuestados admiten que usan una jeringuilla grande para alimentar a los pericos, un 24% deja que se alimenten solos y un 22% le abren el pico para alimentarlos.

En cuanto al tipo de alimento se les proporciona a los pericos en cautiverio, el 48% comenta que puré de guineo, el 20% arroz cocido y pan mojado con leche, y un 10% pure de mango.

El 54% de los encuestados bañan a los pericos con agua de arroz, mientras que un 34% lo bañan con agua limpia. Un 40 % de los encuestados señalan que capturan los pichones de pericos en árboles de Guásimo con un 40%, seguido de ciruelo con un 18% y en tercer lugar el mango con un 16%.

Agradecimientos

Agradecemos a los estudiantes de los colegios: Instituto Profesional y Técnico de Azuero, Francisco I. Castellero y el Instituto Coronel Segundo de Villarreal en la provincia de Los Santos, que han realizado la cría de pericos piqui blanco en sus labores cotidianas en dicha comunidad y que se brindaron para proporcionarnos los datos de estas encuestas.

Referencias bibliográficas

- Baquero, M.V., y Baptiste, L.G. 2004. Dinámica de comercialización ilegal de especies de la familia Psittacidae y contexto sociocultural en las ciudades de Villavicencio, Girardot, Bogotá D.C y el Municipio del Espinal, Colombia. In: Memorias de Manejo de Fauna Silvestre en Amazonía y Latinoamérica. pags 660–682. E Bird. 2023. Perico carisucio, *Eupsittula pertinax*. The Cornell Lab of Ornithology. https://ebird.org/species/brtpar1?siteLanguage=es_PA
- Briñez, D. K. R., Silva, M. R., y Melo, J. E. G. (2013). Estado actual y perspectivas de conservación frente al comercio ilegal de fauna silvestre en el departamento del Tolima (Colombia). *Tumbaga*, 1(8), 97-111. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5014994>
- Cely, G. E. E. (2021). Las psitácidas y el cautiverio. *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias-FAGROPEC*, 13(1), 73-78.

<https://editorial.uniamazonia.edu.co/index.php/fagropec/article/view/156>

Cooke, R., Jiménez, M. y Ranere, A. (2011). Influencias humanas sobre la vegetación y fauna de vertebrados de Panamá: actualización de datos arqueozoológicos y su relación con el paisaje antrópico durante la época precolombina. *Revista de Arqueología Americana*, 29, 7-38. Pag. 573. https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/18765/stri_Cookeetal2007_InfluenciasHumanas.pdf

Dynamica. (2006). Protocolos de reproducción ex situ y ensayos preliminares para el perico real (*Brotogeris jugularis*). https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/fauna/AIRNR_CN_6631_2006.pdf

Echeverry-Galvis, M. Á., Acevedo-Charry, O., Avendaño, JE, Gómez, C., Stiles, FG, Estela, FA, y Cuervo, AM (2022). Lista oficial de las aves de Colombia 2022: Adiciones, cambios taxonómicos y actualizaciones de estado. *Ornitología Colombiana*, (22), 25-51. <https://asociacioncolombianadeornitologia.org/ojs/index.php/roc/issue/archive>

Gaceta oficial del 27 de enero de 1978. Ley 14 del 28 de octubre de 1977 por la cual se aprueba la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES). <https://docs.panama.justia.com/federales/leyes/14-de-1977-jan-27-1978.pdf>

Guevara, N., y Delgado, E. (2021). Riqueza y abundancia de la diversidad de aves en el parque municipal summit, república de Panamá. *Tecnociencia*, 23(2), 110-139. <https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/2271>

Hernánd-Avendaño, P.; Peñuela-Díaz, G. y Carvajal-Cogollo, J. (2022). Uso de hábitat y análisis preliminar de la dieta del periquito bronceado *Brotogeris jugularis* en un paisaje rural del piedemonte llanero colombiano. *Intropica* 17 (1): 37-46. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8686411>

Herrera, R. G., Racero-Casarrubia, J., y Ballesteros-Correa, J. (2023). Uso de fauna silvestre por comunidades campesinas en Plato, Magdalena, región Caribe colombiana. *Acta Biológica Colombiana*, 28(1). <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/94140>

Monge, J. (2013). Lista actualizada de aves dañinas en Costa Rica (2012). *UNED Research Journal*, 5(1), 111-120. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/cuadernos/article/view/197>

Ministerio de Ambiente. (29 de diciembre de 2016). Resolución N° DM-0657-2016 (De viernes 16 de diciembre de 2016): Por la cual se establece el proceso para la elaboración y revisión periódica del listado de las especies de fauna y flora amenazadas de Panamá, y se dictan otras disposiciones. *Gaceta Oficial Digital*, 28187-A. Resolución N° DM-0657-2016 (De viernes 16 de diciembre de 2016): N° 28187-A.

https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/28187_A/GacetaNo_28187a_20161229.pdf

- Restrepo-Rodas, D. C., y Pulgarín-Restrepo, P. C. (2017). Dinámicas de los loros en cautiverio en Colombia: tráfico, mortalidad y liberación: Captivity parrots in Colombia: traffic, mortality and liberation. *Ornitología Colombiana*, (16), 1-23. <https://asociacioncolombianadeornitologia.org/wp-content/uploads/2018/11/16eA0601-23.pdf>
- Ridgely R. y Gwynne, J. (2005). *Guía de las Aves de Panamá*. 2da ed. Sociedad Audubon de Panamá. Ancón Panamá.
- Rivera Yepes, I. A. U. R. A. (2015). *Aplicación del uso de enriquecimiento ambiental en el bienestar animal en ara ararauna, amazona amazonica, amazona autumnalis (aves: psittacidae) en cautiverio en el zoológico de cafam, melgar (Doctoral dissertation)*. <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/1235>
- Rodas, J. Á., Serna, C. M., y Giraldo, A. G. (2016). Conservación de especies amenazadas de la familia Psittacidae desde la Institución Universitaria Pascual Bravo. *Cuaderno activa*, 8, 87-99. *zoológica*, 245-252. <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/333>
- Rojas-Briñez D.; Regis-Silvall, M. y García-Melo J. (2013). Estado actual y perspectivas de conservación frente al comercio ilegal de fauna silvestre en el departamento del Tolima (Colombia). *Revista Tumbaga*, 1(8), pp. 97-111. <https://revistas.ut.edu.co/index.php/tumbaga/article/view/297/346>
- Ruiz-Guerra, C., Fierro, K., Eusse, D., Suárez, J., Cifuentes-Sarmiento, Y., y Creativa, N. (2018). *Un buen amigo de las aves en los espacios urbanos*. [Un-buen-amigo-de-las-aves-en-los-espacios-urbanos.pdf \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/330111111_Un-buen-amigo-de-las-aves-en-los-espacios-urbanos)
- Soto. C. y Bert, E. (2011). Principios en la alimentación de psitácidas. *REDVET*. 12(11). <https://www.redalyc.org/pdf/636/63622049012.pdf>

Efecto de la sobreexpresión de CCL1 (I-309) en las espinas dendríticas de neuronas del hipocampo

Effect of CCL1 (I-309) overexpression on dendritic spines of hippocampal neurons

Lorena L. Adames-Torres

Universidad de Panamá, Facultad de Medicina, Panamá.

lorenaadamest09@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-1518-5404>

Alanna S. Madrid L

INDICASAT AIP, Centro de Neurociencias, Panamá.

amadrid@indicasat.gob.pa

<https://orcid.org/0009-0000-4564-9960>

Kevin G. Mata A.

INDICASAT AIP, Centro de Neurociencias, Panamá.

kmata@indicasat.org.pa

<https://orcid.org/0009-0006-6799-040X>

Julio A. Flores-Cuadra

INDICASAT AIP, Centro de Neurociencias, Panamá

floresjulio27@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-2129-4581>

Gabrielle B. Britton

INDICASAT AIP, Centro de Neurociencias, Panamá
Sistema Nacional de Investigación- SENACYT, Panamá

gbritton@indicasat.org.pa

<https://orcid.org/0000-0002-1758-2495>

Alcibiades E. Villarreal

INDICASAT AIP, Centro de Neurociencias, Panamá
Sistema Nacional de Investigación- SENACYT, Panamá

avillarreal@indicasat.org.pa

<https://orcid.org/0000-0002-6684-0593>

María B. Carreira F.INDICASAT AIP, Centro de Neurociencias, Panamá
Sistema Nacional de Investigación- SENACYT, Panamá.mcarreira@indicat.gob.pa<https://orcid.org/0000-0001-5306-0021>Recibido
22/07/2024Aceptado
18/11/2024DOI <https://doi.org/10.48204/j.scientia.v35n1.a6658>

Resumen

La acumulación irregular de la proteína β -amiloide ($A\beta$), la proteína tau hiperfosforilada y la neuroinflamación son factores que afectan la función neuronal en la Enfermedad de Alzheimer (EA). La neuroinflamación asociada a la EA podría causar el daño sináptico por sí mismo o exacerbar el daño causado por la acumulación de $A\beta$. Se ha detectado un aumento de la citocina CCL1 (I-309) en el suero de sangre periférica de personas con Deterioro Cognitivo Leve (DCL) y con la EA, por lo que se propone que puede ser útil como un biomarcador diagnóstico del DCL y la EA. El objetivo general de este estudio fue evaluar el efecto de la sobreexpresión de la proteína CCL1 (I-309) en las espinas dendríticas de las neuronas localizadas en el hipocampo. Se utilizó ratas Sprague Dawley (N=6) como modelo animal, a quienes se les realizó cirugías estereotáxicas para inocular la sobreexpresión de CCL1. Se realizó la tinción de Golgi a los cerebros de las ratas, se utilizó un criostato para realizar los cortes histológicos y se evaluó la densidad de las espinas dendríticas mediante microscopía óptica. El ANOVA de una vía no mostró diferencias significativas ($p>0.05$) entre el grupo con sobreexpresión de CCL1 al compararlo con el grupo control y con el grupo con sobreexpresión $A\beta_{1-42}$ +CCL1. Se concluyó que la sobreexpresión de CCL1 no modifica significativamente la densidad de espinas dendríticas en el hipocampo.

Palabras clave. CCL1 (I-309), enfermedad de Alzheimer, espinas dendríticas, hipocampo, modelo animal

Abstract

Abnormal accumulation of β -amyloid ($A\beta$), hyperphosphorylated tau protein, and neuroinflammation are factors that affect neuronal function in Alzheimer's Disease (AD). AD-associated neuroinflammation could cause synaptic damage itself or exacerbate the damage caused by $A\beta$ accumulation. The cytokine CCL1 (I-309) has been detected increased in the peripheral blood serum of people with Mild Cognitive Impairment (MCI) and AD, so it is proposed that it may be useful as a biomarker for the diagnosis of MCI and AD. The general objective of this study was to evaluate the effect of overexpression of the CCL1(I-309) in the dendritic spines of neurons located in the hippocampus. Sprague Dawley (N=6) were used as an animal model, in which stereotaxic surgeries were performed to inoculate CCL1 overexpression. Golgi staining was performed on the brains of the rats, a cryostat was used to make the histological sections and the density of dendritic spines was evaluated by optical microscopy. The one-way ANOVA did not show significant differences ($p>0.05$) between the CCL1 overexpression group when compared to the control group and the $A\beta_{1-42}$ + CCL1 overexpression group. It was concluded that CCL1 overexpression does not significantly modify the density of dendritic spines in the hippocampus.

Keywords: CCL1 (I-309), Alzheimer's disease, dendritic spines, hippocampus, animal model

Introducción

La enfermedad de Alzheimer (EA) es la causa más común de demencia a nivel mundial e inicia con una disfunción de la función sináptica que causa la pérdida de la memoria y de las habilidades mentales de la persona que la padece de manera progresiva hasta provocar su muerte (Breijyeh & Karaman, 2020; World Health Organization, 2017). La EA es multifactorial, es producto de varios procesos fisiopatológicos, principalmente por la acumulación de la proteína β -amiloide ($A\beta$), por la proteína tau hiperfosforilada y por la neuroinflamación que afectan la función neuronal. Se ha propuesto que la inflamación del cerebro ocurre tempranamente en los estadios preclínicos de la EA y puede jugar un papel en la patología de la enfermedad (Monson et al., 2014).

Las neuronas tienen la capacidad única de comunicarse entre ellas a través de espinas dendríticas o gémulas que son diminutas proyecciones especializadas de la superficie de las dendritas, que representan los sitios de contacto sináptico con terminales del axón de otras neuronas (Splittgerber, 2019). Si ocurren cambios en el número y forma de las espinas dendríticas se puede alterar su dinámica, como ocurre cuando se acumula oligómeros de $A\beta$ en la EA (Borbély et al., 2014; Dorostkar et al., 2015; Kasza et al., 2017; Ramírez et al., 2018). La neuroinflamación asociada a la EA también puede causar el daño sináptico por sí mismo o exacerbar el daño causado por la acumulación de $A\beta$ (Dorostkar et al., 2015; McGeer & McGeer, 1999).

La neuroinflamación asociada a la EA se ha descrito parcialmente; de particular interés, estudios proteómicos han identificado biomarcadores inflamatorios de los cuáles poco se conoce en relación a su función en sistema nervioso y rol en enfermedades como la EA (Brosseron et al., 2021; Gupta et al., 2017; O'Bryant et al., 2011). Nuestro grupo, Panama Aging Research Initiative (PARI-HD), identificó la proteína I-309 (CCL1) diferencialmente expresada en una cohorte panameña de personas mayores sanos (control), con diagnóstico de Deterioro Cognitivo Leve (DCL) y con la EA (Villarreal et al., 2016). Asimismo, en el meta-análisis realizado por Zhou et al. (2023) sobre las quimiocinas detectadas en la sangre y el fluido cerebroespinal de personas con DCL y EA, concluyeron que varias quimiocinas, entre ellas la CCL1, tuvieron diferencias significativas por lo que

concluyeron que las quimiocinas podrían servir como marcadores moleculares de deterioro cognitivo.

La CCL1 (I-309) es miembro de la familia de quimiocinas CC cuya función es atraer células inmunes a los sitios donde ocurre injuria o infección y es producida por los linfocitos T (Ito et al., 2019). En relación al sistema nervioso, estudios han demostrado que la activación de las células gliales producen la neuroinflamación como una respuesta para combatir los cambios que ocurren en la fase preclínica de la EA, pero que a medida que progresa la EA la respuesta inmune aumenta y puede producir mayor daño en la función sináptica (Al-Ghraiya et al., 2022). Los astrocitos inducidos por mediadores inflamatorios (ejemplo: TNF α , IL-1 α , C1q) secretan varias quimiocinas que se unen a receptores específicos para cumplir un rol en la patología de la EA (Liu et al., 2014), como la CCL1 que se une al receptor CCR8 que se expresa en neuronas, astrocitos, y en la microglía aumenta su proliferación y capacidad fagocítica (Akimoto et al., 2013), como también en células T y monocitos-macrófagos para atraerlas al sitio de inflamación (Ito et al., 2019).

Estos hallazgos proponen que la CCL-1 es una quimiocina regulada en la EA, con una función neuroinflamatoria. Evaluamos la acción de la citocina CCL1 en la estructura sináptica de las neuronas del hipocampo mediante sobreexpresión de la proteína CCL1 (I-309) utilizando administración intracerebral. Reportamos que la sobreexpresión de la CCL1 no causó cambios significativos en el número de espinas dendríticas comparado con el grupo control. Este hallazgo sugiere que la sinapsis no se afecta ante la sobreexpresión de la CCL1 (I-309).

Materiales y métodos

Se realizó un estudio experimental controlado con ratas Sprague Dawley de aproximadamente 250 g como modelo animal de la EA. Las ratas jóvenes se mantuvieron bajo condiciones estándares con libre acceso a agua y comida en un ciclo de 12 horas luz y 12 horas de oscuridad siguiendo las normas establecidas por el Comité Institucional de Cuidado y Uso de Animales (CICUA) de INDICASAT AIP (estudio aprobado el 8 de julio de 2019 mediante la nota CICUA19-006) para garantizar los aspectos éticos de las investigaciones con animales.

Para evaluar las espinas dendríticas de las neuronas del giro dentado del hipocampo, Cada grupo experimental contó con dos ratas y se evaluaron tres neuronas piramidales del hipocampo dorsal por cada animal (n=6 por grupo).

Las ratas fueron anestesiadas con una inyección intraperitoneal de una mezcla de ketamina y xilazina. Los animales fueron colocados en un aparato estereotáxico (Stoelting, USA) se les realizó una incisión en la línea media del cuero cabelludo, luego la piel y los músculos fueron cuidadosamente abiertos para exponer el cráneo, y se perforó un agujero sobre el área objetivo siguiendo las coordenadas Bregma: AP -3.8, ML +/-2, DV -4.2.

Se utilizó micro-inyectores para infusión del vector AAV-GFP + mCherry, AAV CCL1-mCherry y AAV-A β ₁₋₄₂-GFP+ CCL1-mCherry (Vector Biolabs) en el área CA1 del giro dentado del hipocampo. El animal se recuperó con cuidados postoperatorios por una semana, se esperó tres semanas para la expresión del vector AAV; transcurrido ese tiempo, se realizó la extracción del cerebro, se realizó la Tinción rápida de Golgi y por último se observó al microscopio (Figura 1).

Figura 1

Estrategia experimental para evaluar el efecto de la sobreexpresión de CCL1 en las espinas dendríticas de las neuronas del giro dentado del hipocampo.



El procedimiento de Tinción Rápida de Golgi (Pilati et al., 2008), con modificaciones menores, fue el siguiente: las ratas fueron anestesiadas con una sobredosis de ketamina/xilazina antes de remover los cerebros de sus cráneos. Los cerebros se retiraron de los cráneos, cortados por la mitad, y fijados inmediatamente en paraformaldehído al 5% (Sigma) en PBS con un pH 7.6 durante 2 días a 21°C; después de la fijación inicial, los cerebros se incubaron en una solución cromatada recién preparada conteniendo 3% de dicromato de potasio (MERCK) y 5% de paraformaldehído en PBS con pH 7.6, con cambios diarios de solución recién preparadas.

Después de 48 horas de cromación, los cerebros se lavaron varias veces con una solución de nitrato de plata al 2% (AppliChem) en agua destilada antes de la incubación en nitrato de plata durante otras 48 horas para que se produjera la precipitación de metales pesados. Los cerebros se cubrieron con papel de aluminio, para evitar la exposición a la luz, y se guardaron a 4°C.

Se cortaron secciones de cerebro en un criostato rotatorio de alta gama MNT (Slee, Alemania) a 5°C con un grosor de 80 micrómetros. Se colocaron a temperatura ambiente en portaobjetos cubiertos con gelatina y montados utilizando DPX (Sigma).

Las secciones Golgi fueron estudiadas por microscopía óptica de luz Leica DM 3000 LED usando el objetivo de 100x de inmersión. Se contaron un total de 3 neuronas piramidales del hipocampo dorsal por cada animal. Se analizó la densidad de las espinas proximales apicales (mínimo 100 micrómetros de soma). Cada neurona fue examinada y se eligió un segmento de 10 micrómetros de longitud de una dendrita de segundo o tercer orden (que sobresaliera de su dendrita apical original) para la cuantificación de la densidad de la columna (Ramírez et al., 2018). Todos los análisis por microscopía se hicieron ciego a condición experimental.

Las imágenes de las dendritas apicales seleccionadas se capturaron a través de una cámara fotográfica Leica MC170 HD conectada al microscopio óptico Leica (origen: Alemania). Se capturaron imágenes en serie de cada dendrita en todo el segmento analizado (Z-stack) utilizando el Programa Leica Application Suite versión 4.12.0. Las microfotografías de una dendrita se apilaron en un solo archivo. En la configuración manual del Programa se estableció un límite máximo de 40 capturas con un intervalo aproximado de dos micrómetros entre cada una. La cantidad de fotografías se tomaban hasta lograr captar toda la profundidad de la dendrita de interés.

Se utilizó el Programa ImageJ para Windows (ImageJ blunded with 64-bit Java 8) para la evaluación de las secciones con tinción rápida de Golgi.

Se tabularon los datos con gráficos utilizando el promedio y el Error Estándar de la Media. El análisis estadístico se completó utilizando Prism GraphPad (versión 10) en donde se realizó la prueba de análisis de la varianza (ANOVA) de una vía y la prueba múltiple de comparación de Tukey.

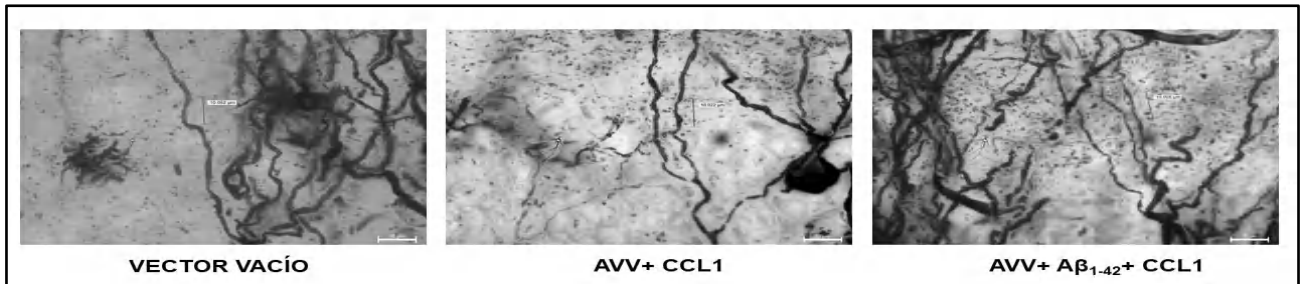
Resultados

Se observaron y contabilizaron el número de espinas dendríticas de las neuronas del giro dentado del hipocampo de un segmento de 10 μm de longitud teñidas con la tinción Golgi según condición experimental.

En la Figura 2 se muestran las imágenes fotográficas representativas de los tres grupos experimentales: **A.** AAV-GFP + mCherry (Vector vacío/Control), **B.** AAV-CCL1-mCherry y **C.** AAV-A β_{1-42} + CCL1-mCherry.

Figura 2

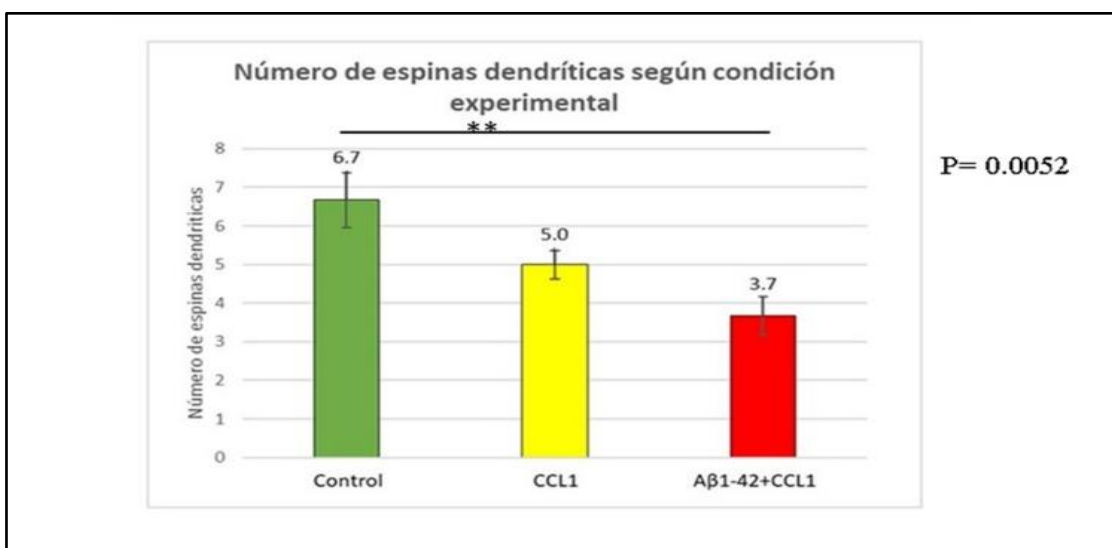
Microscopia óptica de las espinas dendríticas de las neuronas maduras del giro dentado según condición experimental, magnificación con objetivo de 100X.



En la Figura 3, reportamos diferencia significativa ($F(2, 15) = 7.625$ y una $P = 0.00520$), específicamente entre el grupo Control (vector vacío) y el grupo experimental $AVV + A\beta_{1-42} + CCL1$ ($p = 0.0038$), mientras no hubo diferencias significativas entre el grupo Control versus el grupo experimental ($p = 0.1102$) ni entre el grupo experimental $AVV + CCL1$ versus el grupo experimental $AVV + A\beta_{1-42} + CCL1$ ($p = 0.2261$).

Figura 3.

Gráfico de número de espinas dendríticas de las neuronas del giro dentado del hipocampo de cerebro de rata según condición experimental.



Discusión

La neuroinflamación juega un papel importante en la EA, ya que sus efectos se pueden evidenciar en todas las etapas de la enfermedad (Götz et al., 2018; McLarnon, 2014; Xia et al., 2017). Recientes estudios preclínicos y clínicos han demostrado que la respuesta inflamatoria inicia muchos años antes que se formen las placas seniles y los ovillos neurofibrilares, durante el estadio preclínico de la EA, como un método de defensa y búsqueda de la homeostasis celular (Leng & Edison, 2021; Monson et al., 2014).

La EA se caracteriza por la acumulación anómala del péptido A β y la proteína tau fosforilada que conducen a una respuesta inflamatoria de la microglía que libera moléculas, como citocinas proinflamatorias, que pueden causar daño neuronal y degeneración (Petrulia et al., 2020). Las quimiocinas en la EA regulan la migración microglial y el reclutamiento de los linfocitos al área de la inflamación que se produce por el depósito de A β .

En el estudio realizado por Ito et al. (2019) determinaron que la proteína CCL1 (I-309) promueve la infiltración de linfocitos T reguladores en el cerebro de ratones que suprime la astrogliosis, posibilitando la recuperación neurológica después de un accidente isquémico. La quimiocina I-309 atrae y recluta células inflamatorias al sitio de la lesión y su aumento constante en pacientes con deterioro cognitivo leve puede indicar un aumento de la lesión cerebral o bien un mecanismo para promover la neurogénesis, que es un proceso que se ha propuesto como compensatorio en la EA (Taupin, 2009; Zhou et al., 2023).

Se ha podido corroborar mediante estudios de la actividad electrofisiológica que las neuronas están hiperactivas en los estadios iniciales de la EA producto de la acumulación de A β y tau fosforilada, y progresivamente van perdiendo función

sináptica (Tzavellas et al., 2024). Se ha evidenciado que las espinas dendríticas pueden reorganizarse, cambiar de números y de formas durante la plasticidad sináptica (Chidambaram et al., 2019). Estudios han descrito una disminución de las espinas dendríticas en presencia de $A\beta_{1-42}$ (como el de Ramírez et al. (2018) Borbély et al. (2014) y Kasza et al. (2017)). En nuestro estudio, la sobreexpresión de la proteína CCL1 no disminuyó el número de espinas dendríticas de manera significativa, pero sí disminuyó significativamente el número de dendritas en el grupo con el vector $A\beta_{1-42}$ + CCL1 comparado con el grupo control, lo que coincide con estudios anteriores.

La neurotoxicidad producida por la $A\beta$ en el hipocampo provoca neuroinflamación y neurodegeneración, evidenciado por pérdida de sinapsis. Proponemos que estos cambios subyacen el deterioro cognitivo asociado a amiloide (Facchinetti et al., 2018) y sugieren que, en el contexto de la acumulación del péptido $A\beta$, la CCL1 no juega un rol modulador en la densidad sináptica.

El estudio de los mecanismos que producen la pérdida de sinapsis puede ayudar a comprender mejor la enfermedad, y en un futuro prevenir su aparición y el progreso mediante la fabricación de medicamentos y/o terapias específicas. Por ello, son importantes los estudios en modelos animales para comprender el rol de todas las proteínas involucradas (Bale et al., 2019).

Este estudio tuvo limitaciones importantes a tomar en consideración. La técnica de tinción por Golgi varía considerablemente, y es posible que el método que estandarizamos en este estudio sea menos conducente a evaluación de espinas (Ramírez et al., 2018). Aunque la unidad de análisis es la neurona, y se obtienen múltiples neuronas por cada animal, el estudio se basa en pocos animales por grupo. Futuros estudios podrán confirmar y ampliar los hallazgos de este estudio.

Conclusión

La citocina CCL1 (I-309) ha sido útil como biomarcador para detectar los estadios preclínicos de la EA como se reportó en el estudio de Villarreal et al., (2016) y en nuestro estudio se observó que la sobreexpresión de la citocina no disminuyó significativamente el número de espinas dendríticas de las neuronas en el hipocampo, pero sí se evidenció la fragilidad de las espinas dendríticas ante la sobreexpresión del péptido A β ₁₋₄₂, involucrado en la neurodegeneración como se ha observado en otros estudios.

En base a los resultados obtenidos recomendamos que para futuros estudios se confirme la observación en muestras adicionales evaluando la morfología de las espinas dendríticas utilizando microscopía confocal.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) bajo el contrato N°178-2019 a raíz de la Convocatoria Pública de Nuevos Investigadores 2019. A la doctora Maricela Urroz, directora del Departamento de Histología Humana y a la magister Hildauro Acosta de Patiño, directora del CIIMET, de la Facultad de Medicina, Universidad de Panamá por autorizar el uso de los equipos de microscopía óptica con cámara Leica para la captura de las imágenes. Al licenciado Andrés Salazar, especialista en equipos de ALPHA MEDIQ, S.A quien capacitó y asesoró en el uso del programa Leica Application Suite (LAS) versión 4.12.0 para la captura de imágenes.

Referencias bibliográficas

- Akimoto, N., Ifuku, M., Mori, Y., & Noda, M. (2013). Effects of chemokine (C-C motif) ligand 1 on microglial function. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 436(3), 455–461. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2013.05.126>
- Al-Ghraiyyah, N. F., Wang, J., Alkhalifa, A. E., Roberts, A. B., Raj, R., Yang, E., & Kaddoumi, A. (2022). Glial Cell-Mediated Neuroinflammation in Alzheimer's Disease. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 23, Issue 18). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijms231810572>
- Bale, T. L., Abel, T., Akil, H., Carlezon, W. A., Moghaddam, B., Nestler, E. J., Ressler, K. J., & Thompson, S. M. (2019). The critical importance of basic animal research for neuropsychiatric disorders. *Neuropsychopharmacology*, 44(8), 1349–1353. <https://doi.org/10.1038/s41386-019-0405-9>
- Borbély, E., Horváth, J., Furdan, S., Bozsó, Z., Penke, B., & Fülöp, L. (2014). Simultaneous changes of spatial memory and spine density after intrahippocampal administration of fibrillar β 1-42 to the rat brain. *BioMed Research International*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/345305>
- Brejyeh, Z., & Karaman, R. (2020). Comprehensive Review on Alzheimer ' s Disease : *Molecules*, 25(24).
- Brosseron, F., Kleemann, K., Kolbe, C. C., Santarelli, F., Castro-Gomez, S., Tacik, P., Latz, E., Jessen, F., & Heneka, M. T. (2021). Interrelations of Alzheimer's disease candidate biomarkers neurogranin, fatty acid-binding protein 3 and ferritin to neurodegeneration and neuroinflammation. *Journal of Neurochemistry*, 157(6), 2210–2224. <https://doi.org/10.1111/jnc.15175>
- Chidambaram, S. B., Rathipriya, A. G., Bolla, S. R., Bhat, A., Ray, B., Mahalakshmi, A. M., Manivasagam, T., Thenmozhi, A. J., Essa, M. M., Guillemin, G. J., Chandra, R., & Sakharkar, M. K. (2019). Dendritic spines: Revisiting the physiological role. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 92, 161–193. <https://doi.org/10.1016/J.PNPBP.2019.01.005>
- Dorostkar, M. M., Zou, C., Blazquez-Llorca, L., & Herms, J. (2015). Analyzing dendritic spine pathology in Alzheimer's disease: problems and opportunities. In *Acta Neuropathologica* (Vol. 130, Issue 1). Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s00401-015-1449-5>

- Facchinetti, R., Bronzuoli, M., & Scudei, C. (2018). An animal model disease based on the intrahippocampal injection of amyloide B-peptido (1- 42). In *Neurotrophic Factors: Methods and Protocols, Methods in Molecular Biology*.
- Götz, J., Bodea, L. G., & Goedert, M. (2018). Rodent models for Alzheimer disease. In *Nature Reviews Neuroscience* (Vol. 19, Issue 10, pp. 583–598). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/s41583-018-0054-8>
- Gupta, V. B., Hone, E., Pedrini, S., Doecke, J., O'Bryant, S., James, I., Bush, A. I., Rowe, C. C., Villemagne, V. L., Ames, D., Masters, C. L., & Martins, R. N. (2017). Altered levels of blood proteins in Alzheimer's disease longitudinal study: Results from Australian Imaging Biomarkers Lifestyle Study of Ageing cohort. *Alzheimer's and Dementia: Diagnosis, Assessment and Disease Monitoring*, 8, 60–72. <https://doi.org/10.1016/j.dadm.2017.04.003>
- Ito, M., Komai, K., Mise-Omata, S., Iizuka-Koga, M., Noguchi, Y., Kondo, T., Sakai, R., Matsuo, K., Nakayama, T., Yoshie, O., Nakatsukasa, H., Chikuma, S., Shichita, T., & Yoshimura, A. (2019). Brain regulatory T cells suppress astrogliosis and potentiate neurological recovery. *Nature*, 565(7738), 246–250. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0824-5>
- Kasza, Á., Penke, B., Frank, Z., Bozsó, Z., Szegedi, V., Hunya, Á., Németh, K., Kozma, G., & Fülöp, L. (2017). Studies for improving a rat model of Alzheimer's disease: ICV administration of well-characterized β -amyloid 1-42 oligomers induce dysfunction in spatial memory. *Molecules*, 22(11). <https://doi.org/10.3390/molecules22112007>
- Leng, F., & Edison, P. (2021). Neuroinflammation and microglial activation in Alzheimer disease: where do we go from here? In *Nature Reviews Neurology* (Vol. 17, Issue 3, pp. 157–172). Nature Research. <https://doi.org/10.1038/s41582-020-00435-y>
- Liu, C., Cui, G., Zhu, M., Kang, X., & Guo, H. (2014). Neuroinflammation in Alzheimer's disease: Chemokines produced by astrocytes and chemokine receptors. *International Journal of Clinical and Experimental Pathology*, 7(12), 8342–8355. <https://doi.org/10.1007/s12026-014-8342-8>
- McGeer, P. L., & McGeer, E. G. (n.d.). *Inflammation of the brain in Alzheimer's disease: implications for therapy*. <http://www.jleukbio.org>
- McLarnon, J. G. (2014). Correlated inflammatory responses and neurodegeneration in peptide-injected animal models of Alzheimer's disease. *BioMed Research International*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/923670>
- Monson, N. L., Ireland, S. J., Ligocki, A. J., Chen, D., Rounds, W. H., Li, M.,

- Huebinger, R. M., Munro Cullum, C., Greenberg, B. M., Stowe, A. M., & Zhang, R. (2014). Elevated CNS inflammation in patients with preclinical Alzheimer's disease. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, 34(1), 30–33. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2013.183>
- O'Bryant, S. E., Xiao, G., Barber, R., Huebinger, R., Wilhelmsen, K., Edwards, M., Graff-Radford, N., Doody, R., & Diaz-Arrastia, R. (2011). A blood-based screening tool for Alzheimer's disease that spans serum and plasma: Findings from TARC and ADNI. *PLoS ONE*, 6(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028092>
- Paxinos, G., & Watson, C. (2006). *The Rat Brain in Stereotaxic Coordinates* (6th Edition). Academic Express.
- Petralia, M. C., Battaglia, G., Bruno, V., Pennisi, M., Mangano, K., Lombardo, S. D., Fagone, P., Cavalli, E., Saraceno, A., Nicoletti, F., & Basile, M. S. (2020). The role of macrophage migration inhibitory factor in Alzheimer's disease: Conventionally pathogenetic or unconventionally protective? In *Molecules* (Vol. 25, Issue 2). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules25020291>
- Pilati, N., Barker, M., Panteleimonitis, S., Donga, R., & Hamann, M. (2008). A rapid method combining Golgi and Nissl staining to study neuronal morphology and cytoarchitecture. *Journal of Histochemistry and Cytochemistry*, 56(6), 539–550. <https://doi.org/10.1369/jhc.2008.950246>
- Ramírez, E., Mendieta, L., Flores, G., & Limón, I. D. (2018). Neurogenesis and morphological-neural alterations closely related to amyloid β -peptide (25–35)-induced memory impairment in male rats. *Neuropeptides*, 67, 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.npep.2017.11.001>
- Splittgerber, R. (2019). Neurons and neuroglia. In *Snell's Clinical Neuroanatomy* (8th ed., pp. 48–51). Wolters Kluwer.
- Taupin, P. (2009). Adult Neurogenesis, Neural Stem Cells and Alzheimer's Disease: Developments, Limitations, Problems and Promises. In *Current Alzheimer Research* (Vol. 6).
- Tzavellas, N. P., Tsamis, K. I., Katsenos, A. P., Davri, A. S., Simos, Y. V., Nikas, I. P., Bellos, S., Lekkas, P., Kanellos, F. S., Konitsiotis, S., Labrakakis, C., Vezyraki, P., & Peschos, D. (2024). Firing Alterations of Neurons in Alzheimer's Disease: Are They Merely a Consequence of Pathogenesis or a

Pivotal Component of Disease Progression? In *Cells* (Vol. 13, Issue 5).
<https://doi.org/10.3390/cells13050434>

Villarreal, A. E., O'Bryant, S. E., Edwards, M., Grajales, S., & Britton, G. B. (2016). Serum-based protein profiles of Alzheimer's disease and mild cognitive impairment in elderly Hispanics. *Neurodegenerative Disease Management*, 6(3), 203–213. <https://doi.org/10.2217/nmt-2015-0009>

World Health Organization. (n.d.). *Global action plan on the public health response to dementia*. <http://apps.who.int/bookorders>.

Xia, Z., Peng, W., Cheng, S., Zhong, B., Sheng, C., Zhang, C., Gong, W., Cheng, S., Li, J., & Wang, Z. (2017). Naoling decoction restores cognitive function by inhibiting the neuroinflammatory network in a rat model of Alzheimer's disease. In *Oncotarget* (Vol. 8, Issue 26). www.impactjournals.com/oncotarget/

Zhou, F., Sun, Y., Xie, X., & Zhao, Y. (2023). Blood and CSF chemokines in Alzheimer's disease and mild cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis. In *Alzheimer's Research and Therapy* (Vol. 15, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s13195-023-01254-1>

Brote de Leptospirosis, en la comunidad de Nuevo Vigía, provincia de Darién, junio - julio 2022

Leptospirosis outbreak in the community of Nuevo Vigía, province of Darién, June - July 2022

José Ángel Hernández Ortiz

Ministerio de Salud, Panamá

jose-a.hernandez@up.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0000-8829-7571>

Recepción
16/07/24

Aprobación
19/11/24

DOI <https://doi.org/10.48204/j.scientia.v35n1.a6659>

Resumen

La leptospirosis es de las zoonosis más difundidas en el mundo, causada por una espiroqueta del género *Leptospira*. Esta investigación se hizo con el objetivo de describir un brote de Leptospirosis, en Darién, en la comunidad de Nuevo Vigía, durante los meses de junio a julio de 2022. Es un estudio descriptivo, serie de casos, definiéndose caso confirmado: residentes en Nuevo Vigía, sospechosos de leptospirosis, con prueba positiva de *Leptospira* por Elisa IgM. Se realizó encuesta a residentes de la casa del caso índice, y vecinos en un radio de 100 metros, con sintomatología compatible caso sospechoso: residente en Nuevo Vigía con fiebre de inicio brusco, cefalea, mialgia y/ o con uno o más de los síntomas: náuseas, vómitos, dolor abdominal, diarreas y artralgias desde el 15 de junio del 2022. Los hombres fueron los más afectados, la cefalea fue el síntoma más común y son factores de riesgo: agua almacenada sin protección, existencia de ratones y alimentos en el suelo.

Palabras clave: Enfermedad de weil, zoonosis, brote de enfermedad, enfermedades desatendidas, Panamá.

Abstract

Leptospirosis is one of the most widespread zoonoses in the world, caused by a spirochete of the genus *Leptospira*. This research was carried out with the aim of describing an outbreak of Leptospirosis, in Darién, in the community of Nuevo Vigía, during the months of June to July 2022. It is a descriptive study, a series of cases, defining a confirmed case: residents of Nuevo Vigía, suspected of leptospirosis, with a positive *Leptospira* test by Elisa IgM. A survey was conducted among residents of the index case's house and neighbors within a 100-meter radius with symptoms compatible with the suspected case: resident of Nuevo Vigía with sudden onset fever, headache, myalgia and/or one or more of the symptoms: nausea, vomiting, abdominal pain, diarrhea, and arthralgia since June 15, 2022. Men were the most affected, headache was the most common symptom, and risk factors include: water stored without protection, the presence of mice and food on the floor.

Keywords: Weil disease, zoonoses, disease outbreak, neglected diseases, Panama.

Introducción

La leptospirosis es una enfermedad zoonótica (enfermedad que se transmite de los animales al hombre) (Rodríguez González, 2006). Es causada por espiroquetas del género *Leptospira* (Dreesman et al., 2023). La exposición ocurre mediante la inhalación o ingestión a partir de agua contaminada con orina de animales infectados (Organización Panamericana de la Salud, 2023). La *Leptospira* invade sin dificultad piel y mucosas erosionadas; después de la infección la leptospiremia es máxima entre los 4 y 12 días y se presenta fiebre, depresión, letargia, anorexia, vómitos, polidipsia, poliuria, diarrea que puede ser sanguinolenta, hematuria e ictericia (Gaitan et al., 2020).

Ocurre en todo el mundo y está emergiendo como un problema de salud pública, en países tropicales y subtropicales, afectando más a las poblaciones vulnerables (Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social, 2023).

La *Leptospira* es patogénica para los hombres y los animales. Una amplia variedad de especies animales, tanto silvestres como domésticos, pueden servir como fuentes de infección para el ser humano. Las especies que son consideradas las más importantes incluyen roedores silvestres y peridomésticos (ratas, ratones, roedores de campo, etc.) y animales domésticos (vacas, cerdos, perros y caballos). La transmisión de persona a persona ocurre muy raramente (Rodríguez et al., 2021)

La leptospirosis en los seres humanos y en los animales es endémica en todos los continentes, por lo que es presumiblemente la enfermedad zoonótica más distribuida a nivel mundial; no obstante, dicha distribución es más importante y significativa en términos económicos y sociales en distintas regiones de América Latina, donde las tasas de prevalencia, incidencia y mortalidad suelen ser muy variables, dependiendo de la convergencia de diversos factores medioambientales

o ecológicos y sociodemográficos (Castro et al., 2018).

La mayor parte de los casos en seres humanos se presentan en áreas con climas tropical y subtropical y con áreas inundables, produciéndose picos en los meses correspondientes al período de lluvias (junio a noviembre) (Castro et al., 2018).

La Organización Mundial de la Salud (OMS), cataloga la leptospirosis como enfermedad tropical desatendida, estimando una incidencia de 5.1 casos cada 100000 habitantes en las áreas endémicas, y 14 casos cada 100000 personas en epidemias (Águila Rodríguez et al., 2018).

La situación respecto a la leptospirosis aún no ha sido adecuadamente caracterizada en Panamá, (para el año 2021, se reportaron 21 casos) por lo tanto, existe un importante sub-registro de esta enfermedad (Moreno et al., n.d.). La provincia de Darién no escapa de esta realidad y según datos el departamento de epidemiología de esta región de salud se presentaron seis casos para el año 2021, por lo es necesario el fortalecimiento de las investigaciones epidemiológicas para proponer y adoptar la correspondiente prevención y control a nivel nacional.

La leptospirosis está incluida en el grupo de enfermedades sujetas a vigilancia epidemiológica y de notificación obligatoria aprobadas por el decreto ejecutivo 1617 del 21 de octubre de 2014 (República de Panamá, 2014)

El 10 de julio de 2022, la Oficina de Epidemiología de la Región de Salud de Darién recibió un comunicado de la Dirección Nacional de Epidemiología, donde se reportó un caso de Leptospirosis procedente de Nuevo Vigía, el cual fue detectado en el Hospital de Especialidades Pediátricas de la Caja de Seguro Social, el 30 de junio de 2022 y que fue confirmado el 8 de julio de 2022, por lo que se inicia la investigación del brote, que se presenta en este trabajo.

Esta comunidad está ubicada en la comarca Emberá Wounaan, en el río

Tuqueza, afluente del río Chucunaque, y pertenece al corregimiento de Lajas Blancas (uno de los tres corregimientos del distrito de Cémaco), en la provincia de Darién, República de Panamá. Tiene una población de 470 habitantes (según estimaciones del año 2022 del departamento de control de Vectores de la Región de Salud de Darién, del Ministerio de Salud), que en su gran mayoría son de etnia Emberá. La comunidad está bajo la égida sanitaria del Hospital Manuel Antonio Nieto, del corregimiento de Yaviza, en el distrito de Pinogana.

Nuevo Vigía no cuenta con sistemas de drenaje, ni alcantarillados, por lo que en épocas de lluvia abundante hay riesgos de inundaciones, formaciones lagunas o charcos y aguas estancadas. Tampoco se cuenta con un sistema formal de recolección de basura, y la misma es acumulada en espacios abiertos y quemada. Existe presencia de animales domésticos (como perros, gatos), así como roedores, y las viviendas están fabricadas de cemento de manera parcial, y es común no encontrar estanterías en el espacio destinado a la cocina, y los alimentos (bolsas de granos, plátanos, etc.) en el suelo.

Nuestros objetivos fueron enfocados a documentar un brote de Leptospirosis, en la comunidad de Nuevo Vigía, provincia de Darién, en junio y julio de 2022, los factores de riesgo asociados, así como calcular las tasas y proporciones de los casos confirmados del brote de Leptospirosis dado en esa comunidad, y en ese periodo.

Se realizó un estudio descriptivo de la investigación de un brote de Leptospirosis, dado en la comunidad de Nuevo Vigía, provincia de Darién, en junio de 2022, a partir de la notificación recibida por la Oficina de Epidemiología de la Región de Salud de Darién.

Materiales y métodos

Estudio descriptivo, serie de casos. En este estudio se describió un brote de Leptospirosis en la comunidad de Nuevo Vigía, entre junio y julio de 2022, tras un comunicado que recibió la Oficina de Epidemiología de la Región de Salud de Darién, el 10 de julio de 2022, de la Dirección Nacional de Epidemiología, donde se reportó un caso de Leptospirosis procedente de Nuevo Vigía, el cual fue detectado en el Hospital de Especialidades Pediátricas de la Caja de Seguro Social, el 30 de junio de 2022 y que fue confirmado el 8 de julio de 2022, por lo que se realiza la investigación del brote, que se presenta en este trabajo, el 17 de julio de 2022.

Luego de recibir la notificación sobre la identificación del caso índice, se coordinó con la dirección médica, departamento de enfermería, control de vectores y departamento de saneamiento ambiental del Hospital Manuel Nieto de Yaviza, para la realización de visita programada a la comunidad, con un equipo interdisciplinario (médico, enfermera, asistente de salud, técnico de saneamiento ambiental) donde se realizó una entrevista utilizando una encuesta de investigación previamente diseñada a miembros de la casa del paciente, y habitantes de casas vecinas en un radio de 100 metros.

En el mes de julio, se tomaron muestras de suero a nueve personas, quienes indicaban sintomatología compatible según definición de caso sospechoso. (ver tabla1)

Los casos de Leptospirosis fueron evaluados según la definición de casos sospechosos y casos confirmados (Ministerio de Salud de Panamá, 2018)

Tabla 1*Definición de Caso sospechoso y confirmado de Leptospiriosis*

Caso Sospechoso	Caso Confirmado
Cualquier persona, procedente de Nuevo Vigía con fiebre de inicio brusco, cefalea, mialgia y/o con uno o más de los siguientes signos o síntomas: náuseas, vómitos, dolor abdominal, diarreas y artralgias desde el 15 de junio del 2022	Caso sospechoso que ha sido confirmado por laboratorio mediante prueba de ELISA IgM o Prueba de Micro aglutinación (MAT) validado por el Laboratorio central de referencia en Salud Pública (LCRSP)

Nota: Guía de Vigilancia Nacional de Epidemiología. Ministerio de Salud. 2018.

Las muestras fueron remitidas al laboratorio de enfermedades desatendidas del Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudio en salud (ICGES) ubicado en Metetí para su conservación, desde donde fue enviado al ICGES en Panamá para su procesamiento final, donde se realizó prueba de *Leptospira* por ELISA IgM.

La encuesta realizada fue adaptada de la encuesta epidemiológica de Leptospiriosis que forma parte de los protocolos de la red de vigilancia de epidemiología de Aragón, España, (Ministerio de Sanidad, 2015) que consta de nueve preguntas generales, siete sobre sintomatología clínica, siete preguntas sobre factores de riesgo, tres sobre categorización del caso y un apartado para observaciones. La aplicación de la encuesta se hizo con la herramienta informática KOBO, y los resultados se exportaron y fueron analizados con el programa Microsoft Excel para Mac, versión 16.63.1

A cada dato se le realizó control de calidad, y luego fueron tabulados usando medidas de tendencia central, proporciones y tasas, para las que se utilizó las estimaciones de la población de la comunidad (470 habitantes).

Luego se elaboró el informe de brote inicial y posteriormente (al tener los resultados de las muestras obtenidas en la visita a la comunidad) el informe de brote actualizado.

Resultados

Se presentan los resultados obtenidos sobre la investigación de un brote de Leptospirosis, dado en la comunidad de Nuevo Vigía, provincia de Darién, junio a julio de 2022

Distribución de los casos por sexo y edad

Según la distribución de casos por sexo y edad, el 30% (3) de los casos fueron confirmados por leptospirosis. En los hombres, el 100% (2) de los casos confirmados estuvieron en el grupo de 10 a 19 años. En las mujeres, el 100% (1) estuvo en el grupo de 50 a 59 años. El rango de edad estuvo entre los 10 a 69 años, con una mediana de 25 años. La razón hombre: mujer de casos confirmados fue de 2:1 (Tabla 1).

Tabla 1

Casos confirmados y sospechosos de Leptospirosis por sexo y edad en la comunidad de Nuevo Vigía, provincia de Darién. Julio 2022

Grupo de edad	Hombres				Mujeres				Total	%
	Casos	%	Sospechoso	%	Caso	%	Sospechoso	%		
0 a 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 a 19	2	100	0	0	0	0	0	0	2	20
20 a 29	0	0	0	0	0	0	3	75	3	30
30 a 39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40 a 49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50 a 59	0	0	1	33.3	1	100	0	0	2	20
60 a 69	0	0	2	66.7	0	0	1	25	3	30
70 a 79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	2	100	3	100	1	100	4	100	10	100

Casos sospechosos encuestados

Se encuestaron nueve personas, donde cuatro fueron hombres y cinco mujeres. La mitad de los hombres encuestados estaban en el rango de 60 a 69 años y en las mujeres el 60% en el grupo de 20 a 29 años y una media de 36.2 años (Tabla 2).

A todos los encuestados se le tomó muestras de sangre venosa.

Tabla 2

Personas encuestadas, por sospecha de Leptospirosis por sexo y edad en la comunidad de Nuevo Vigía, provincia de Darién, junio a julio de 2022

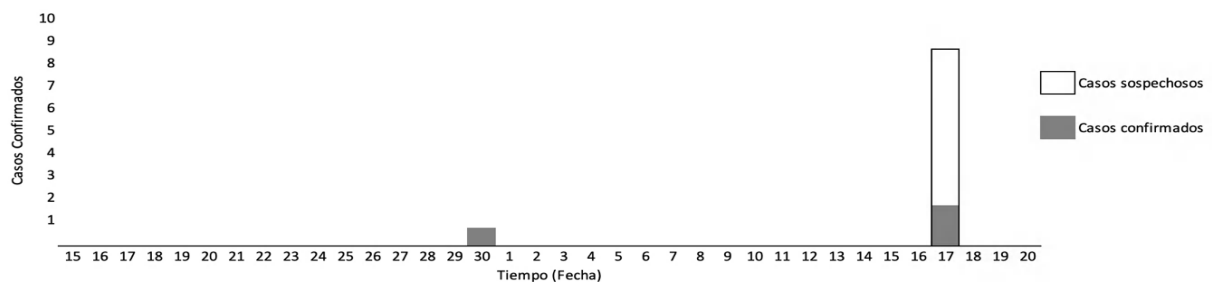
Grupo de Edad	Hombre		Mujer		Total	%
	Número	%	Número	%		
0 a 9	0	0.0	0	0.0	0	0.0
10 a 19	1	25.0	0	0.0	1	11.1
20 a 29	0	0.0	3	60.0	3	33.3
30 a 39	0	0.0	0	0.0	0	0.0
40 a 49	0	0.0	0	0.0	0	0.0
50 a 59	1	25.0	1	20.0	2	22.3
60 a 69	2	50.0	1	20.0	3	33.3
70 a 79	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Total	4	100	5	100	9	100.0

Histograma de casos confirmados y sospechosos

En el siguiente histograma, se observa que a la fecha (semana epidemiológica 30), fueron detectados tres casos confirmados. Con una tasa de ataque de 0.6 %. La tasa de letalidad fue cero (Figura 1).

Figura 1

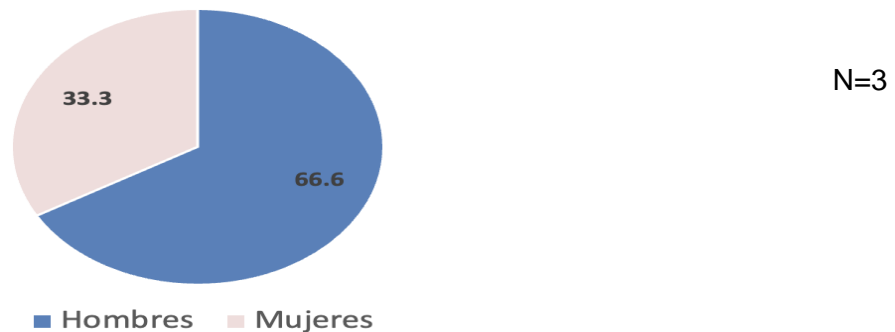
Histograma de casos de Leptospirosis confirmados y sospechosos, en la comunidad de Nuevo Vigía, en la provincia de Darién, junio a julio 2022



En relación con los casos de leptospirosis, 66% (2) de los casos confirmados fueron hombres, la razón hombre: mujer 2 a 1 (Figura 2).

Figura 2

Casos de Leptospirosis confirmados por sexo, en la comunidad de Nuevo Vigía, en la provincia de Darién, junio a julio de 2022



Factores de riesgo asociados

Siete de los encuestados (70%) vieron ratones en sus ratones en sus casas y almacenan sus alimentos en el suelo.

Todos refieren tener contacto frecuente con aguas estancadas, y utilizan agua almacenada en tanques sin protección, para sus actividades diarias. Solo uno (10.0%), tiene labores formales relacionadas a la manipulación de alimentos (Tabla 3).

Tabla 3

Factores de riesgo asociados al brote de Leptospirosis, en la comunidad de Nuevo Vigía, provincia de Darién, junio a julio de 2022

Factor de Riesgo	Presencia de Factor de riesgo			
	Si	%	No	%
Avistamiento de ratones en el hogar	7	70.0	3	30.0
Contacto con aguas estancadas	10	100.0	0	0.0
Manipulador de alimentos	1	10.0	9	90.0
Uso de agua en tanques sin cubierta	10	100.0	0	0.0
Almacenan alimentos en el suelo	7	70.0	3	30.0

Síntomas asociados

La cefalea fue referida por 3 pacientes (100%) siendo el síntoma que más refirieron. La diarrea fue referida en 2 pacientes (66%), y también se refirió escalofríos y fiebre en 1 paciente (33%).

Tabla 4

Sintomatología presentada en pacientes confirmados con Leptospirosis en la comunidad de Nuevo Vigía, provincia de Darién, 2022

Cuadro clínico	Casos Confirmados	% del Total de Casos Confirmados
Cefalea	3	100
Escalofríos	1	33.3
Fiebre	1	33.3
Diarrea	2	66.6
Vómitos	0	0
Mialgia	0	0
Ictericia	0	0

Discusión

En el brote investigado se observó una mayor proporción de casos los hombres, tal como se observó en el estudio cubano del 2001, sobre el comportamiento de la leptospirosis humana (Catalina et al., 2001)

La mayor cantidad de casos se presentó en grupos entre los 10 a 19 años que coincide con lo presentado en una revisión bibliográfica realizada en Colombia, por Bautista y colaboradores en 2019 (Bautista T. MVZ et al., 2019)

La encuesta realizada reveló la existencia de ratones en el área de afectación, lo que igualmente se ha plasmado en revisiones, como en el trabajo de Ospina y colaboradores, en 2017, sobre el papel de los roedores en la transmisión de *Leptospira spp.* en granjas porcinas (Ospina-Pinto et al., 2017)

Igualmente se observó que los encuestados, han tenido estrecho contacto con áreas de aguas estancas, lo que se ha considerado como factor de riesgo y coincide con una revisión peruana. (Céspedes, 2005)

Bautista y colaboradores refirieron en su trabajo de 2019, Leptospirosis: enfermedad de importancia en salud pública, que los síntomas más comúnmente encontrados son cefalea, diarrea, fiebre, lo que dificulta el diagnóstico de la enfermedad, y es similar a lo descrito en nuestro estudio (Bautista, et al., 2019).

Conclusiones

La mayor cantidad de casos que se registraron en el brote corresponden a hombres en rangos de edad de 10 a 19 años, siendo las mujeres entre los 50 a 59 años las que tienen la mayor cantidad de casos observados en ese sexo.

El avistamiento de ratones en el área de afectación y el contacto con aguas estancadas, son factores de riesgo para los habitantes en la comunidad de Nuevo Vigía.

Generalmente la sintomatología es inespecífica, siendo la cefalea el más común, lo que dificulta el diagnóstico de Leptospirosis.

Recomendaciones

Continuar con el proceso de investigación del brote, para obtener la especie de leptospirosis, y su seguimiento hasta su finalización.

Realizar estudios adicionales que contribuyan a mejorar el conocimiento de la enfermedad en la provincia de Darién. Involucrar a los líderes comunitarios, para que, con el equipo multidisciplinario de salud, realicen medidas de control de roedores y manejo de aguas estancadas. Sugerir al personal de salud mantener la sospecha diagnóstica de Leptospirosis.

Referencias Bibliográficas

Águila Rodríguez, N., Delgado Acosta, H., Montenegro Calderón, T., Rodríguez Buergo, D., Rodríguez Fernández, L., & Rodríguez Castro, R. (2018). Caracterización clínico-epidemiológica de pacientes con leptospirosis en el municipio Cumanayagua. Provincia Cienfuegos. 2007-2017. *MediSur*, 16(6), 772–779. <https://bit.ly/4g7fsot>

Artículo, C. M., Revisión, D. E., & Céspedes, M. (2005). Leptospirosis: Enfermedad Zoonótica Emergente. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 22(4), 290–307. <https://n9.cl/4ek2f>

Bautista T. MVZ, B. R., Bulla C. MVZ, D. M., López B. Zootec, H. A., Díaz A. MVZ, A. M., Pulido M. M.Sc., M. O., Bautista T. MVZ, B. R., Bulla C. MVZ, D. M., López B. Zootec, H. A., Díaz A. MVZ, A. M., & Pulido M. M.Sc., M. O. (2019). Leptospirosis: enfermedad de importancia en salud pública. *Revista Colombiana de Ciencia Animal Recia*, 11(2), 108–118. <https://doi.org/10.24188/RECIA.V11.N2.2019.727>

Castro, M. T., Betancourt, S. H., & Florez, P. A. (2018). Leptospirosis: enfermedad zoonótica endémica en América Leptospirosis: zoonotic disease endemic to America. *Salud(i)Ciencia*, 22, 778–780. www.siicsalud.com

Catalina, L., Valdés, M., Eustaquia Osliria, L., & Breijo, A. (2001). Comportamiento de la leptospirosis humana. *Revista Cubana de Enfermería*, 17(3), 168–172. <https://n9.cl/r4hfz>

Dreesman, J., Toikkanen, S., Runge, M., Hamschmidt, L., Lüsse, B., Freise, J. F., Ehlers, J., Nöckler, K., Knorr, C., Keller, B., & Mayer-Scholl, A. (2023). Investigation and response to a large outbreak of leptospirosis in field workers in Lower Saxony, Germany. *Zoonoses and Public Health*, 70(4), 315–326. <https://doi.org/10.1111/ZPH.13027>

- Gaitan, E. S., San, H., De Paúl, V., & Heredia, C. R. (2020). revista medica sinergia. *Revista Médica Sinergia*, 5(3), e346–e346. <https://doi.org/10.31434/RMS.V5I3.346>
- Ministerio de Salud de Panamá. (2018). *Guía Nacional de Epidemiología*. Guía Nacional de Epidemiología. Guía Nacional de Epidemiología
- Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social, P. (2023). *Leptospirosis, una amenaza constante durante las inundaciones*. <https://n9.cl/vx132>
- Ministerio de Sanidad, E. (2015). *Protocolos de la Red Nacional de Vigilancia Epidemiológica*. <http://publicaciones.isciii.es>
- Moreno, D., Justo, C., Cedeño, H., & Armién, B. (n.d.). *Casos confirmados de leptospirosis según semana epidemiológica, año 2010 al 2012*.
- Organización Panamericana de la Salud. (2023). *Leptospirosis*. <https://www.paho.org/es/temas/leptospirosis>
- Ospina-Pinto, C., Rincón-Pardo, M., Soler-Tovar, D., & Hernández-Rodríguez, P. (2017). The role of rodents in the transmission of *Leptospira* spp. in swine farms. *Revista de Salud Pública (Bogotá, Colombia)*, 19(4), 555–561. <https://doi.org/10.15446/RSAP.V19N4.41626>
- República de Panamá. (2014). *Gaceta Oficial*. *Gaceta Oficial*.
- Rodríguez González, M. (2006). Vacunación antileptospirósica a trabajadores de riesgo, Ciren, Cuba, año 2005. *Medwave*, 6(7). <https://doi.org/10.5867/MEDWAVE.2006.07.2732>
- Rodríguez, V., Castro, A., Calderón, A., Guzmán, C., Yasnot, M. F., & Urango, L. (2021). Leptospirosis: prevención y control en la comunidad. *Tropical Animal Health and Production*, 49(7), 1345–1351. <https://doi.org/10.1007/S11250-017-1332-6>

Valoración de hongos endófitos asociados a la vegetación de senderos en la Reserva Forestal El Montoso, Tres Puntas, Herrera, Panamá

Assessment of endophytic fungi associate with the vegetation of senderos in the El Montoso Forest Reserve, Tres Punta's, Herrera, Panama

Alexis De La Cruz

Universidad de Panamá, Facultad de ciencias naturales y exactas, Panamá

alexis.delacruz@up.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0008-4258-6747>

Recepción
01/10/24

Aprobación
27/11/24

DOI <https://doi.org/10.48204/j.scientia.v35n1.a6660>

Resumen

Los hongos endófitos son microorganismos que habitan en plantas, siendo un grupo diverso y polifilético, cuya relación ecológica con plantas es mutualista y en otros casos es negativa para la planta. Este estudio expone datos cuantitativos de la evaluación de hongos endófitos en vegetación en los Senderos Río La Villa, Reserva Forestal El Montuoso. La Reserva Forestal El Montuoso está localizada en el distrito de Las Minas, provincia de Herrera, República de Panamá. Por tal motivo se evaluó la ocurrencia de hongos endófitos miceliales en vegetación y su relación en anuros, mediante muestreo de hojas e hisopado de anuros a lo largo de los senderos, y consecuente aislamiento de cepas para identificación taxonómica. Para ello, se muestreó en los Senderos Río La Villa. Se identificaron 10 géneros: *Alternaria sp.*, *Lecytophora sp.*, *Aureobasidium sp.*, *Scedosporium sp.*, *Exophiala sp.*, *Rhinochadiella sp.*, *Curvularia sp.*, *Phialophora sp.* La prueba Binomial para establecer diferencia en la frecuencia de ocurrencia de hongos endófitos miceliales arrojó un valor de $Z = -2.6458$, $p < 0.05$. De 2 muestras de anuros diferentes, solo 1 presentó esporas de *Helminthosporium sp.* y *Lecytophora sp.*. Se concluye que el género *Lecytophora* fue predominante en los resultados tomados y que los anuros poseen capacidad de transportar esporas de hongos endófitos.

Palabras clave: hongos endófitos, vegetación, reserva.

Abstract

Endophytic fungi are microorganisms that inhabit plants, being a diverse and polyphyletic group, whose ecological relationship with plants is mutualistic and in other cases is negative for the plant. This study presents quantitative data from the evaluation of endophytic fungi in vegetation in the Senderos Río La Villa, El Montuoso Forest Reserve. The El Montuoso Forest Reserve is located in the district of Las Minas, province of Herrera, Republic of Panama. For this reason, the occurrence of mycelial endophytic fungi in vegetation and their relationship in anurans was evaluated by means of leaf sampling and anuran swabs along the trails, and consequent isolation of strains for taxonomic identification. For this, it was sampled in the Senderos Río La Villa. 10 genera were identified: *Alternaria sp.*, *Lecytophora sp.*, *Aureobasidium sp.*, *Scedosporium sp.*, *Exophiala sp.*, *Rhinochadiella*

sp., *Curvularia sp.*, *Phialophora sp.* The Binomial test to establish a difference in the frequency of occurrence of mycelial endophytic fungi yielded a value of $Z = -2.6458$, $p < 0.05$. Of 2 different anuran samples, only 1 presented *Helminthosporium sp.* and *Lecythophora sp.* spores. It is concluded that the genus *Lecythophora* was predominant in the results taken and that the anurans have the capacity to transport spores of endophytic fungi.

Keywords: endophytic fungi, vegetation, reserve.

Introducción

La palabra 'endófito' etimológicamente significa 'dentro de la planta' (endon: dentro, phyton: planta). Generalmente conocemos a los hongos endófitos como microorganismos que pasan la mayor parte o todo su ciclo de vida habitando los tejidos de la planta, sin causar daño evidente la mayoría de las veces, refiriéndose a este convenio de costo-beneficio, asintomático y temporal, que se forma dentro de los tejidos vivos de la planta. Estos hongos se han encontrado en todas las plantas incluso las que se encuentran en lugares de difícil cohabitar. (Sánchez, 2013).

Los hongos endófitos son un grupo muy diverso y polifilético que habitan en diversas partes de las plantas. La mayoría pertenecen al phylum Ascomycota, aunque también se han encontrado en los Basidiomycota, Zygomycota y Oomycota. Históricamente los hongos endófitos se han clasificado en Clavicipitáceos y no Clavicipitáceos, basados en su filogenia e historia de vida. (Rodríguez et al., 2009). En esta clasificación se conservan los grupos Clavicipitáceos y No Clavicipitáceos, y este último se divide en: Clavicipitáceos que son los endófitos que colonizan los pastos, mientras que los No Clavicipitáceos colonizan las plantas no vasculares, helechos, coníferas y angiospermas. A pesar de su abundancia y gran diversidad, particularmente en regiones tropicales, donde se ha planteado que cada hoja representa un mosaico de diversas especies de hongos endófitos. Dreyfuss et al. (1994) estimaron que debe haber una gran diversidad de hongos endófitos por descubrir.

Los hongos endófitos representan un papel ecológico importante entre él y la planta que había ya que es capaz de tomar nutrientes de su planta y de esta forma

protegerla generando un papel mutualista entre ambos formando mecanismos que mejoren su tolerancia al estrés producir metabolismos secundarios, A su vez ayuda a planta a protegerse de herbívoros o microorganismos fitopatógenos.

Es necesario mencionar que un hongo endófito es capaz de producir metabolismos secundarios con inhibidores que protejan a la planta de patógenos en particular u otros hongos endófitos. Algunos hongos endófitos inducen los efectos alelopáticos de su hospedera a través de la producción de metabolitos secundarios o aleloquímicos, es decir, influyen sobre el crecimiento y desarrollo de otras especies que crecen a su alrededor y que usualmente son competidores por el espacio y nutrientes. Se ha identificado que los hongos endófitos pueden contribuir con la protección de su hospedadora contra factores bióticos abióticos por medio de mecanismos cómo directos indirectos y ecológicos. Un ejemplo de estos mecanismos directos son los capaces de producir compuestos orgánicos volátiles (Sánchez,2013).

Los mecanismos indirectos que según la investigación realizada por mecanismo de protección a las hospederas es evidenciado en la investigación realizada por Waller et al. (2005), donde demostraron la resistencia de la cebada al ataque de microorganismos patógenos debido a la colonización en raíces por endófitos Piriformospora indica. Estos mecanismos pueden actuar de manera simultánea dependiendo del estrés que tenga la planta en ese momento.

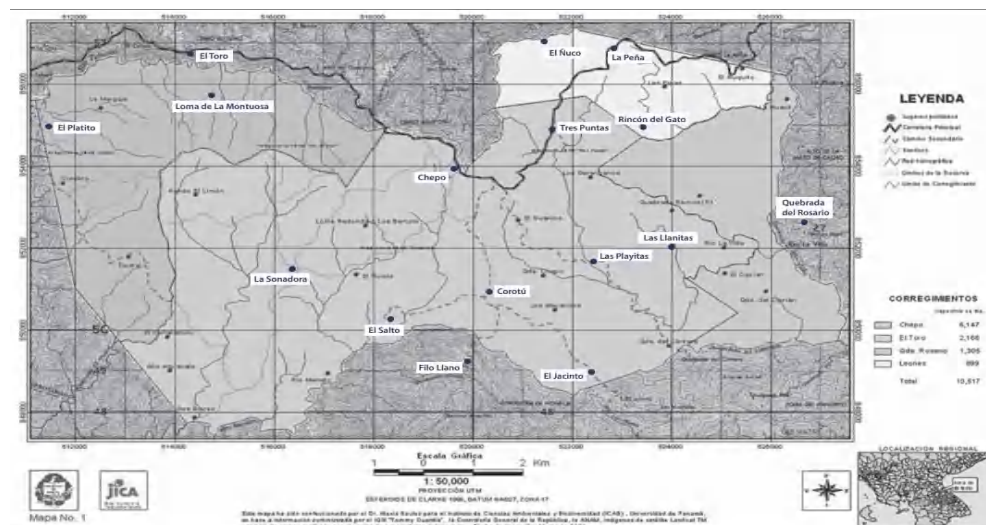
El objetivo de este estudio es valorar los hongos endófitos asociado a la vegetación y algunos animales de los senderos del Río la Villa, en Tres Puntas, Reserva Forestal El Montuoso, provincia de Herrera, República de Panamá. Determinando la ocurrencia de hongos endófitos miceliales en las plantas y su clasificación taxonómica, y cómo ciertos animales sirven como intermediarios.

Materiales y método

El muestreo se realizó en la Reserva Forestal El Montuoso (RFM), localizada en el distrito de Las Minas, provincia de Herrera, República de Panamá, en coordenadas geográficas entre los 7°, 45'17" a 7°,40' 11" latitud Norte y los 80°, 45', 05" a 80°, 54',00", longitud Oeste (Google, s.f.). La RFM comprende de una extensión de 12043 hectáreas con una topografía sinuosa con cerros y montañas altas disectadas por la hidrografía de la región, con una relativa elevación de entre los 600 msnm a casi 1000 msnm (Figura 1).

Figura 1.

Delimitación geográfica de la Reserva Forestal El Montuoso, provincia de Herrera, Panamá.



Nota: mapa de la RFM confeccionado por el Dr. Alexis Baules para el ICAB, modificado por Pedreschi et al. (2013)

El clima es tropical húmedo con una temperatura media de 24.5 °C, registrando una variación de temperatura media anual de entre los 21-25 °C y precipitación media anual de 282.2 mm; la vegetación consiste en bosque húmedo tropical y bosque muy húmedo tropical premontano, constituidos por bosque

maduro en un 27% y bosque secundario en un 20.4% (ANAM, 2003).

Este estudio está basado en un diseño de muestreo al azar transversal en la que se evaluaron y colectaron hojas con síntoma de hongos endófitos asociados al circuito circular de senderos Río La Villa del Centro ANAM Reserva Forestal El Montuoso, una ruta de 2.9 km de longitud (Figura 2) compuesta por 4 senderos intercalados entre sí de los cuales se seleccionó el Sendero de Los Tucanes, Sendero de Los Monos y Sendero Río La Villa.

Figura 2

A) Ubicación de la zona de muestreo, RFM. **B)** Ruta del circuito circular Senderos Río La Villa, en el Centro ANAM Reserva Forestal El Montuoso.



Nota: La ruta del circuito circular realizada por Alltrails (s. f.).

Cultivo y aislamiento

Se cortaron trozos de hoja con tijeras previamente esterilizadas de un tamaño aproximado de 0.5cm x 0.5cm que fueron pasadas con ayuda de pinzas anteriormente flambeadas, en Clorox al 2% y alcohol al 70% durante 1 min en cada

solución para su desinfección, y agua destilada estéril durante 3 min para su lavado (Acosta, 2021). Los trozos de hoja previamente tratados se sembraron en platos petri con medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) con un pH de 3.5; para inhibir el crecimiento bacteriano se añadió 14 ml/L de solución de ácido tartárico al 10% (Pepper et al., 2011). Las muestras de anuros se cultivaron en platos petri con medio de cultivo de las mismas especificaciones mediante la técnica de estriado (Brock et al., 2004). Se incubaron los cultivos durante cuatro días en incubadora a 30°C.

Se realizó un aislamiento de los hongos cultivados para mayor pureza y fiabilidad en los resultados de identificación. De los cultivos de hongo en hoja y anuros se inocularon sólo los hongos que presentaron micelio en platos petri con el mismo medio del cultivo original, mediante técnica de punción central (Rozo, 2009); se incubaron los inóculos durante 7 días en incubadora a 30°C.

El tratamiento, cultivo y aislamiento de las muestras se realizó en el Centro ANAM Reserva Forestal El Montuoso y el Laboratorio de Calidad de Agua MINSA-CAPSI La Villa.

Identificación

La identificación fue macroscópica y microscópica de la parte vegetativa y esporulada, obtenida a través de pases y aislamientos sucesivos basadas en imágenes y taxonomía de crecimiento en medio de cultivo específico. Para cada hongo aislado se tomaba una muestra de este que se esparcía en un portaobjetos con asa bacteriológica, con una gota de agua destilada estéril, que consecuentemente se teñía con Lugol; las muestras se observaron a nivel microscópico, con objetivo de 10x en Microscopio. Se observaron a nivel macroscópico los hongos aislados en su plato petri a través del Estereoscopio. Los hongos aislados se identificaron a nivel de género según su morfología, en base a

las ilustraciones y factores de identificación y caracterización de Anaissie et al. (2003); la clasificación según Sánchez, R. et al. (2013).

Análisis estadístico

Se realizó la prueba Binomial con parámetro de probabilidad de 0.5 (IBM, sfSánchez, 2013) para determinar la frecuencia de hongos endófitos miceliales en la vegetación de la RFM, utilizando en el software libre BioEstat 5.3. Para la estadística descriptiva se utilizó el software Microsoft Excel versión 2210.

Resultados

Se tomaron un total de 28 muestras, 26 de las cuales pertenecían a muestras de vegetación y dos de anuros. De las 28 muestras totales tomadas sólo siete de ellas presentaron hongo micelial, que se aislaron individualmente y por separado; 21 muestras presentaron hongos levaduriformes (Figura 3 y 4) (Paul, 1998; Ohtani et al., 2004).

Figura 3

Número de muestras que presentaron hongos levaduriformes y miceliales.

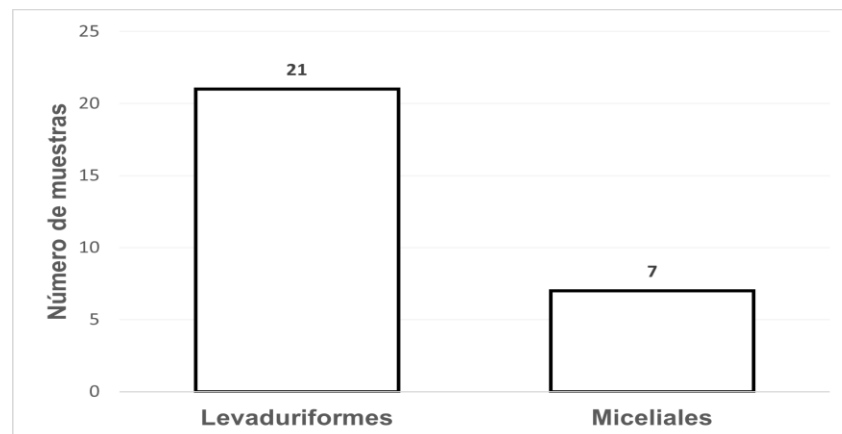
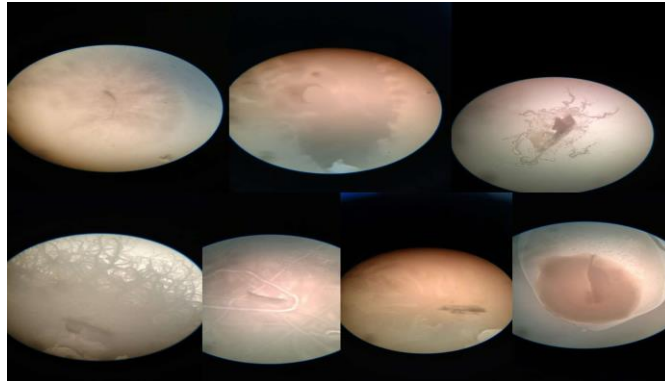


Figura 4

Hongos miceliales de las 7 muestras con presencia de hongo micelial escogidas para aislamiento e identificación a través del Estereoscopio



De las 26 muestras de vegetación, 18 se recolectaron alrededor del centro ANAM Reserva Forestal el Montuoso, 5 del sendero de los Tucanes y 3 del sendero de los Monos; de las 18 se identificaron los hongos de 6 muestras (Teca, Maquenque, Cacao, Higuero, Malagueto y Guarumo) (Tabla 1).

Tabla 1

Número de individuos por muestra aislada de vegetación

Muestra	Individuos	Géneros de individuos
Teca 1	2	Alternaria sp.; Lecythophora sp.
Maquenque 1	2	Lecythophora sp.; Scedosporium sp.
Cacao 1	3	Alternaria sp.; Aureobasidium sp.; Lecythophora sp.
Higuero 1	3	Alternaria sp.; Curvularia sp.; Phialophora sp.
Malagueto 1	3	Exophiala sp.*; Scedosporium sp.

Taxonómicamente, se clasificaron los hongos endófitos con micelio en No clavicipitáceos (Sánchez, R. et al., 2013); siendo todos de la división *Ascomycota*; 5 órdenes: *Pleosporales*, *Coniochaetales*, *Dothideales*, *Microascales*,

Chaetothyriales; 6 familias: *Pleosporaceae*, *Coniochaetaceae*, *Dothioraceae*, *Microascaceae*, *Herpotrichiellaceae*; y 8 géneros: *Alternaria sp.*, *Lecythophora sp.*, *Aureobasidium sp.*, *Scedosporium sp.*, *Exophiala sp.*, *Rhinochadiella sp.*, *Curvularia sp.*, *Phialophora sp.* (Anaisie et al., 2003) (Tabla 2).

Tabla 2

Individuos observados de los aislamientos de muestras de vegetación en los alrededores del centro ANAM Reserva Forestal El Montuoso y senderos de la RFM.

Clasificación	Orden	Familia	Género	Individuos
No clavicipitáceos	Pleosporales	Pleosporaceae	<i>Alternaria sp.</i>	3
			<i>Curvularia sp.</i>	1
	Coniochaetales	Coniochaetaceae	<i>Lecythophora sp.</i>	3
	Chaetothyriales	Herpotrichiellaceae	<i>Rhinochadiella sp.</i>	1
			<i>Phialophora sp.</i>	1
			<i>Exophiala sp.</i>	3
	Microascales	Microascaceae	<i>Scedosporium sp.</i>	2
	Dothideales	Dothioraceae	<i>Aureobasidium sp.</i>	1

Se tomaron dos muestras de anuros diferentes (dos individuos distintos) los cuales solo un individuo presentó crecimiento de hongo micelial en cultivo. La muestra de anuro (nombrada Rana uno) con hongo micelial manifestó crecimiento de dos géneros diferentes tras el cultivo de la muestra en medio de cultivo PDA (Tabla 3).

Tabla 3

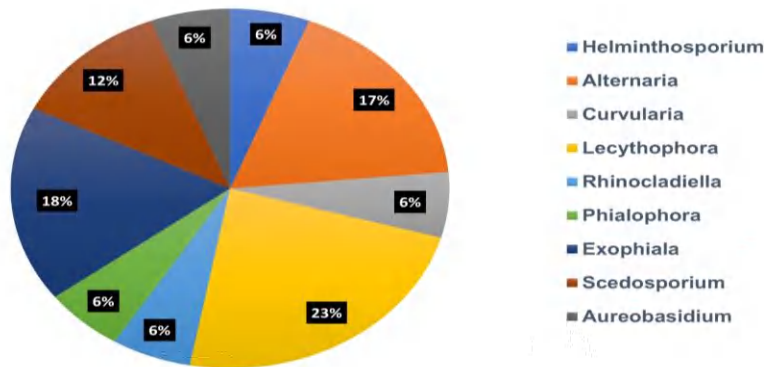
Número de individuos en muestra de anuro.

Muestra	Individuos	Género de individuos
Rana 1	2	Helminthosporium sp.; Lecytophora sp.

En la Figura 6 se muestra que, de todos los géneros aislados, el género *Lecytophora* sp. fue el que más se encontró en todas las muestras, tanto de vegetación como de anuros. (Perdomo, 2011). La prueba Binomial demostró que existe diferencia significativa en la frecuencia de presencialidad de hongos miceliales frente a levaduriformes en las muestras tomadas de los senderos Río La Villa, Reserva Forestal El Montuoso ($Z = -2.6458$, $p < 0.05$). Demostrando una menor frecuencia de ocurrencia de hongos endófitos miceliales frente a levaduriformes.

Figura 6

Ocurrencias de géneros de hongos endófitos miceliales No clavicipitaceae en la Reserva Forestal El Montuoso.



Discusión

De acuerdo a la estadística descriptiva, se demostró en los órdenes taxonómicas una media de 2 órdenes por muestra de vegetación, una varianza de muestra de 0.4 y desviación estándar de 0.63; respecto las familias una media de 2 familias por muestra de vegetación, una varianza de muestra de 0.4 y desviación estándar de 0.63; en lo que concierne a géneros, se presentó una media de 2.33 géneros de hongo endófito micelial por muestra de vegetación, una varianza por muestra de 0.26 y desviación estándar de 0.51.

Los datos muestran que los hongos del orden *pleosporales* fueron encontrados en mayor cantidad en los senderos y alrededor del centro investigativo (Tabla 2), cabe recalcar que el género *Lecythophora* fueron mayormente identificada en las muestras tomadas aisladas.

De esta forma, la familia *Pleosporaceae* fue la más abundante entre las muestras utilizadas junto al orden *Pleosporales*, las cuales estaban presente mayormente en las muestras observadas bajo el microscopio, en consecuencia, se encontró mayor cantidad de estas familias. *Lecythophora sp.* fue el género que más se identificó en vegetación notándose dominancia, 3 individuos diferentes (Urbanová et al., 2015).

La Coniochaeta, también conocida como *Lecythophora*, es un hongo ascomiceto que suele crecer en cortezas hojas e incluso el suelo las cuales presentan propiedades patógenas (Domsch et al., 1993).

árboles de los Senderos Río La Villa (Sendero Los Tucanes y Sendero de Los Monos), La Reserva Forestal El Montuoso nos dio a conocer que el género *Lecythophora sp.* fue predominante en los resultados tomados, dicho género tenía

mayor presencia en las hojas utilizadas.

La prueba estadística determinó que no hay diferencia significativa en la frecuencia de ocurrencia de hongos endófitos miceliales frente a levaduriformes; de las 28 muestras totales se obtuvo un 25% de hongos endófitos micelas y un 75% de levaduriformes. Siendo el género de los hongos miceliales más aislados el género *Lecythophora* sp., tanto de vegetación como de anuros, en donde la familia Coniochaetaceae fue la predominante.

Referencias Bibliográficas

Acosta, C. M. C. (2021). Aislamiento y caracterización de hongos endófitos aislados de *Prosopis laevigata* de los jales de Huautla, Morelos.

Alltrails. (s. f.). Consultado el 12 de diciembre de 2022. Disponible en: <https://www.alltrails.com/es/ruta/panama/herrera/el-montuoso-ruta-circular>

Anaissie, E. J., McGinnis, M. R. y Pfaller, M. A. (2003). *Clinical Mycology*. Churchill Livingstone.

Autoridad Nacional del Ambiente y Corporación de Desarrollo Ambiental, S.A. (2003). Plan de manejo de la Reserva Forestal El Montuoso. Panamá.

Brock, M; Madigan, T; Martinko, Jy Jack, P. (2004). *Biología De Los Microorganismos*. Décima Edición.

Domsch, K.H; W. Gams; T.H. Anderson (1993). *Compendium of Soil Fungi* (Reprint [der Ausg. London] 1980. ed.)

Dreyfuss, M.M. y Chapela, I.H. (1994). In *The discovery of natural products with therapeutic potential* (ed. Gullo, V.P.) 49-80. Butterworth-Heinemann, London, UK.

Ghirardi, R. (2012). Estudio de quitridiomycosis por *Batrachochytrium dendrobatidis* en anfibios anuros del Litoral, Cuyo y Patagonia Argentina (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).

Google. (s.f.). Reserva Forestal El Montuoso. Google Maps, Google. Consultado el

8 de diciembre de 2022. <https://goo.gl/maps/ibJpwLmV5B6bjgMA>

- Guix, J. C. (2021). Interacciones mutualistas entre animales y plantas. I. Introducción general. IBM. (s. f.). Prueba binomial. Consultado el 10 de diciembre de 2022. <https://www.ub.edu/portal/web/crba-es/volumen-7>
- IBM. (s. f.). Prueba binomial. Consultado el 10 de diciembre de 2022. <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/beta?topic=tests-binomial-test>
- Lips, K. R., Brem, F., Brenes, R., Reeve, J. D., Alford, R. A., Voyles, J., Carey, C., Livo, L., Pessier, A. P. y Collins, J. P. (2006). Emerging infectious disease and the loss of biodiversity in a Neotropical amphibian community. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(9), 3165-3170. <https://doi.org/10.1073/pnas.0506889103>
- Ohtani, M., Saka, A., Sano, F., Ohya, Y., y Morishita, S. (2004). Development of image processing program for yeast cell morphology. *Journal of bioinformatics and computational biology*, 1(04), 695-709.
- Paul, G. C., Thomas, C. R. (1998). Characterisation of mycelial morphology using image analysis. *Relation Between Morphology and Process Performances*, 1-59.
- Pedreschi, M. E., de Herrera, A. P., y Arcia, D. (2013). Reserva Forestal El Montuoso: Vinculación económica de las comunidades de influencia con su ecosistema. *Visión Antataura*, 1(1), 87-100.
- Pepper, I. L., Gerba, C. P. y Brendecke, J. W. (2011). *Environmental Microbiology: A Laboratory Manual*. Elsevier Gezondheidszorg.
- Perdomo, H. M. (2011). Caracterización fenotípica y molecular de hongos filamentosos oportunistas: *scedosporium*, *acremonium*, *phialemonium*, *lecythophora* y *paecilomyces* (Doctoral dissertation, Universitat Rovira i Virgili).
- Rodríguez, R., White, J., Arnold, A.E. y Redman, R. (2009). Fungal endophytes: Diversity and ecological roles. *New Phytol.* 182, 314-330.
- Rozo, J. A. (2009). *Sistemas De Siembra Para Hongos Y Bacterias* Objetivo General, 7. <http://www.academia.edu/25707996/>
- Sánchez-Fernández, R. E., Sánchez-Ortiz, B. L., Sandoval-Espinosa, Y. K. M., Ulloa-Benítez, Á., Armendáriz-Guillén, B., García-Méndez, M. C., y Macías-

- Rubalcava, M. L. (2013b). Hongos endófitos: fuente potencial de metabolitos secundarios bioactivos con utilidad en agricultura y medicina. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 16(2), 132-146. [https://doi.org/10.1016/s1405-888x\(13\)72084-9](https://doi.org/10.1016/s1405-888x(13)72084-9)
- Urbanová, M., Šnajdr, J., y Baldrian, P. (2015). The composition of fungal and bacterial communities in forest litter and soil is largely determined by dominant trees. *Soil Biology and Biochemistry*, 84, 53-64.
- Waller, F. et al. (2005). The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. *PNAS* 102, 13386-13391.

La tortuga laúd (*Dermochelys Coriacea*) un gigante del pacífico de Panamá en peligro

The leatherback sea turtle (*Dermochelys Coriacea*) a giant from pacific Panama in danger

Eric E. Flores

Coiba Scientific Station (COIBA AIP), Panamá
Panama Wildlife Conservation, Panama

Autor de correspondencia: eflores@coiba.org.pa
<https://orcid.org/0000-0003-3171-6354>

Daniel Murcia-Moreno

Smithsonian Tropical Research Institute, Panamá

daniel.murcia@up.ac.pa
<https://orcid.org/0000-0001-5282-6064>

Joelbin De La Cruz

Panama Wildlife Conservation, Panamá

joelbin@panamawildlife.org
<https://orcid.org/0009-0000-5013-5892>

Recibido
16/08/2024

Aceptado
01/10/2024

DOI <https://doi.org/10.48204/j.scientia.v35n1.a6661>

Resumen

La tortuga Laúd es la tortuga marina más grande, y se distingue por su caparazón blando. Su dieta principal consiste en medusas y zooplancton, lo que las hace vulnerables a la ingestión de plástico. Las poblaciones de tortuga Laúd enfrentan amenazas significativas, especialmente en el Pacífico, donde la captura ilegal de huevos y la pesca incidental son problemas graves. La subpoblación del Pacífico Oriental Tropical está en peligro crítico de extinción según la UICN, principalmente debido a la disminución de sitios de anidación y la depredación humana y animal de los nidos. A pesar de los esfuerzos de conservación, las poblaciones han disminuido drásticamente en las últimas décadas. Es por ello que, este ensayo da una perspectiva de la situación actual de la tortuga Laúd en el Pacífico panameño. Actualmente, Panamá juega un papel crucial en la conservación de la especie mayormente en sus costas atlánticas, y en menor medida en la costa pacífica incluyendo viveros artificiales y redes de conservación. Sin embargo, se necesita una mejor coordinación entre las instituciones y una mayor aplicación de las normativas existentes. La ciencia ciudadana y el monitoreo continuo son esenciales para identificar y proteger los sitios de anidación restantes, mientras que la educación ambiental es crucial para involucrar a comunidades locales en la

conservación a largo plazo. Este panorama subraya la urgencia de acciones coordinadas a nivel regional y local para evitar la extinción de la tortuga Laúd, protegiendo sus hábitats críticos y reduciendo las amenazas humanas y ambientales.

Palabras claves: Tortugas Marinas, *Dermochelys coriacea*, Conservación, Extinción, Contaminación.

Summary

The leatherback turtle is the largest sea turtle and is distinguished by its soft shell. Its main diet consists of jellyfish and zooplankton, which makes it vulnerable to plastic ingestion. Leatherback turtle populations face significant threats, especially in the Pacific, where illegal egg harvest and bycatch are serious problems. The Eastern Tropical Pacific subpopulation is critically endangered according to the IUCN, mainly due to the decrease in nesting sites and human and animal predation of nests. Despite conservation efforts, populations have declined dramatically in recent decades. Therefore, this essay gives an overview of the current situation of the leatherback turtle in the Panamanian Pacific. Currently, Panama plays a crucial role in the conservation of the species mainly on its Atlantic coasts, and to a lesser extent on the Pacific coast, including artificial nurseries and conservation networks. However, better coordination among institutions and greater enforcement of existing regulations is needed. Citizen science and ongoing monitoring are essential to identify and protect remaining nesting sites, while environmental education is crucial to engage local communities in long-term conservation. This scenario underscores the urgency of coordinated actions at regional and local levels to prevent the extinction of the Leatherback turtle by protecting its critical habitats and reducing human and environmental threats.

Keywords: Sea Turtles, *Dermochelys coriacea*, Conservation, Extinction, Pollution.

Historia natural de la tortuga Laúd

La *Dermochelys coriacea*, conocida comúnmente como tortuga Laúd, Baula o Canal ha existido en el planeta durante más de 20 millones de años y es el único miembro existente de la familia Dermochelyidae (Pritchard, 1997). Es la tortuga marina más grande del mundo, alcanzando hasta 2 m de ancho (Seminoff y Wallace, 2012) y puede pesar más de 640 kg (Paladino et al., 1990; Rhodin et al., 1981; Spotila y Santidrián-Tomillo, 2015). Es única por su caparazón blando, que, a diferencia de otras especies de tortugas marinas, le permite contraer mejor su cuerpo y bucear a profundidades superiores a los 1000 m (Chen et al., 2015). Este caparazón está compuesto de placas óseas interconectadas a fibras de colágeno, lo que le proporciona una mayor resistencia a la presión hidrostática (Paladino et al., 1990).

Tienen una esperanza de vida de 30 a 40 años (Avens et al., 2019) y alcanzan la madurez sexual entre los 13 y 22 años (Avens et al., 2009, 2019; Zug y Parham,

1996). Las hembras reproductivas desovan en intervalos de dos o más años, tres a 10 veces por temporada de anidación, con un promedio de 80 huevos por postura en el Pacífico y 113 en el Caribe (Chacon-Chaverri, 1999; Chacón-Chaverri y Eckert, 2007; Eckert et al., 2012; Spotila y Santidrián-Tomillo, 2015). Su dieta está compuesta principalmente por medusas y otras especies de zooplancton gelatinoso, lo que las hace vulnerables a la ingestión de plástico, que puede ser confundido con su alimento natural (Mrosovsky et al., 2009).

Tiene una distribución global, habitando mares tropicales, templados y subárticos. Las tortugas Laúd del Océano Pacífico están en mayor riesgo de extinción, principalmente debido a la captura ilegal de huevos y a la pesca incidental en sus hábitats (Spotila et al., 2000). Según la Lista Roja de la UICN, la subpoblación de tortugas Laúd del Pacífico Oriental Tropical (POT) está en peligro crítico de extinción (Wallace, Kot, et al., 2013). Esta subpoblación, que anida desde México hasta Ecuador, es genéticamente distinta de otras subpoblaciones del Océano Pacífico (Dutton et al., 1999). Los sitios de alimentación en esta área incluyen las aguas frente a las costas de Panamá, Colombia, Ecuador, Perú y Chile (Bailey et al., 2012; Shillinger et al., 2008).

Sitios de anidación y alimentación de las tortugas Laúd en el Caribe de Panamá.

La costa caribeña de Centroamérica, que incluye Costa Rica, Panamá y parte de Colombia, es el cuarto lugar de anidación más grande de tortugas marinas Laúd (Patino-Martinez et al., 2008). En conjunto, equivalen a 18.9 km², que albergan entre el 98.5% y el 98.7% de la actividad de anidación. Hace veinte años, se estimaba que las colonias de anidación del Atlántico occidental desde Costa Rica, pasando por Panamá hasta Colombia, constituían unos 4,000 individuos (Patino-Martinez et al., 2008; Pritchard, 1989; Spotila y Santidrián-Tomillo, 2015).

Actualmente, las costas del norte de Panamá y la costa caribeña de Costa Rica han sido estudiadas mediante reconocimientos aéreos, aunque la encuesta para la línea costera panameña no fue consistente. Dicho esto, los datos de esta

investigación recopilados por GILA TEAM, ANAM, CODECHOCO y el Consejo Mayor de Comunidades Negras Acandí, demuestran que la población anidadora en el sureste de Panamá y Colombia ha aumentado con el tiempo. Estimaron un número total de actividades de anidación en todos los sitios de 6254 huevos en 2006 y de 7509 huevos en 2007, con éxitos de eclosión de 90.9% y 86.2% respectivamente (Patino-Martinez et al., 2008).

Investigaciones anteriores indican que la población anidadora de tortuga Laúd del Caribe Centroamericano representa el 17% de la abundancia de hembras anidadoras en el Segmento de Población de Vertebrado Distintivo (DPS) (NMFS y USFWS, 2020) del Noroeste Atlántico (Evans et al., 2021). Mientras que, playa Chiriquí en Panamá es considerada la tercera con mayor abundancia de hembras anidadoras y por ende la playa de anidación de tortugas Laúd más importante en la costa caribeña de Costa Rica y Panamá (Ordoñez et al., 2007; Patino-Martinez et al., 2008; Spotila y Santidrián-Tomillo, 2015).

Estado de la población y amenazas a la tortuga Laúd del Pacífico Oriental Tropical (POT).

La tortuga Laúd actualmente figura en la lista de especies vulnerables de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) (Wallace, Tiwari, et al., 2013). Está incluida en el Apéndice I de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, 2024) y en los Apéndices I y II de la Convención de Especies Migratorias (CMS) (CIT, 2022). Mientras la población del Atlántico se mantiene estable e incluso en aumento, la población del Pacífico, en particular la del POT, ha experimentado un drástico declive. Para abordar este problema, se han creado Unidades Regionales de Manejo (RMUs) para esta población, donde se han cuantificado 40 sitios de anidación (Wallace et al., 2010). Llegando a la conclusión que la población del POT ha disminuido precipitadamente en las últimas décadas (Spotila et al., 2000).

Investigaciones han demostrado que las tortugas anidadoras y los nidos en playas de México y América Central han disminuido en más del 90% desde la

década de los 80 (Ábrego et al., 2020; Spotila y Santidrián-Tomillo, 2015). Esta disminución se debe a múltiples factores, incluidas amenazas terrestres como la sobreexplotación de huevos, el desarrollo costero, el cambio climático, y la depredación de huevos y carne por parte de animales y humanos (CITES, 2019; Spotila y Santidrián-Tomillo, 2015; Wallace et al., 2011; Wallace, Kot, et al., 2013). Además, la contaminación del océano, especialmente la ingestión de plástico pone a esta especie en riesgo de intoxicación.

En particular, la costa pacífica de Costa Rica, que representa del 85% al 90% de las poblaciones anidadoras de tortugas Laúd en el POT, recibió alrededor de 1500 tortugas para anidar entre 1988 y 1989, pero para el período del 2006 al 2007, la población de tortugas anidadoras se redujo a 100 individuos (Spotila y Santidrián-Tomillo, 2015). En el primer análisis poblacional de la subpoblación de tortugas Laúd del POT se muestra un pronóstico preocupante: la población está en camino hacia la extinción regional en los próximos 60 años, y probablemente desaparezca antes en Nicaragua y Costa Rica (Ábrego et al., 2020). Sin embargo, algunas proyecciones indican que, si los esfuerzos de conservación se enfocan y escalan apropiadamente en sitios de alta prioridad, y se implementan proyectos de conservación de manera urgente y sostenida, la tendencia de la población de tortugas Laúd del POT podría eventualmente estabilizarse y aumentar (Ábrego et al., 2020). Esta investigación subraya la urgencia de intensificar los esfuerzos de conservación tanto en los entornos marinos como en las playas de anidación para mantener y mejorar las tasas de nacimiento.

En busca de la tortuga Laúd en el Pacífico de Panamá

Existen algunos reportes anecdóticos de la anidación de la tortuga Laúd en el Pacífico de Panamá (Arauz et al., 2017). En el Archipiélago de las Perlas, en la costa sur, se han encontrado rastros de salida (Hector Guzmán, comunicación personal, 4 de julio de 2024). En Los Santos, se ha registrado la anidación de esta especie en las playas de Cambutal, con dos anidadas reportadas en noviembre y nacimientos en enero (Ruiz y Rodríguez, 2011). En Veraguas, se

han encontrado rastros en playa Manila en Isla Coiba (Ruiz y Rodríguez, 2011) e Isla Jicarón (Hector Guzmán, comunicación personal, 4 de julio de 2024). En tierra firme, en Mariato, en playa Mata Oscura, se ha registrado un intento de anidación y una anidación no exitosa (Jacinto Rodríguez, comunicación personal, 30 de abril de 2024). En Chiriquí, se han encontrado rastros de salida en las costas de Boca Chica (Hector Guzmán, comunicación personal, 4 de julio de 2024). Investigaciones de rastreo satelital indican que esta especie utiliza las aguas del Pacífico, pasando muy cerca de las costas al sur de la península de Azuero (Shillinger et al., 2008). Sin embargo, muchos de estos registros tienen más de 10 años y no se tiene confirmación reciente de la anidación de la especie en estas playas.

Entre 2018 y 2019, con el apoyo de la Fundación Panamá Wildlife Conservation, se inició un trabajo de exploración en las playas de la costa suroeste de la península de Azuero. El objetivo era monitorear potenciales playas de anidación de tortugas marinas y confirmar la anidación de la tortuga Laúd en alguna de estas playas. Este trabajo permitió interactuar con miembros de comunidades apartadas de esta zona, quienes viven cerca de zonas de anidación de tortugas marinas no monitoreadas previamente (Flores et al., 2021). Los resultados de entrevistas semiestructuradas con residentes locales mostraron que, efectivamente, la tortuga Laúd usaba algunas de estas playas para anidar hace unos 30 años (aprox. 1988). Sin embargo, también se notó que muchas personas tienden a confundir los rastros de esta especie con los de la tortuga verde (*Chelonia mydas*), la segunda especie en tamaño que anida en el Pacífico de Panamá (Flores et al., 2021).

En cuanto a avistamientos, se tienen reportes anecdóticos de observación de la tortuga Laúd en las aguas cercanas a la isla de Coiba por parte antiguos pescadores de la zona. En Los Santos, en 2019, se encontró un individuo muerto en playa Toro (Isabelle Shahverdians, comunicación personal, 5 de julio del 2024), y los pescadores de la región han reportado avistamientos ocasionales de individuos en mar abierto, aunque estas observaciones pueden ser erróneas (Flores et al.,

2021). Entre 2020 y 2021, gracias a un aporte del Fondo de Pequeñas Donaciones del Fondo para el Medio Ambiente Mundial en Panamá, se inició una iniciativa similar para explorar las playas hacia el sureste de la península de Azuero. Debido a las restricciones del COVID-19, el proyecto no pudo ser realizado en toda su dimensión. Sin embargo, se establecieron contactos con grupos locales e individuos en la zona, creando una red de comunicación para el avistamiento de la tortuga Laúd. Esto produjo el primer reporte confirmando la existencia de estos reptiles en las aguas del Pacífico de Panamá (Flores, 2022). Se documentó una tortuga Laúd juvenil nadando cerca de la superficie del agua, aparentemente alimentándose, con un pez rémora (familia Echeneidae) adherido a su caparazón, y un individuo adulto con una herida en la cabeza, presuntamente causada por una embarcación, que le impedía nadar en posición normal. Ambas observaciones se realizaron en las zonas costeras de la provincia de Los Santos (Flores, 2022).

Acciones de conservación para la tortuga Laúd del POT

Las tortugas Laúd del POT se encuentran entre las poblaciones de tortugas marinas mejor estudiadas del mundo, especialmente en aspectos de su ecología de anidación (Spotila y Santidrián-Tomillo, 2015). Sin embargo, décadas de investigación y trabajo de conservación aún no han producido señales de estabilización de la población, y mucho menos de recuperación (Ábrego et al., 2020). En 2012, se creó la Red de Conservación de la Tortuga Laúd del Pacífico Oriental, donde más de treinta investigadores, ONGs y expertos de la región se reunieron para desarrollar un plan de acción para estabilizar y recuperar la población de tortugas Laúd en el POT en un intervalo de diez años (OPO, 2023). Hoy en día, la red incluye más de 100 miembros que se reúnen regularmente para colaborar y compartir información, mejores prácticas, resultados de investigaciones y estrategias de conservación. Esta iniciativa pretende ser una red técnica cuyo principal objetivo es fortalecer el apoyo, la coordinación y la colaboración de los esfuerzos prioritarios para la conservación de la tortuga Laúd a nivel regional.

En términos generales, Panamá cuenta con una legislación aceptable para la

conservación de la vida silvestre y es parte de varios convenios internacionales centrados en la protección de las tortugas marinas y sus hábitats. El país ha implementado un Plan Nacional para la Conservación de Tortugas Marinas, que incluye directrices específicas y acciones concretas, y dispone de una Dirección Nacional de Costas y Mares dentro del Ministerio de Ambiente que supervisa su ejecución (Arauz et al., 2017). En el marco de este plan, se han establecido viveros artificiales a lo largo del país, administrados por grupos comunitarios, voluntarios, ONGs y entidades gubernamentales, con diferentes grados de impacto. Además, Panamá cuenta con una red de conservación de tortugas marinas compuesta por 14 organizaciones (6 en el Caribe y 8 en el Pacífico), que colaboran para proteger y conservar las playas de anidación (<https://panatortugas.org/>). Estas organizaciones también promueven programas de educación ambiental en sus respectivas comunidades

Conclusiones

Aunque persiste la necesidad de un mayor cumplimiento de las normativas y una mejor coordinación entre instituciones y grupos locales, resulta crucial fortalecer y expandir la red de ciencia ciudadana en el Pacífico panameño. Esto permitirá detectar más avistamientos a lo largo del tiempo y del espacio, dado el frecuente solapamiento de flotas camaroneras, botes pesqueros y embarcaciones de pesca deportiva con los hábitats de forrajeo y rutas migratorias de la tortuga Laúd.

Es fundamental implementar un monitoreo continuo en las playas para identificar y proteger urgentemente los sitios actuales de anidación. Estos esfuerzos pueden beneficiarse de tecnologías emergentes como los drones, así como del conocimiento local de residentes y personas que trabajan en las aguas del Pacífico panameño. Es importante destacar que los programas de conservación a nivel local siguen siendo esenciales, dado que cada sitio de anidación alberga parte de la diversidad genética y la historia evolutiva de la especie.

Un programa de educación ambiental y campañas de concienciación son necesarias a largo plazo, dirigidas a diversos actores como: pescadores, tour

operadores deportivos, pescadores industriales, comunidades y escuelas.

Agradecimientos

Se agradece a la Fundación Panama Wildlife Conservation por otorgar los fondos iniciales para explorar la costa suroeste de la península de Azuero y realizar las entrevistas que dieron pie a este ensayo. Al grupo Pesca Deportiva Cambutal y en especial a Adriano González Barría por estar siempre atento a la presencia de la tortuga Laúd en la costa de Los Santos. A los investigadores, conservacionistas y ciudadanos que nos brindaron sus aportes informativos para el desarrollo de esta investigación.

Referencias bibliográficas

- Ábrego, M. E., Acuña-Perales, N., Alfaro-Shigueto, J., Azócar, J., Barragán Rocha, A. R., Baquero, A., Cotto, A., Darquea, J., de Paz, N., Donoso, M., Dutton, P. H., Fonseca, L., Gadea, V., García, D., Genovart, M., Jimenez, A., del Rosario Juárez, M., López Sánchez, K. C., Mangel, J. C., ... Network, T. L. O. P. O. (2020). Enhanced, coordinated conservation efforts required to avoid extinction of critically endangered Eastern Pacific leatherback turtles. *Scientific Reports*, 10(1), 4772. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60581-7>
- Arauz, E. A., Pacheco, L., Binder, S., y de Icaza, R. (2017). *Diagnóstico de la Situación de las Tortugas Marinas en Panamá y Plan de Acción Nacional para Conservación*. http://marviva.net/sites/default/files/documentos/diagnostico_situacion_tortugas_marinas_panama_y_pan_conservacion_17-04.pdf
- Avens, L., Goshe, L. R., Zug, G. R., Balazs, G. H., Benson, S. R., y Harris, H. (2019). Regional comparison of leatherback sea turtle maturation attributes and reproductive longevity. *Marine Biology*, 167(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s00227-019-3617-y>
- Avens, L., Taylor, J. C., Goshe, L. R., Jones, T. T., y Hastings, M. (2009). Use of skeletochronological analysis to estimate the age of leatherback sea turtles *Dermochelys coriacea* in the western North Atlantic. *Endangered Species Research*, 8(3), 165–177. <https://doi.org/10.3354/esr00202>
- Bailey, H., Benson, S. R., Shillinger, G. L., Bograd, S. J., Dutton, P. H., Eckert, S. A., Morreale, S. J., Paladino, F. V., Eguchi, T., Foley, D. G., Block, B. A., Piedra, R., Hitipeuw, C., Tapilatu, R. F., y Spotila, J. R. (2012). Identification of distinct movement patterns in Pacific leatherback turtle populations influenced by ocean conditions. *Ecological Applications*, 22(3), 735–747. <https://doi.org/https://doi.org/10.1890/11-0633>

- Chacon-Chaverri, D. (1999). Anidación de la tortuga *Dermochelys coriacea* (Testudines: Dermochelyidae) en playa Gandoca, Costa Rica (1990 a 1997). *Revista de Biología Tropical*, 47(1–2), 225–236.
- Chacón-Chaverri, D., y Eckert, K. L. (2007). Leatherback Sea Turtle Nesting at Gandoca Beach in Caribbean Costa Rica: Management Recommendations from Fifteen Years of Conservation. *Chelonian Conservation and Biology*, 6(1), 101–110. [https://doi.org/10.2744/1071-8443\(2007\)6\[101:LSTNAG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2744/1071-8443(2007)6[101:LSTNAG]2.0.CO;2)
- Chen, I. H., Yang, W., y Meyers, M. A. (2015). Leatherback sea turtle shell: A tough and flexible biological design. *Acta Biomaterialia*, 28, 2–12. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2015.09.023>
- CIT. (2022). *Resolución CIT-COP10-2022-R6. Conservación de la Tortuga Baula del Pacífico Oriental*. http://www.iacseaturtle.org/docs/resolucionesCOP10CIT/CIT-COP10-2022-R6_ESP_Baula OPO_17.Junio.2022_ADOPTADA.pdf
- CITES. (2019). *Status, scope and trends of the legal and illegal international trade in marine turtles, its conservation impacts, management options and mitigation priorities*. <https://n9.cl/y04i5>
- CITES. (2024). *Apéndices I, II y III*. <https://cites.org/sites/default/files/esp/app/2024/S-Appendices-2024-05-25.pdf>
- Dutton, P. H., Bowen, B. W., Owens, D. W., Barragan, A., y Davis, S. K. (1999). Global Phylogeography of the leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*). *Journal of Zoology*, 248, 397–409.
- Eckert, K. L., Wallace, B. P., Frazier, J. G., Eckert, S. A., y Pritchard, P. C. (2012). *Synopsis of the biological data on the leatherback sea turtle (dermochelys coriacea)*.
- Evans, D. R., Valverde, R. A., Ordoñez, C., y Carthy, R. R. (2021). Identification of the Gulf of Mexico as an important high-use habitat for leatherback turtles from Central America. *Ecosphere*, 12(8), e03722. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ecs2.3722>
- Flores, E. E. (2022). Recent observations of *Dermochelys coriacea* (Vandelli, 1761), in the waters of Pacific Panama. *Neotropical Biology and Conservation*, 17(1), 103–110. <https://doi.org/10.3897/neotropical.17.e81465>

- Flores, E. E., Cruz, J. D. La, Seminoff, J. A., y Ureña, L. (2021). Local ecological knowledge supports identification of sea turtle nesting beaches in Panama. *Herpetological Conservation and Biology*, 16(2), 238–250.
- Mrosovsky, N., Ryan, G. D., y James, M. C. (2009). Leatherback turtles: The menace of plastic. *Marine Pollution Bulletin*, 58(2), 287–289. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.10.018>
- NMFS y USFWS. (2020). *Endangered Species Act status review of the leatherback turtle (Dermochelys coriacea)*.
- OPO, R. L. (2023). *Plan de acción para la recuperación de la tortuga laúd (Dermochelys coriacea) del Pacífico Oriental, 2022-2032*. https://laudopo.org/wp-content/uploads/2023/03/PlanAccion_2022-2032_RedLaudOPO_18Marzo23.pdf
- Ordoñez, C., Troëng, S., Meylan, A., Meylan, P., y Ruiz, A. (2007). Chiriqui Beach, Panama, the Most Important Leatherback Nesting Beach in Central America. *Chelonian Conservation and Biology*, 6(1), 122–126. [https://doi.org/10.2744/1071-8443\(2007\)6\[122:CBPTMI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2744/1071-8443(2007)6[122:CBPTMI]2.0.CO;2)
- Paladino, F. V., O'Connor, M. P., y Spotila, J. R. (1990). Metabolism of leatherback turtles, gigantothermy, and thermoregulation of dinosaurs. *Nature*, 344(6269), 858–860. <https://doi.org/10.1038/344858a0>
- Patino-Martinez, J., Marco, A., Quiñones, L., y Godley, B. (2008). Globally significant nesting of the leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*) on the Caribbean coast of Colombia and Panama. *Biological Conservation*, 141(8), 1982–1988. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.05.012>
- Pritchard, P. C. (1989). Status report of the leatherback turtle. In L. Ogren, F. Berry, K. A. Bjorndal, H. Kumpf, R. Mast, G. Medina, H. Reichart, & R. Witham (Eds.), *Proceedings of the 2nd Western Atlantic Turtle Symposium* (pp. 145–152). U.S. Department of Commerce & NOAA.
- Pritchard, P. C. (1997). Evolution, phylogeny, and current status. In P. L. Lutz & J. A. Musick (Eds.), *The Biology of Sea Turtles, volume I* (pp. 1–28). CRC Press.
- Rhodin, A. G. J., Ogden, J. A., y Conlogue, G. J. (1981). Chondro-osseous morphology of *Dermochelys coriacea*, a marine reptile with mammalian skeletal features. *Nature*, 290(5803), 244–246. <https://doi.org/10.1038/290244a0>
- Ruiz, A., y Rodríguez, J. (2011). *Caracterización de las playas de anidación de*

tortugas marinas en el Parque Nacional Coiba, provincia de Veraguas, Panamá.

- Seminoff, J. A., y Wallace, B. P. (2012). *Sea turtles of the eastern Pacific: Advances in research and conservation*. University of Arizona Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/j.ctv21hrddc>
- Shillinger, G. L., Palacios, D. M., Bailey, H., Bograd, S. J., Swithenbank, A. M., Gaspar, P., Wallace, B. P., Spotila, J. R., Paladino, F. V., Piedra, R., Eckert, S. A., y Block, B. A. (2008). Persistent leatherback turtle migrations present opportunities for conservation. *PLoS Biology*, 6(7), e171. <https://doi.org/doi:10.1371/journal.pbio.0060171>
- Spotila, J. R., Reina, R. D., Steyermark, A. C., Plotkin, P. T., y Paladino, F. V. (2000). Pacific leatherback turtles face extinction. *Nature*, 405(6786), 529–530. <https://doi.org/10.1038/35014729>
- Spotila, J. R., y Santidrián-Tomillo, P. (2015). *The leatherback turtle: Biology and Conservation*. Johns Hopkins University Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1353/book.42520>
- Wallace, B. P., DiMatteo, A. D., Bolten, A. B., Chaloupka, M. Y., Hutchinson, B. J., Abreu-Grobois, F. A., Mortimer, J. A., Seminoff, J. A., Amorocho, D., Bjorndal, K. A., Bourjea, J., Bowen, B. W., Dueñas, R., Casale, P., Choudhury, B. C., Costa, A., Dutton, P. H., Fallabrino, A., Finkbeiner, E. M., ... Mast, R. B. (2011). Global conservation priorities for Marine turtles. *PLoS ONE*, 6(9), e24510. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0024510>
- Wallace, B. P., DiMatteo, A. D., Hurley, B. J., Finkbeiner, E. M., Bolten, A. B., Chaloupka, M. Y., Hutchinson, B. J., Alberto Abreu-Grobois, F., Amorocho, D., Bjorndal, K. A., Bourjea, J., Bowen, B. W., Briseño Dueñas, R., Casale, P., Choudhury, B. C., Costa, A., Dutton, P. H., Fallabrino, A., Girard, A., ... Mast, R. B. (2010). Regional management units for marine turtles: A novel framework for prioritizing conservation and research across multiple scales. *PLoS ONE*, 5(12), 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0015465>
- Wallace, B. P., Kot, C. Y., Dimatteo, A., Lee, T. S., Crowder, L. B., y Lewison, R. L. (2013). Impacts of fisheries bycatch on marine turtle populations worldwide: toward conservation and research priorities. *Ecosphere*, 4, 1–49. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:84074695>

Física emergente: breve exploración de nuevas tendencias en física teórica

Emergent physics: brief exploration of new trends in theoretical physics

Eduardo Xavier Amador

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Panamá

eduardo.amador@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0003-2899-859X>

Recibido
24/07/2024

Aceptado
25/09/2024

DOI <https://doi.org/10.48204/j.scientia.v35n1.a6662>

Abstract

In this essay we present a brief critical scrutiny of some popular theoretical models developed by the scientific community within the framework of Fundamental Physics. These models develop the hypothesis that it is possible that current physical laws can be derived or emerge from much more fundamental physical entities than those studied to date, which constitutes another way to achieve the Unification of said laws within a single common conceptual structure. We expose String-nets of Condensed Matter Physics, Loop Quantum Gravity, Superstrings and Branes, Entropic Gravity, the BCJ model, Stochastic Quantum Mechanics, Matrix Statistical Quantum Mechanics, and AdS/CFT Duality. These models are a small sample of an important trend that is gaining strong momentum within the scientific community.

Keywords: Fundamental, laws, models, quantum, unification

Resumen

En este ensayo presentamos un breve examen crítico de algunos modelos teóricos populares desarrollados por la comunidad científica dentro del marco de la Física fundamental. Estos modelos desarrollan la hipótesis de que es posible que las leyes físicas actuales pueden derivarse o emerger de entidades físicas mucho más fundamentales que las estudiadas hasta la fecha, lo cual constituye otra forma para alcanzar la Unificación de dichas leyes dentro de una sola estructura conceptual común. Exponemos las String-nets de la Física de Materia Condensada, la Gravedad Cuántica de Lazos, las SuperCuerdas y Branas, la Gravedad Entrópica, el modelo BCJ, la Mecánica Cuántica Estocástica, la Mecánica Cuántica Estadística Matricial, y la Dualidad AdS/CFT. Estos modelos son una pequeña muestra de una tendencia importante que está ganando un fuerte ímpetu dentro de la comunidad científica.

Palabras clave: Cuántica, fundamental, leyes, modelos, unificación.

Introduction

The main objective of this essay is to present a brief qualitative analysis of an extremely important aspect of current Physics: the study of emerging phenomena. Thanks to recent theoretical and technological advances, a much more detailed

study of this type of phenomena has been possible. Several very intriguing aspects and/or trends have thus arisen that opened doors for conducting research that has gone beyond the conventional: there is theoretical evidence that suggests that all known basic Physical laws, currently considered as “*fundamental*”, are nothing more than an emerging product of a “*deeper reality*” than what has been thought until now.

Due to the difficulty of providing an exhaustive analysis of the topic within the limited space of a few pages, we will only discuss some particular cases that we consider extremely intriguing: *String-nets of Condensed Matter Physics* [CMP] and their impressive similarity to theories such as *Quantum Loop Gravity* [QLG] and *Superstring/Branes Theories* [SSBT], both dealing with *Quantum Gravity* and/or Unification of Fundamental Forces; the possibility that the gravitational interaction can be described as emergent – *Entropic Gravity* model, *BCJ model* [*Gravity as a 2-gluon propagator*]; the possibility that Quantum Physics can also be described as emerging – *Stochastic Quantum Mechanics model*, *Statistical Mechanics of Matrix Model*; the possibility that the entire Universe can be described as an emerging “*holographic*” physical system – the *AdS/CFT duality*. It is strongly emphasized that there are many other models/hypotheses on the subject, and those discussed in this work are only a very small sample of the immense literature that exists. The Unification of physical laws based on emergence hypotheses is the main purpose of these theoretical attempts, which we conclude is justified enough.

We will not present any introduction to the topic of emerging phenomena in general, so the interested reader should consult the extensive literature on the topic and the respective references therein (Holland, 2014; McKenzie, 2023; Laughlin, 2005).

Preliminary context

The *Standard Model of Particle Physics* [SMPP], although still imperfect, is the best available model [confirmed by physical experiments] to date, to describe the 4 Fundamental Interactions and matter entities of the known Universe. It's based on the so-called *non-Abelian Gauge Theories* [nAGT], which in turn are *Quantum Field*

Theories [QFT], which physically & mathematically describe each particle of matter and each interaction, as *quantum fields*, totally independent of each other, heavily using mathematical symmetries called *gauge symmetry groups*, $G_{\text{gauge}} = \text{SU}(3)_{\text{strong}} \times \text{SU}(2)_{\text{weak}} \times \text{U}(1)_{\text{electromag}}$. From SMPP, the *ElectroWeak theory* [with symmetry group $G_{\text{gauge}} = \text{SU}(2)_{\text{weak}} \times \text{U}(1)_{\text{electromag}}$] is the only one, to date, that achieves a kind of already experimentally proven unification between the Weak interaction and Electromagnetism (Baty, 2024). Other models are, for now, purely theoretical constructions under intense study, with no experimental confirmation so far. For a formal review on these theories, the reader can access Cottingham & Greenwood (2007) and references therein.

Nor will we review the problem of the complete and coherent quantum formulation of Gravity and the different strategies to try to quantize it. The reader interested in the topic, can consult Keifer (2007) and the references therein.

First, we will use the following notation: $M^{D+1} \approx M^D \times \mathbb{R} \equiv$ classical physical space-time in (D+1)-dimensions; $M^D \equiv$ classical physical space in D-dimensions; $H^D \equiv$ quantum Hilbert space in D-dimensions.

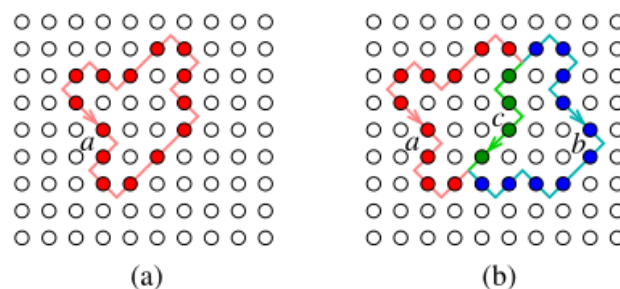
String-nets

In *Quantum Condensed Matter Physics* [QCMP], there are bosonic lattice quantum models analogous to the Ising Model [based on spin and very few other degrees of freedom], but somewhat more complex, which have already been studied and applied experimentally for the advanced study of certain aspects of Condensed phenomena. Among these, the purely theoretical model of *String-nets* (Levin & Wen, 2005) is of particular interest because, under certain conditions, these can describe some bosons and fermions, considered “*fundamental*” and “*independent*” by the SMPP, as if they were excitations of a much more fundamental physical system: they are perturbations that emerge, somehow in an analogous way to how phonons and other quasiparticles of Condensed Matter do. For example, phonons [bosons] are quasi-localized waves resulting from excitations or vibrations of a lattice of atoms. In the String-nets model, the ontology of the physical lattice system that is proposed is not relevant and can be ignored [as a first approximation, just to simplify

the calculations]; what matters are the “waves” that propagate in such a system, which take the form of small extended *strings* [with bosonic degrees of freedom], which can be closed [without free ends] or open. Such perturbations originate due to a new type of phase, called *Topological Order*, which emerges as a long-range quantum entanglement between various parts of the physical system [for example, the nodes of the lattice; see Figure 1]: a “*string/wave*”, in this model, is nothing more than the “*coupling*”, via quantum entanglement, between several nodes that are in the same quantum state, in a quasi-similar way as occurs in a “*pair of Cooper*” description of Superconductivity [the electron-phonon interaction, within an atomic lattice, attracts another electron towards the positive deformation of the lattice], in which the individual electron spins are “*coupled*”, via quantum entanglement, within the atomic lattice (Tinkham, 1996; Bordoloi, 2022). Within the String-nets lattice system, several types of strings can exist, depending on the quantum state of various nodes in it. These *strings* can form a complex interconnected network whose dynamic structure is very rich, ergo, the name “string-nets”.

Figure 1

String-nets: circles denote the vertex of the lattice, aka, the states of the system; colored circles are in the same state. Links are “strings” that denote entangled states (Levin et.al., 2005)



Within this model, several gauge symmetry groups, G_{gauge} , can be mathematically assigned to each type of string, so these can describe the SU(3)-gluon and U(1)-photon bosons of the SMPP as emergent excitations: not as

fundamental physical entities independent of each other, but as the emergent product of the collective dynamics of a single, much more basic [yet unknown] physical entity.

Massive Dirac fermions can be described as localized disturbances at the extremes or endings of open strings, and it is possible to assign several of quantum numbers to characterize such fermions. An electron, for example, can be represented as one ending of a string with symmetry $G_{\text{gauge}} = U(1)$, and with electric charge “-e” and spin $\frac{1}{2}$. In a similar way, it is possible to describe all the quarks of the SMPP, together with their G_{gauge} symmetry. Where this model fails is in the description of individual massless chiral fermions [those that are described by the Weyl irreps of the Lorentz group], of W-bosons of the Weak interaction, and of the “graviton” of the gravitational interaction. But such problems are still being investigated.

This hypothesis of a type of unification of Fundamental Forces and matter fields, coming from QCMP, is too attractive to be ignored: *the same physical system can give rise to particles and forces, considered fundamental by the current accepted models, in terms of emergent excitations of the collective dynamics of the system.* Even though the model *per se* is not perfect, the hypothesis behind it is worth pursuing, and more research can be done to look for the right corrections or modifications. An impressive feature of this model is that it curiously resembles the hypotheses proposed by advanced theories of unification of fundamental forces [including gravitation] found in other areas of Theoretical Physics: the LQG and the SSBT.

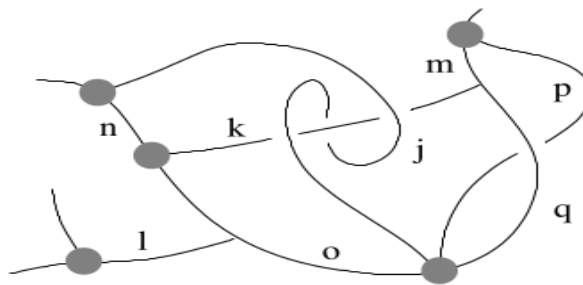
Loop Quantum Gravity

In LQG, classical M^{3+1} space-time is also modeled by an abstract mathematical state-space, which can be seen as a bosonic lattice-like structure [i.e., with bosonic spin-like, and few other, degrees of freedom; see Figure 2] at extremely high energies; including time as an evolutionary parameter, this state space is called

Spin-foam, which in turn is constructed from the time-evolution of simpler bosonic lattice-like structures, called *Spin-networks* [which do not include time, ergo, only serve to describe the static state of the M^3] (Gambini & Pullin, 2020). The Spin-foam then represents a mathematical dynamical abstract model of *the states* of the M^{3+1} and possibly its non-linear interactions, that is almost free of many problems that rise in other models that use the conventional variables of *General Relativity* [i.e., the canonical pseudo-Riemannian *metrics*, *curvature tensors*, etc. that appear in the geometric-differential formulation of this theory]. Each Spin-network represents a possible static state in which M^{3+1} could be found, and after quantization these states are taken as a basis vectors, $|SM\rangle_j$, of a very constrained H^D space. The Spin-foam is then the Feynman path-integral sum-over-histories over all these base vectors. In this way, LQG manages to quantize the gravitational interaction, which has been one of the most important problems in Theoretical Physics of the 20th century. However, the price to pay is very high, for such a degree of abstraction has make it very difficult its application to explain the current observed Universe. What catches our attention about this theory is the intensive use of bosonic lattice-like mathematical structures, in a strikingly similar way to what is done in the QCMP string-nets.

Figure 2

Spin-network: Atemporal lattice-like graphs with assigned quantum d.o.f.s that represent a possible state of space-time (Gambini & Pullin, 2020).



Fermions are not described by LQG, for it's a model of quantized geometry only. These and the other physical bosons are introduced by hand, in a separated interaction Hamiltonian. In other words, the rest of the SMPP particles do not *emerge* from LQG. However, it's supposed that the use of lattice-like structures [the graphs] can, at the low-energies limit, describe classical M^{3+1} as "*emerging*" from a more fundamental physical entity. This idea has a very curious resemblance to the string-nets hypothesis, although I have to remark that LQG is not a unification framework.

Superstrings/Branes Theories

In SSBT, on the other hand, [and ignoring for the moment the branes] physical entities are ontologically postulated in the form of *strings*, open and closed, propagating in a flat [zero curvature, no gravity] M^{9+1} (Polchinski, 1998), also at extremely high energies, with a rich variety of symmetry groups [Diffs, Conformal, SUSY, etc.]. And all the bosons and fermions are simply different modes of vibration of these strings: the bosons are closed strings and depending on the state of vibration, these can describe [within certain restrictions on the energy scale] all the SMPP bosons, including various other additional particles; all SMPP fermions are described as states of the extremes/endings of open strings, similar to the String-nets model. The gravitational interaction is described [in terms of the hypothetical *graviton*] as spin-2 closed strings, propagating in a completely flat M^{9+1} [i.e., without any curvature], but GR equations are recovered in the classical low-energy limit. In addition to the whole zoo of particles that SSBT predicts, there are other physical entities that are multidimensional generalizations of strings, called "*branes*". Both strings and branes are, in turn, supposed to be described as perturbations/excitations of a universal String/Brane field, within the context of *String Field Theory* [SFT] (Siegel, 1989), but this theory is still under very intensive scrutiny. These theories do pretend to be a unification framework. ▀

It can be seen then it is truly remarkable that a String-net model [or similar

models], based on [very low energy] Condensed Matter Physics, could have such similarities to other models created in areas as disparate and different as High Energy Physics. String-nets, open-closed loops, open-closed strings, could suggest that exist some kind of connection? History of Physics taught us that important discoveries could result if one takes these types of hints or coincidences seriously. But how can these be interpreted? At face value, this situation seems to suggest that there is an unknown physical entity (at least one) much more fundamental than the ones that have been studied to date, and that its dynamic behavior could be almost universal at all energies scales. It is possible then to speculate that from this “*unifying*” physical entity, everything emerges as excitations of the quantum vacuum that is proper to said entity. It could be hypothesized that SSBT strings could be seen as the analogues of the String-nets strings, where the former theory is just ignoring the existence of the String-nets-like fundamental physical entity simply by postulating the strings as the basic building blocks; and, on the other hand, the underlying lattice structure proposed by String-nets models could have characteristics similar to those described by the quantum lattices used in LQG. Perhaps it is possible that deeper insights within SFT will clarify more about the nature of such structure and its possible relationship with the famous 11-dimensional *M-Theory* [i.e., the still unknown hypothetical unifying structure that encompasses all SSBT as special cases that emerge when certain types of constraints are taken, with still undefined degrees of freedom, i.e., no ontology so far].

These types of theoretical relationships are so intriguing and disconcerting that many other authors have started to question their possible meanings (Nastase 2017), and there are many studies that try to find possible stronger links between these ideas (Gambini & Pullin, 2014; Verlinde 2015).

Too many possible alternative explanations exist, and it’s not obvious which is the right path to follow: is it possible that researchers are writing or finding the same laws but “*just in another mathematical language*”, ergo, those coincidences arise due to hidden relationships in the used language? For example, it could be possible that for there are a lot of connections in Algebraic Topology that link algebraic

structures with topological ones, it is natural then the emergence of similar interconnections in Physics just because it uses this type of language, and those similarities does not really mean anything important. Just like the case of the classical Maxwell-Faraday equations of Electromagnetism that can be written as partial differential equations, or as integral ones, or in tensor form in Minkowski flat M^{3+1} , or by using differential 1-forms and 2-forms, or in quaternionic or Clifford notation. This argument sounds very tempting, however, it does not seem to be the case, since we're not dealing with pure mathematical quirks, but with the *physical behavior* of supposedly physical [although still hypothetical ones] entities.

On the other hand, if these *patterns* must be taken seriously, it's obvious that the approximation of using point-like physical entities has already reached its limit of serving as an explanatory image of our Universe, and all these *coincidences* are the way the Universe uses to guide researchers toward better approaches based on the idea that using extended physical entities, such as strings/loops, etc., are the correct way to go. And/or perhaps, there is really a much deeper fundamental physical entity [or many?] from which all basic physical laws emerge. If this is so, could it have something to do with the still unknown fundamental structure of *M-Theory*? It seems reasonable to speculate that it's perfectly possible that everything in the Universe is, in some way, interconnected and that the many apparently different mathematical structures, used to describe a wide variety of [from our very limited perspective] *dissimilar* physical systems, are an *obligatory consequence* that depends in some way [directly or indirectly] on other physical-mathematical structures that in principle describe some kind of deeper physical system, but due to our constant use oversimplified approaches, it has eluded any type of detection so far. After all, in Theoretical Physics, it is very common the practice to describe or approximate physical systems as "*isolated*" from the rest of the Universe [thus ignoring non-linearities and other complexities that arise when interactions with the environment are considered], just because this approach help us to make predictions easier. Does this practice throws away important clues about something deeper? Are there any other clues that could guide us? It's obvious that we need to strongly focus on

the development of non-perturbative, non-linear methods, to attack these issues, but, it is also painfully clear that our current understanding and technologies constitute very serious limitations.

Besides, not all researchers embrace the highly speculative LQG or the SSBT as possible unifying theories, and prefer to attack, for example, the problem of the quantization of the gravitational interaction using other working hypotheses. If gravitational interaction is a manifestation of the curvature of space-time, as described by General Relativity, then it is possible that space-time itself is a physical structure that emerges from a much more basic [yet unknown] structure.

Emergent Gravity and Relativity: Entropic Gravity

One strategy that has been considered serious is to simply define gravity as a non-fundamental force, that may or may not need to be quantized. Under this context, the *Entropic Gravity* [EG] model is postulated.

This is based on another important postulate, which has been part of preliminary results of Quantum Gravitation studies for many decades, the so-called *Holographic Principle* [HP] (Bousso, 2002). Before describing it, let's introduce a some context: in Quantum Information Theory, “*qbits*” are commonly postulated as fundamental units of “*information*”, which in turn are nothing more than the possible observable quantum states that a physical system can have. If we accept the working hypothesis that space-time is a physical system that has states, then it is possible to assign the abstract mathematical descriptions of “*qbits*” to these states.

The HP basically establishes an extremely intriguing property of physical space-time: *it is possible to represent or describe the states [in terms of qbits of information] of a 3-dimensional [3D] volume of some region of space-time, in terms of the states [qbits of information] of the 2-dimensional [2D] surface that enclose the volume.* In other words, all the information contained within the 3D-volume can be described by the information contained in its enclosing 2D-surface, and viceversa, in analogy [not “*equal to*”] to a real physical hologram. Although it is a conjecture

originated by countless studies and attempts to quantize gravity, it is a fairly robust result that seems to arise naturally in all the strategies studied so far. In this sense, the number of qbits of the volume, $N = \text{constant} \times A$, where $A \equiv$ area of the surface that encloses said volume; written in differential form, we have $dN = \text{constant} \times dA$. Amazingly, the HP, in turn, is in some way related to the area-law of *entanglement entropy* [EE] in many-body systems, typically studied in QCMP: the EE of certain states of a sub-region of such a system is directly proportional to the area of said sub-region, despite the fact that, in Classical Physics, the entropy is an extensive property [i.e., it depends on the volume of the system, not on the surface].

Then, EG establishes that if the Energy Equipartition theorem is valid, the mass of a physical system that occupies a volume in M^{3+1} is proportional to dN and the temperature of the system, also expressed in terms of N (Verlinde 2011). This relation, rewritten in geometric terms using the Killing vectors [which represent the isometries] of M^{3+1} can be worked out [using certain geometric identities] in such a way that the field equations of the *General Relativity* [GR] emerge naturally.

We have to remark the following: it's obvious that the fact of deriving theoretically GR equations as an emergent behavior of a physical system does not mean that such a hypothesis is correct. Despite this, the almost direct relationship that this model has with the QCMP, through the HP postulate, is intriguing: it seems that physical relations that have to do with the *quantum* entanglement of many-body systems [more concretely, the EE], is somehow linked to *classical* [non-quantum] systems, but, how exactly? Expressed in other words, why when certain aspects of the physics of quantum systems with entanglement are considered, it is possible to derive certain classical [i.e., non-quantum] relations? It's well known [the *Correspondence Principle* - CP] that classical physics is a subset of quantum physics, and the former *must* emerge from the latter, but in practice this has been achieved by oversimplifications and/or by taking certain limits that kill the quantum aspects of the phenomena under study. The CP tell us what is obvious, but it's too vague and it does not tell us exactly how. And EG is about gravity, which has not been very quantum friendly. So, the relation or link is not clear or explicitly obvious,

but it seems that some kind of renormalization procedures are in play, in a very subtle way. These types of scenarios seem to suggest that there is a deep connection in the behavior of many apparently different physical systems, which has not yet been well understood.

Emergent Gravity: BCJ model or Double-copy Duality

Another intriguing theoretical hypothesis is the *BCJ model or Double-copy Duality*, (Bern et.al., 2010) which suggest that the gravitational interaction [described at the quantum level as hypothetical self-interacting, massless, spin = 2 bosons, famously called “*gravitons*”] could not be fundamental since it is possible to express it as two copies of *gluons* [the strong interaction carriers described by the SMPP *perturbative Quantum Chromodynamics theory - QCD*]: in nAGT, the formula for the total “probability amplitude”, A , of interaction/scattering between gluons, is

$$A_{\text{QCD}} = \text{constant} \times \sum_i \left(\prod D_m C_i K_i / D_i \right)$$

[presented here in an extremely oversimplified form, where the sum is over all the Feynman amplitude diagrams, each represented by its Feynman graph ‘ i ’]. Each *partial amplitude* [i.e., the expression between curved parenthesis] in this sum can be factored into two terms, $C_i \equiv$ related to the QCD-color degrees of freedom, and $K_i \equiv$ related to the kinematics of the interacting gluons. The D_i term is related with the Feynman propagator of each graph. Amazingly, in a perturbative canonical Quantum Gravity model [pQG], interacting gravitons have a very similar formula for the total scattering amplitude, A_{pQG} . It turns out that if the C_i factor, is replaced by another K_i factor, the total amplitude is similar to the A_{pQG} that characterize scattering gravitons. The substitution is done by hand, it does not arise naturally; but the fact that [at this level of deep complexity] such a substitution is theoretically possible is not something that can be taken lightly. Is it possible that by some unknown renormalizable physical law, C_i could evolve towards K_i , so gravitons are really gluons in disguise? It appears as if the similarity between Newtonian electric and gravitational forces $F_e = Kq_1q_2/r^2$ and $F_g = Gm_1m_2/r^2$ could not just be a mathematical

curiosity, after all. These types of mathematical “*dualities*” are very common in theories like SSBT.

Emergent Quantum Physics: Stochastic Theories of Quantum Mechanics [STQM] & Statistical Mechanics of Matrix Models [SMMM]

One of the peculiarities of Theoretical Physics is that it develops extremely quickly, so much so that Experimental Physics cannot keep up. But, without experimental data to guide us, it is difficult to decide which path to take to solve this or that problem. All that remains is trial and error and trying to attack the problem from all possible angles. Many scientists propose modifying GR, others propose modifying Quantum Physics. Along these lines, there are also many attempts that try to present Quantum Physics as emerging from more fundamental [and possibly classical] physical entities, of hitherto unknown ontology. If true, then quantum is a subset of classical, and scientists have been doing all wrong since the beginning.

An interesting attempt is the **STQM** (De La Peña et.al., 1990). A fluctuating vacuum is proposed as the cause of the impossibility of describing microscopic phenomena using Classical Physics. The ontology of the physical entity that possesses such characteristic is not defined, at least in the models proposed to date, which is a very common situation in these types of models, where the existence of said fundamental physical entity is only proposed, but there’s no attempt to explain exactly what it is: after all, there are many theoretical quantum vacuums, not only one. So, QM is not fundamentally probabilistic because “nature behaves that way”, but because the quantum vacuum is not a static physical entity, and is perpetually in constant random fluctuations, and since microscopic physical systems are inevitably immersed within such a fluctuating vacuum, interacting with it, this alone transfer the stochastic character [similar to the Brownian motion] to the system. Hence the formalism that describes its behavior is not deterministic, but probabilistic. In this sense, the rules of QM emerge as a product of the interaction between a physical system and the fluctuating quantum entity. In this type of models, the randomness

of a QM physical system is transferred to another entity “external” to it, which in turn is inherently chaotic but deterministic.

The Theory of **SMMM** (Adler, S. (2004)), is another attempt to derive the laws not only of Quantum Mechanics, but also of QFT, from purely classical arguments. This starts from the beginning working on an Operator algebra, which act in a general Hilbert space, H^D , without any relation to any quantum system [which differs from conventional canonical quantization]. It is noted that H^D is not an exclusive mathematical tool of Quantum Physics, and it is a fundamental part of conventional Functional Analysis, which can also be used in Statistical Physics and in many other research areas.

The degrees of freedom of a classical physical system are modeled by matrix representations of these operators, where bosons are described by matrices over complex numbers, and fermions, by matrices over a Grassmann algebra, all of which [along with the derivatives with respect to time] form a classical Phase space of Operators. It is then postulated that the dynamics of a classical system is described by a Statistical (Micro)Canoical Ensemble, which obeys the Ergodic theorem [i.e., under certain conditions, in the state space of a deterministic physical system, the time-average of a physical quantity along a single trajectory on this space, taken during a long-enough period of time, is equal to the spatial-average of it over the entire state space], and under certain restrictions and/or suitable conditions, it is possible to deduce quantum commutation relations and the Heisenberg & Schrodinger pictures, for said classical system. It is even possible to derive many relations relevant to QFT. In this sense, quantum laws emerge as *average effective laws* [that is, with a smaller number of degrees of freedom than those initially assumed] from the statistical thermodynamics of a totally classical system. However, not everything is perfect: Planck's constant is introduced by hand as an invariant of the theory.

One worrisome aspect of these types of models is that they reproduce the predictions of canonical QM, and it seems there's no way [at least, to my current knowledge] to predict different phenomena in order to choose which is the correct

ontological model for QM.

AdS/CFT duality in Superstrings and Branes theories

This duality is a mathematical conjecture (Maldacena 1998) that arises in SSBT, which have a mathematical structure very rich in symmetries: among these, the one known as *Supersymmetry* [SUSY], requires that the number of fermions [within the theories] be equal to the number of bosons, and that each fermion has a related boson, and vice versa; Conformal symmetry groups [CFT] are also used, which have to do with scale transformations and mathematical relationships that remain invariant under these transformations. From the collective dynamics of the strings and branes, at low energies, it is possible to obtain theoretical models similar to the SMPP, but with the SUSY and the CFT deeply rooted in them, and the space-time that serves as the background for these models, is flat [i.e., without gravity described by terms of geometrical curvature, etc.] and 4-dimensional [4D]. Since SUSY and CFT do not manifest in the real world, such models are purely theoretical, but they represent powerful mathematical tools that have the potential to serve as a guide to try and find something more realistic. It turns out that the resulting 4D $SMPP_{SUSY-CFT}$, through certain geometric manipulations [called *Dualities*] of the initial 10-dimensional flat space-time of the theories, seem to be related to the gravitational field of a non-flat space-time, called 5-dimensional Anti-deSitter [AdS⁵], but with SUSY symmetry. Unlike pseudo-Riemannian spacetime $M^{1,3}$ used by the RG, the AdS⁵ space has non-trivial asymptotic symmetries that form the basis of the conjectured equivalence between gravity and SMPP-like models. The conjecture is called AdS/CFT or Gravity/Yang-Mills Duality.

This mathematical duality then establishes that the 4D “edge or frontier or boundary” of AdS⁵ space has a physico-mathematical structure very similar to the one of the 4D $SMPP_{SUSY-CFT}$, so it is argued that [SUSY]gravity, that is, the curvature of AdS⁵, is “*closely related*” to [i.e., “*it is dual to*”] $SMPP_{SUSY-CFT}$ theories. How? Through a series of mathematical transformations analogous [but no equal] to the

one mentioned in the BCJ Duality section. The intensity of the gravitational interaction in AdS⁵, is inversely proportional to the intensity of the “coupling constant” [i.e., a parameter that measures the intensity of interaction between the physical entities described by the model] of the SMPP_{SUSY-CFT}, which means that mathematically describing a low intensity, weak, curvature in the volume of AdS⁵, is equivalent to describing a non-gravitational phenomenon in boundary of this same space, where the models of SMPP_{SUSY-CFT} live, but with a very high, strong, coupling constant: it is well known that most calculations carried out in canonical QCD are perturbative, with a very low coupling constant, for performing calculations at very high intensity/coupling introduces non-linear effects that are very difficult to resolve. But, using the AdS/CFT duality, it is possible to perform those strong coupling non-perturbative quasi-similar calculations for SMPP-like phenomena, for the mathematical relations of the duality are used to find the equivalent weak coupling [super-]gravitational equations, which greatly facilitates the computational tasks. Once the calculations are completed with the low-intensity weak gravity equations, the duality relations are used again to map the result back to the high-intensity strong regime of the SMPP_{SUSY-CFT}. For example, this type of computation allowed me to compute the mass of a supersymmetric glueball of a N = 1 SUSY-Yang-Mills model by using the equations of 5D [super-]gravity (Amador 2004).

In some sense, this duality is a kind of Holography: suppose a physical system that occupies a 3D volume in space; under certain conditions, it is possible to store and retrieve some type of information, about such a system, in a 2D surface that surrounds the object. In the case at hand, information is obtained about a physical system that “lives” in a 5D space, from information contained in the 4D-boundary of said space, and vice versa. But the argument of the AdS/CFT duality takes this idea to the extreme: all the physics of 5D space is encoded in the 4D boundary of said space. It must be reminded that this is only a theoretical conjecture. Again, we find the HP mentioned earlier, which seems to be related to certain aspects of the QCMP.

In this sense, it could be said that, if we take as a reference point the 4-

dimensional SMPP_{SUSY-CFT}, the gravitational interaction in AdS⁵ “*emerges*” as a dual phenomenon to quantum field theories in 4D flat space-time: the gravitational physics of the 5D volume emerges as a kind of hologram from the 4D physics that exists at the boundary of the 5D volume. The inverse of the idea is also a valid statement.

Obviously, such a duality still has the status of a purely theoretical conjecture, and, to date, there is no experiment that can validate it, just like its progenitor, the SSBT. However, the mathematical structures involved in such theories are so similar to the physical structures of certain current real [experimentally tested & confirmed] theories that it’s very difficult to ignore such “*coincidences.*” Many high-caliber scientists believe that there is a very serious possibility that future research will be able to decipher these mysterious relationships.

Conclusion

Current known Physics Laws, although supported by experimental verification, are not perfect, and do not describe or explain everything. For this reason, to extend & try to perfect our knowledge, there are many new theoretical models that are being investigated from all possible angles, by many groups of scientists around the world. Some of these models have received a lot of good and bad criticism and few of these have had strong financial support based on non-scientific prejudices; despite all that, researchers keep on working.

In our brief analysis of all the cases presented so far, we clearly see that it is strongly suggested that there must be an interrelation of everything with everything, and that we have not yet discovered all the secret links. On the other hand, one of the main current dogmas of Physics [to date] is that there are not “[*local*] *hidden variables*”, or hidden entities, that can explain the observable Universe. So, the possible existence of much more basic, elemental, or fundamental physical entities is intriguing: for years, the scientific community working in these tasks have believed that potential hidden degrees of freedom were ruled out by countless QM experiments. All the ideas exposed before, could invalidate all this dogma, just by supporting that some kind of hidden entities do really exist, and that the Universe is

a lot more subtle than previously imagined. If these ideas are to be taken seriously, it'd be a profound change in the current scientific paradigms, so then, there is hope that problems such as the real nature of Dark Matter and/or Dark Energy, the anomalies detected by the James Webb Space Telescope, the many cosmological conundrums, etc., can be solved.

As we mentioned before, one curious and problematic aspect of almost all these approaches to unify all Physics laws, is that the fundamental physical entity [a quantum vacuum or maybe another structure], from which everything emerge, is not ontological defined, but just it's epistemology: it's just postulated to exist, with few convenient properties needed for everything to work as expected. The issue is that [according to the current accepted knowledge] there are many quantum vacuums, one for each particle of the SMPP plus another hypothetical one for the space-time [17+1, in total]. Which one of these is the correct candidate? In addition, there are uncountable numbers of other quantum vacuums of other hypothetical entities postulated by uncountable number of models that pop-out in the framework of Theoretical Physics. Ergo, unless something fantastic occur soon in the next decades, there is a huge amount of research work to be done.

It is true that Physics tries to explain *observable* phenomena, but what happens when these same phenomena seem to point towards a *reality* that goes beyond what is *observable*? It's obvious that this "*observable*" aspect of *reality* is done under our current perspective, guided either by our physiological sensors or by the artificial ones that we created to extend our own. Neuroscientists know this very well: our perspective of "*reality*" could be very deceiving; and in Physics we base our understanding of the Universe precisely on our perceived or observed *reality*, that we nonchalantly call "scientific facts". The trends exposed in this essay clearly suggest that we have been working in a misleading path and we need to change that. That's precisely how Science works: when we do not know which way is the correct one to follow, there's no other alternative than to do research on a trial-and-error basis, by attacking the problems in all the possible angles that we can think of, with the hope to achieve positive results that could guide us further, to reach our

scientific goals.

Although these topics are of extreme importance for the current development of Theoretical Physics, we have barely touched the tip of the iceberg. In future works, we will try to analyze other cases.

Bibliographic References

Adler, S. (2004). *Quantum theory as an emergent phenomenon: The statistical mechanics of matrix models as the precursor of quantum field theory*. Cambridge Univ. Press.

Amador, X. et.al. (2004). "Spin two glueball mass and glueball regge trajectory from supergravity". *Journal of High Energy Physics*, JHEP11 022. IOPScience. DOI: [10.1088/1126-6708/2004/11/022](https://doi.org/10.1088/1126-6708/2004/11/022)

Baty, A. (2024). "Overview of Recent Experimental Electroweak Probes Results". *11th International Conference on Hard and Electromagnetic Probes of High-Energy Nuclear Collisions*, Volume 438. DOI: [10.22323/1.438.0010](https://doi.org/10.22323/1.438.0010)

Bern, Z., Carrasco, J.J., Johansson, H. (2010). "Perturbative Quantum Gravity as a Double Copy of Gauge Theory". *Physical Review Letters*, vol. 105 (6): 061602. DOI: [10.1103/PhysRevLett.105.061602](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.105.061602)

Bordoloi, A. (2022). "Spin cross-correlation experiments in an electron entangler". *Nature* vol. 612, pages 454–458 (2022). DOI: [10.1038/s41586-022-05436-z](https://doi.org/10.1038/s41586-022-05436-z)

Bousso, R. (2002). "The holographic principle". *Reviews of Modern Physics* 74 (3): 825– 874. DOI: [10.1103/RevModPhys.74.825](https://doi.org/10.1103/RevModPhys.74.825)

Cottingham, W.N. & Greenwood D.A. (2007). *An Introduction to the Standard Model of Particle Physics*, 2nd Ed. Cambridge University Press. Online ISBN: 9780511791406

De La Peña, L., et al. (1990). "Teorías estocásticas de la mecánica cuántica". *Revista Mexicana de Física*, Vol 37, No 1: 17-55.

Gambini, R. & Pullin J. (2014). "Emergence of stringlike physics from Lorentz invariance in loop quantum gravity". *International Journal of Modern Physics D* Vol. 23, No. 12, 1442023. DOI: [10.1142/S0218271814420231](https://doi.org/10.1142/S0218271814420231)

Gambini, R. & Pullin, J. (2020). *Loop Quantum Gravity for Everyone*. World Scientific Press. ISBN: 978-981-121-195-9

- Holland, J.H. (2014). *Complexity: A Very Short Introduction*. Oxford University Press Print ISBN: 9780199662548, Online ISBN: 9780191780004
- Kiefer, C. (2007). *Quantum Gravity*. Oxford University Press. ISBN 978-0-19-921252-1
- Laughlin, R.B. (2005). *A Different Universe: Reinventing Physics from the Bottom Down*. Basic Books Press. Print ISBN-10 0465038298
- Levin, M. & Wen, Xiao-Gang (2005). "Photons and electrons as emergent phenomena". *Rev. Mod. Phys.* 77 (3): 871–879 [878]. DOI: [10.1103/RevModPhys.77.871](https://doi.org/10.1103/RevModPhys.77.871)
- Maldacena, J. (1998). "The large N limit of superconformal field theories and supergravity". *Advances in Theoretical and Mathematical Physics*. 2 (4): 231–252. DOI: [10.4310/ATMP.1998.V2.N2.A1](https://doi.org/10.4310/ATMP.1998.V2.N2.A1)
- McKenzie, R.H. (2023). *Condensed Matter Physics: A Very Short Introduction*. Oxford University Press. Print ISBN: 9780198845423, Online ISBN: 9780191880629.
- Nastase, H. (2017). *String Theory Methods for Condensed Matter Physics*. Cambridge University Press.
- Polchinski, J. (1998). *String Theory Vol. 1: An Introduction to the Bosonic String*. Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-63303-1
- Siegel, W. (1989). *Introduction to String Field Theory*. World Scientific Pub. Co. Inc. ISBN: 9789971507312, 9971-50-731-5
- Tinkham, M. (1996) *Introduction to superconductivity*. McGraw Hill Press. ISBN: 0070648786, 9780070648784
- Verlinde, E. (2011). "On the origin of gravity and the laws of Newton". *J. High Energ. Phys.* 2011, 29. DOI: [10.1007/JHEP04\(2011\)029](https://doi.org/10.1007/JHEP04(2011)029)
- Verlinde, H. (2015). "Poking Holes in AdS/CFT: Bulk Fields from Boundary States". *SAO/NASA Astrophysics Data System*. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2015arXiv150505069V/abstract>